

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

**3(48)**

---

---



Видавничий дім  
«Гельветика»  
2023

**Екологічні науки** : науково-практичний журнал / Головний редактор Бондар О.І. – К. :  
Видавничий дім «Гельветика», 2023. – № 3(48). – 208 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>ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ</b> .....	7
<b>Бондар О.І., Машков О.А., Присяжний В.І., Оводенко Т.С., Печений В.Л.</b> Концепція створення інтелектуальної інформаційної системи для підтримки прийняття рішень у галузі екологічної безпеки.....	7
<b>Боголюбов В.М., Клепко А.В., Бондарь В.І., Наумовська О.І.</b> Модель функціонування сільських територій на засадах сталого сільського розвитку.....	17
<b>Бондар О.Б., Гурська О.В., Кремпович Л.С., Тригуба О.В.</b> Опис і характеристика сільськогосподарських, лісогосподарських, лінійно-дорожніх та водних ландшафтів під час навчально-ландшафтної практики.....	23
<b>Войціцький В.М., Корнієнко В.І., Хижняк С.В., Мідик С.В., Березовський О.В., Таран Т.В., Полтавченко Т.В.</b> Шляхи міграції наночастинок наземними і водними екосистемами.....	32
<b>Єгорова Т.М.</b> Еколого-геохімічні небезпеки белігеративних агроландшафтів.....	37
<b>Колеснік Д.В., Шмандій В.М., Харламова О.В., Ригас Т.Є., Безденєжних Л.А.</b> Використання методу фітоіндикації чагарниковими рослинами для дослідження стану екологічної безпеки урбанізованих територій.....	42
<b>Луньова О.В., Кагукіна А.М.</b> Аналіз антропогенного забруднення житомирського регіону.....	48
<b>Роман Л.Ю., Костик К.М.</b> Екологічна оцінка рекреаційних зон міста Ужгород.....	53
<b>Тимків М.М.</b> Основні бурштиноносні зони Полісся та їх вплив на навколишнє середовище.....	58
<b>ЗМІНА КЛІМАТУ</b> .....	64
<b>Касіячук Д.В., Штогрин Л.В.</b> Співставлення метеокліматичних показників з активізацією зсувних процесів у межах Івано-Франківської області.....	64
<b>Кирнасівська Н.В., Шелестюк О.Г.</b> Агрокліматична оцінка біокліматичного потенціалу Вінницької області в умовах змін клімату.....	71
<b>Пикало С.В., Демидов О.А., Юрченко Т.В., Харченко М.В.</b> Особливості погодних умов в центральному Лісостепу України впродовж 2019–2022 років.....	78
<b>ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОРІЗНОМАНІТТЯ</b> .....	86
<b>Красова О.О., Шоль Г.Н., Павленко А.О., Шкута С.І.</b> Експансія <i>Pterotheca sancta</i> (L.) K. Koch. у синантропні біотопи Кривбасу.....	86
<b>Красовський В.В., Федько Р.М., Черняк Т.В.</b> Формування колекції <i>Elaeagnus umbellata</i> Thunb. в Хорольському ботанічному саду.....	92
<b>Мохначова Н.Б.</b> Аналіз поліморфізму генотипів популяції лебединської породи ВРХ за генами <i>DGATI</i> та <i>CAPNI</i> .....	97
<b>ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНИЙ ФОНД УКРАЇНИ</b> .....	103
<b>Коляда О.В., Коляда В.П., Посоха І.П., Чуприна Ю.Ю., Головань Л.В.</b> Екологічне дослідження ентомофауни соснових насаджень НПП «Святі гори».....	103
<b>Мельник-Шамрай В.В., Шамрай В.І., Пацева І.Г., Курбет Т.В.</b> Оцінка стану природно-заповідного фонду Житомирської області.....	108
<b>Патрушева Л.І.</b> Природно-заповідний фонд Миколаївської області під час війни та у повоєнний період.....	116
<b>БІОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА</b> .....	122
<b>Бордюг Н.С.</b> Мікробіологічний стан повітря в навчальних кабінетах закладу освіти.....	122
<b>Наконечний В.Г., Пікареня Д.С., Орліньська О.В., Белянська О.Р., Гунько С.О.</b> Удосконалення пошуку радіоактивних речовин за допомогою комплексування радіометричних та геофізично-розвідувальних методів.....	126

<b>ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ.....</b>	<b>132</b>
<b>Герасимчук Л.О., Валерко Р.А., Бондар А.В., Шевченко К.П.</b> Індивідуальні особливості поводження з побутовими відходами у м. Житомир.....	132
<b>ЕКОЛОГІЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ.....</b>	<b>138</b>
<b>Безсонний В.Л.</b> Реалізація концепції інформаційної ентропії при створенні мереж моніторингу вод.....	138
<b>Dmitrieva O.O., Tsapko N.S., Koldoba I.V., Lysov B.V., Teliura N.O.</b> Environmental monitoring of eutrophication process in water bodies across Ukraine.....	143
<b>Мартинюк М.О., Овчарук В.А.</b> Просторова і часова мінливість максимального стоку в басейні Вісли в умовах кліматичних змін.....	148
<b>Сердюк С.М., Довганенко Д.О.</b> Гідролого-гідрохімічний режим річки Самари з урахуванням її антропогенної трансформації.....	156
<b>ЕКОЛОГІЯ І ВИРОБНИЦТВО.....</b>	<b>163</b>
<b>Бєдункова О.О., Кузнєцов П.М.</b> Формування карбонатної системи оборотної охолоджуючої води атомної електростанції та вплив на рН поверхневих вод при зворотних скидах.....	163
<b>Бондар О.І., Гаєвський В.Р., Курилюк О.М., Цюй Бо, Менжерес Я.Ю.</b> Аспекти екології та автоматизації при прогнозуванні викидів діоксиду сірки, пов'язаних із забрудненням теплообмінних поверхонь конденсаторів парових турбін.....	169
<b>ЕКОЛОГІЯ ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ.....</b>	<b>176</b>
<b>Krasovskyi S.A., Kovrov O.S.</b> Study of plant sets with further development of phytoremediation technology.....	176
<b>Трохименко Г.Г., Кособуцька О.О., Літвак О.А., Благодатний В.В.</b> Аналіз можливості підвищення урожайності сільськогосподарських культур на основі використання мікробних біоценозів.....	182
<b>Харитонов М.М., Клімкіна І.І.</b> Екологічна оцінка застосування біовугілля як домішки у верхній шар ґрунту штучного рекультивованого профілю.....	190
<b>Хохлов А.В., Хохлова Л.Й., Ковтун М.Ф.</b> Екосорбент на основі рослиної сировини для детоксикації кадмію у ґрунтах.....	195
<b>ОСВІТА ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ.....</b>	<b>201</b>
<b>Боголюбов В.М.</b> Анонс навчального посібника для забезпечення екологічних компетентностей в освітніх програмах бакалаврів.....	201
<b>ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....</b>	<b>203</b>

---

---

## CONTENTS

---

---

<b>GENERAL ENVIRONMENTAL SAFETY ISSUES</b> .....	7
<b>Bondar O., Mashkov O., Prysiazhniy V., Ovodenko T., Pechenyi V.</b> The concept of creating an intelligent information system to support decision-making in the field of environmental safety.....	7
<b>Bogoliubov V., Klepko A., Bondar V., Naumovska O.</b> Model of functioning of rural territories on the basis of sustainable rural development.....	17
<b>Bondar O., Hurska O., Krempovych L., Tryhuba O.</b> Description and characterization of agricultural, forestry, linear road and water landscapes during the educational landscape practice.....	23
<b>Voitsitskiy V., Korniyenko V., Khyzhnyak S., Midyk S., Berezovskiy O., Taran T., Poltavchenko T.</b> Ways of migration of nanoparticles by terrestrial and aquatic ecosystems.....	32
<b>Yehorova T.</b> Ecologie-geochemical hazards of the beligerative agrolandscapes.....	37
<b>Kolesnik D., Shmandiy V., Kharlamova O., Rigas T., Bezdeneznych L.</b> Use of the method of phytoindication by shrub plants to study the state of environmental safety of urbanized areas.....	42
<b>Lunova O., Kahukina A.</b> Analysis of anthropogenic pollution in Zhytomyr region.....	48
<b>Roman L., Kostyk K.</b> Environmental assessment of recreation areas of Uzhgorod.....	53
<b>Tymkiv M.</b> The main amber-bearing areas of Polissya and their impact on the environment.....	58
<b>CLIMATE CHANGE</b> .....	64
<b>Kasiyanchuk D., Shtohryn L.</b> Correlation of weather and climate indicators with the activation of landslide processes within the boundaries of the Ivano-Frankivsk region.....	64
<b>Kyrnasivska N., Shelestyuk O.</b> Agroclimatic assessment of the bioclimatic potential of the Vinnytsia region under conditions of climate change.....	71
<b>Pykalo S., Demydov O., Yurchenko T., Kharchenko M.</b> Peculiarities of weather conditions in the Central Forest-Steppe of Ukraine during 2019–2022.....	78
<b>BIODIVERSITY CONSERVATION</b> .....	86
<b>Krasova O., Shol H., Pavlenko A., Shkuta S.</b> Expansion of <i>Pterotheca sancta</i> (L.) K. Koch. in synantropic biotopes of Kryvbas.....	86
<b>Krasovsky V., Fedko R., Chernyak T.</b> Formation of the <i>Elaeagnus umbellata</i> Thunb. collection in the Khorol Botanical Garden.....	92
<b>Mokhnachova N.</b> Analysis of polymorphism of genotypes of the lebedyn cattle population by the <i>DGATI</i> and <i>CAPNI</i> genes.....	97
<b>NATURE RESERVE FUND OF UKRAINE</b> .....	103
<b>Koliada O., Koliada V., Posoha I., Chuprina Yu., Golovan L.</b> Ecological survey of pine plantations entomofauna in National Park “Sviati Hory”.....	103
<b>Melnyk-Shamrai V., Shamrai V., Patseva I., Kurbet T.</b> Assessment of condition of nature and protection fund of Zhytomyr region.....	108
<b>Patrusheva L.</b> Nature reserve fund of the Mykolaiv region during the war and in the post-war period.....	116
<b>BIOLOGICAL SAFETY</b> .....	122
<b>Bordiug N.</b> Microbiological condition of the air in the teaching offices of the educational institution.....	122
<b>Nakonechnyi V., Pikarenia D., Orlinska O., Byelyanska O., Hunko S.</b> The improvement of radioactive substances retrieval by means of combination of the methods of radiometry and exploration geophysics.....	126

<b>WASTE MANAGEMENT</b> .....	132
<b>Herasymchuk L., Valerko R., Bondar A., Schevchenko K.</b> Individual characteristics of domestic waste management in Zhytomyr. ....	132
<b>ECOLOGY OF WATER RESOURCES</b> .....	138
<b>Bezsonnyi V.</b> Implementation of the concept of information entropy when creating water monitoring networks. ....	138
<b>Dmitrieva O., Tsapko N., Koldoba I., Lysov B., Teliura N.</b> Environmental monitoring of eutrophication process in water bodies across Ukraine.....	143
<b>Martyniuk M., Ovcharuk V.</b> Spatial and temporal transition of maximum runoff in the Vistula river basin under the conditions of climate changes. ....	148
<b>Serdiuk S., Dovganenko D.</b> Hydrological and hydrochemical regime of the Samar river and considering its anthropogenic transformation.....	156
<b>ECOLOGY AND PRODUCTION</b> .....	163
<b>Biedunkova O., Kuznietsov P.</b> The formation of the carbonate system of circulating cooling water and effect on changes in surface water pH during return water discharge. ....	163
<b>Bondar A., Gaevsky V., Kuryliuk O., Qu Bo, Menzheres Ya.</b> Aspects of ecology and automation in the forecasting of sulfur dioxide emissions associated with contamination of the heat exchange surfaces of steam turbine condensers. ....	169
<b>ECOLOGY OF LAND RESOURCES</b> .....	176
<b>Krasovskiy S., Kovrov O.</b> Study of plant sets with further development of phytoremediation technology.....	176
<b>Trokhymenko H., Kosobutska O., Litvak O., Blahodatnyi V.</b> Analysis of the possibility of increasing crop yields based on the use of microbial biocenoses. ....	182
<b>Kharytonov M., Klimkina I.</b> Ecological assessment of the application of biochar as an amendment in the top soil of artificial reclaimed profile.....	190
<b>Khokhlov A., Khokhlova L., Kovtun M.</b> Ecosorbent based on vegetable raw materials for cadmium detoxification in soils.....	195
<b>EDUCATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT</b> .....	201
<b>Boholiubov V.</b> Announcement of a study guide for ensuring environmental competences in bachelor's degree programs.....	201
<b>AUTHORS' CREDENTIALS</b> .....	203

---

# ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

---

УДК 574.08:681.78:629.52.7

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.3-48.1>

## 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.  
Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління  
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, м. Київ  
[mashkov\\_oleg\\_52@ukr.net](mailto:mashkov_oleg_52@ukr.net)

Розглянута концепція створення інтелектуальної інформаційної системи для підтримки прийняття рішень у галузі екологічної безпеки. Вона передбачає формалізацію таких процесів: визначення особливостей автоматизації експертної обробки та процесу прийняття рішень у системах екологічного управління; формування архітектури системи інтелектуальної підтримки прийняття управлінських екологічних рішень та визначення потоків відповідних інформацій у системі; застосування в ІСППР інтелектуальної технології GRID-систем.

Обґрунтована архітектура системи інтелектуальної підтримки прийняття управлінських екологічних рішень та означено потік інформації, що реалізує концепцію підтримки прийняття рішень. Зазначено, що така система інтелектуальної підтримки має характерні особливості, зокрема: складність розподіленої структури (структурна складність); багатоцільовий характер перетворення інформації (функціональна складність); потреба обліку та формалізації невизначеності (інформаційна складність); необхідність врахування особливостей розробки (проектна складність). Використання GRID-технології для створення єдиного інформаційного простору функціонування ІСППР дозволяє вирішувати питання об'єднання різнотипних ресурсів (обчислювальні засоби, програмне забезпечення, бази даних, знання) та здійснювати одноманітний доступ (організацію інтерфейсу користувача) і делегувати ресурси для загального й розподіленого використання та управління системою доступу зовнішніх користувачів до розподіленого ресурсу. В рамках рекомендацій та перспективи подальшого поглиблення розгляду запропонованої теми варто зазначити, що отримані результати сприятимуть поліпшенню забезпечення екологічної безпеки навколишнього середовища та природних ресурсів. Окрім того, за допомогою систем штучного інтелекту вони можуть стати основою для подальших наукових досліджень у напрямку підвищення якості екологічного управління станом довкілля та об'єктами критичної інфраструктури. *Ключові слова:* екологічна безпека, екологічна система, екологічне прогнозування, навколишнє середовище, нейронна мережа, нечітка логіка, системи підтримки прийняття управлінських рішень, управлінські рішення, штучна інтелектуальна система.

**The concept of creating an intelligent information system to support decision-making in the field of environmental safety.**  
**Bondar O., Mashkov O., Prysiashnyi V., Ovodenko T., Pechenyi V.**

The paper proposes the concept of creating an intelligent information system to support decision-making in the field of environmental safety. The process of developing the concept of creating an intelligent information system to support decision-making in the field of environmental safety involves the formalization of the following processes: determination of the features of automation of expert processing and the decision-making process in environmental management systems; formation of the architecture of the intellectual support system for making managerial environmental decisions and determining the flows of relevant information in the system; application of intelligent technology of GRID systems in ISPPR. The architecture of the intellectual support system for managerial environmental decision-making is substantiated and the information flows implementing the concept of the decision-making support system are determined. It was determined that the intellectual support system has the following distinctive properties: complexity of the distributed structure (structural complexity); multipurpose nature of information transformation (functional complexity); the need to account for and formalize uncertainty (information complexity); necessity consideration of development features (project complexity). The use of GRID technology to create a single information space for the operation of the ISPPR allows solving the task of combining heterogeneous resources (computing tools, software, databases, knowledge) and providing uniform access (organization of the user interface) and delegating resources for common and distributed use and management system of access of external users to the distributed resource. As part of the recommendations and prospects for further development of the presented topic, it should be noted that the obtained results can be used to ensure the ecological safety of the environment and natural resources. In addition, they can be the basis for further scientific research on improving the quality of environmental management of the state of the environment and critical infrastructure objects with the help of artificial intelligence systems. *Key words:* environmental safety, ecological system, ecological forecasting, environment, neural network, fuzzy logic, management decision support system, management decisions, artificial intelligent system.

**Постановка проблеми.** Здійснений аналіз засвідчує, що основна причина неухильно зростаючого рівня забруднення навколишнього середовища полягає в існуючому протиріччі між постійним зростанням виробництва у всіх галузях господарства, техногенними аваріями й катастрофами та повільним впровадженням новітніх прогресивних технологій [1, 3]. Порівняно нові наукові напрямки досліджень – екологічна безпека, технологія захисту навколишнього середовища – вивчають взаємодію суспільства з природним середовищем у процесі сталого розвитку. Фахівці галузі вважають, що правильно організована планова діяльність підприємств та організацій, у тому числі успішно задіяні системи захисту навколишнього середовища або природоохоронні заходи, дозволить розв'язати проблему гармонійної взаємодії людини (суспільства) та природи [5].

У цьому напрямку є досить ефективним використання інтелектуальної технології експертної оцінки та підтримки прийняття рішень з метою її застосування під час розроблення систем прогнозування критичних ситуацій, зменшення витрат, пов'язаних з ліквідацією їх наслідків. Проведений аналіз існуючих у суспільстві умов, потребує розв'язання нових складних проблем управління технічними системами за дефіциту часу, відповідних фахівців, а також підвищення відповідальності керівників за прийняття ефективних рішень, свідчить про необхідність створення відповідних нових методів та МІ\*інтелектуальних засобів. З метою створення засобів допомоги керівникам різних рівнів на шляху розв'язання сучасних проблем екологічного управління необхідно розглянути такі питання:

- системний аналіз та концептуальне моделювання ситуацій та проблемних областей у галузі екології та природних ресурсів;
- вирішення неформалізованих завдань у слабоформалізованих проблемних галузях екологічного управління;
- різнобічне опрацювання, аналіз та класифікація великих обсягів екологічної інформації;
- облік об'єктивних текстологічних знань та суб'єктивних особливостей особи, яка приймає рішення (ОПР).

Керівники, які приймають рішення в галузі екологічної безпеки планової діяльності та навколишнього середовища, стикаються зі складним вибором: необхідністю обліку безлічі різних факторів, з розглядом значної кількості альтернативних варіантів, для оцінки яких необхідні знання багатьох профільних фахівців. Тут, природно, виникає питання застосування для вирішення таких проблем експертних систем, оскільки, якщо проблема може бути повністю структурована і є змога отримати алгоритм її вирішення, підтримка рішення не потрібна. Але проблемна сфера, пов'язана з екологією, є слабко структурованою, власне, як і більшість галузей

природничих наук. Тому проблема вибору природоохоронних заходів має деяку невизначеність щодо складу елементів, необхідних для успішного вирішення, та зв'язків між ними. Саме для вирішення таких проблем, що володіють деякою структурою, але потребують суджень та переваг людини, створення ефективних систем підтримки прийняття рішень (СППР) [2, 4, 7].

СППР є потужним засобом розв'язання таких проблем, проте відповідні системи лише допомагають користувачеві прийняти рішення, але не можуть замінити творчо мислячого керівника. Звичайно, використання СППР дозволить всебічно проаналізувати запропоновані варіанти та знайти найліпше або допустиме рішення, враховуючи переваги та можливість особи, яка приймає рішення. Але питання застосування СППР на шляху попереднього аналізу та структуризації екологічних проблем, як одного з принципово важливих етапів підготовки та прийняття рішень, найменш розроблені. У напрямку підвищення якості та скорочення часу ухвалення рішень при екологічному управлінні об'єктами, комплексами та системами критичної інфраструктури, природного заповідного фонду виник новий науковий напрямок – інтелектуальні СППР.

Важливість ефективних структуризації та аналізу проблемної сфери зазначається в працях зі створення нових інтелектуальних систем [4, 6, 8–12]. Проведений аналіз засвідчує, що використання на початкових етапах розроблення таких систем принципів системного аналізу, зокрема цільового принципу, дозволяє значно скоротити час виконання таких завдань. Відповідно до [3], сутність цільового принципу полягає в тому, що аналіз будь-якого процесу прийняття рішення має починатися з визначення та чіткого формулювання цілей, розуміння бажаного результату діяльності, стану екологічного управління. Під час розроблення системи управління екологічною безпекою мета визначається одним із найпоширеніших способів: на основі розгляду системи вищого рівня. Об'єктом дослідження в галузі технології захисту навколишнього середовища є системи, що утворилися в результаті взаємодії конкретної планової діяльності підприємств та організацій з навколишнім середовищем. Саме вона і є системою вищого рівня щодо ставлення до об'єкта екологічного управління, а відповідно і до завдань екологічної безпеки генеральною метою під час екологічного управління такими системами є досягнення гармонійної взаємодії об'єкта планової діяльності та навколишнього природного середовища. Керуючись генеральною метою системи вищого рівня можна виділити мету системи, що розробляється, зокрема, це зменшення негативного впливу об'єкта планової діяльності на природне середовище шляхом допомоги керівнику в процесі вибору для впровадження природоохоронного заходу, відповідних технологій захисту навколишнього середовища.



**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Реалізація вимог та директиви Угоди про асоціацію України з Європейським Союзом передбачають розробку та впровадження ефективної системи управління екологічною безпекою. Створення такої системи відповідає європейським і світовим підходам до екологічного управління та значно розширить можливості міжнародної співпраці України у галузі охорони навколишнього природного середовища, що сприятиме приведенню стану довкілля у відповідність до європейських і світових вимог. Створення інтелектуальної інформаційної системи для підтримки прийняття рішень в галузі екологічної безпеки як складової системи екологічного управління, сприяє підвищенню екологічної безпеки та формування державної політики сталого розвитку, виконання міжнародних зобов'язань України у природоохоронній сфері. Тому потрібні наукові розробки сучасних технологій забезпечення екологічної безпеки та захисту навколишнього середовища при здійсненні екологічного управління [1, 4, 5, 8].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема створення інтелектуальної інформаційної системи для підтримки прийняття рішень в галузі екологічної безпеки була розглянута в працях багатьох авторів [2, 4–12].

Питання використання інтелектуальних технологій для реалізації інформаційної підтримки прийняття рішень розглянуті в працях [2, 7, 12]. Генетичні та еволюційні алгоритми, нечіткі багатокритеріальні інструменти прийняття рішень, розглянуті в працях [8, 12]. У дослідженнях [4, 5] обґрунтовані побудови експертної системи підтримки прийняття рішень у інтелектуальній системі екологічного моніторингу, наведено результати аналізу, що підтверджують правильність вибору байєсівських мереж довіри як методу побудови експертної системи підтримки прийняття рішень, що дозволяє їй ефективно функціонувати в умовах невизначеності.

Проведений аналіз свідчить, що у теперішній час залишаються невирішеними питання наукового обґрунтування створення концепції створення інтелектуальної інформаційної системи для підтримки прийняття рішень у галузі екологічної безпеки.

**Невирішена раніше частина загальної проблеми.** Підвищення ефективності управління екологічною безпекою, як складової національної безпеки держави, можна здійснювати шляхом впровадження в систему управління екологічною безпекою сучасних інформаційних та телекомунікаційних технологій, глобальних інформаційних мереж, застосування систем штучного інтелекту під час отримання, оброблення, представлення візуалізації екологічної інформації.

Запропонований підхід дозволяє визначити нові підходи до побудови концептуальної схеми інформаційних потоків, що дає змогу створювати системи

розподіленого штучного інтелекту в інтелектуальних системах підтримки прийняття управлінських екологічних рішень за допомогою технології GRID, що є одним із перспективних напрямків розвитку програмного забезпечення багатокритеріального аналізу альтернатив та оптимізації.

**Мета дослідження** полягає у полягає у науковому обґрунтуванні концепції створення інтелектуальної інформаційної системи для підтримки прийняття рішень у галузі екологічної безпеки на основі застосування апарату штучних інтелектуальних мереж.

Об'єктом досліджень є проблеми створення штучних інтелектуальних систем підтримки прийняття екологічних рішень для забезпечення екологічної безпеки екосистем.

Предметом досліджень є інтелектуальне ядро системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень

Методологія та методи дослідження. За виконання досліджень використано методи дослідження операцій, обробки інформації, теорії управління організаційно-технічними системами, теорії розподілених систем, нечіткої логіки, штучних нейронних мереж.

**Результати досліджень.** Процес розроблення концепції створення інтелектуальної інформаційної системи для підтримки прийняття рішень у галузі екологічної безпеки передбачає формалізацію таких процесів: визначення особливостей автоматизації експертної обробки та процесу прийняття рішень у системах екологічного управління; формування архітектури системи інтелектуальної підтримки прийняття управлінських екологічних рішень та визначення потоків відповідних інформацій в системі; застосування в ІСППР інтелектуальної технології GRID-систем.

**Особливості автоматизації експертної обробки та процесу прийняття рішень у системах екологічного управління**

Автоматизація експертної обробки та процесу прийняття рішень у системах екологічного управління здійснюється на основі системологічного аналізу проблемної сфери, зокрема, визначення специфіки забезпечення екологічної безпеки: оцінка впливу на навколишнє середовище; національний план дій з охорони навколишнього середовища; Стратегія державної екологічної політики України тощо [1, 3, 5].

Досвід створення прототипу інтелектуальної інформаційної системи для підтримки прийняття управлінських екологічних рішень дозволяє стверджувати, що вагомого ступеня спрощення опису об'єкта планової діяльності можна досягти завдяки застосуванню принципу ієрархічності [3, 4]. Він передбачає існування ієрархічної структури складного об'єкта, що відображається за допомогою декомпозиції цього об'єкта. Декомпозиція об'єкта планової діяльності на структурні елементи (або

функціональні процеси), а в подальшому і на функціональні елементи та агрегати, які, власне, й утворюють на своєму виході забруднення навколишнього середовища та промислові відходи, є найбільш плідною. Подібна декомпозиція складного об'єкта дозволяє сформуванню такої «дерево» цілей:

- зменшення негативного впливу всього комплексу викидів забруднюючих речовин та антропогенної діяльності на стан природного середовища;
- зменшення впливу комплексу викидів забруднюючих речовин окремого цеху;
- зменшення впливу комплексу викидів окремо взятого агрегату;
- зменшення шкідливого впливу окремого викиду конкретного агрегату на стан навколишнього середовища.

Сформоване «дерево» цілей дозволяє застосовувати системний підхід до побудови інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень (ІСППР). При цьому застосовано підхід, який є найбільш прийнятним, – прототипування систем. Декомпозиція цілей за такого підходу відіграє свою позитивну роль. Прототип ІСППР створюється для нижнього рівня «дерева» цілей. Шляхи нарощування можливостей системи в процесі прототипування за такого підходу – це рух вгору по ієрархії «дерева» цілей. Створений прототип ІСППР у сфері екологічної безпеки об'єкта планової діяльності підтримує виконання таких функцій:

- придбання та надання експертної інформації щодо поточного стану навколишнього середовища, склад та характеристики викидів, структурні особливості об'єктів планової діяльності, основні характеристики очисних споруд;
- аналіз взаємозв'язку об'єктів планової діяльності з навколишнім середовищем та надання експертних висновків щодо необхідності застосування технологій захисту навколишнього середовища;
- підбір залежно від специфіки функціональних процесів та інших чинників відповідних природоохоронних заходів;
- багатокритеріальна оцінка якості варіантів розв'язання;
- надання аналітичної допомоги особі, яка приймає рішення (ОПР) у процесі вибору найбільш оптимального з його погляду природоохоронного заходу.

При розробці ІСППР у напрямку їх зближення з експертними системами існує гостра необхідність перенести деякі з концепцій експертних систем у сферу ІСППР. Одна з таких концепцій – реалізація можливості набуття системою знань, що ставить систему на щабель вище за ті ІСППР, у яких передбачено формування опису проблеми засобами самої системи. Ефективна експлуатація такої ІСППР у значній мірі залежить від потужності розробленої бази знань, в основу якої має бути покладена концептуальна модель проблемної галузі. Коли завдання

спочатку не структурована, як у випадку зі сферою екологічної безпеки навколишнього середовища та природних ресурсів, її структура має бути розглянута в такому вигляді, щоб вона була зрозуміла ОПР у взаємозв'язку її основних елементів.

Особливі труднощі тут виникають, перш за все, тому, що аналіз екологічних проблем є творчим процесом, що неповною мірою піддається формалізації. Тому особливо необхідно у практиці розробки баз знань для ІСППР використання нових, системологічних когнітивних методів концептуального моделювання неформалізованих проблемних областей; методів, що вже знайшли своє ефективне застосування у розробках експертних систем.

У процесі роботи над системою було проведено концептуальний аналіз проблемної галузі та визначено основні компоненти, необхідні під час визначення природоохоронних заходів. Отже, база знань ІСППР містить таку інформацію:

- опис ієрархії об'єкта екологічного спостереження як структури типу: система – екологічний процес (об'єкт) – структурний елемент (промисловий агрегат, пристрій);
- опис поточного стану навколишнього середовища, що включає інформацію про основні сфери; гідросфера (водні об'єкти, до яких підприємство скидає стічні води); атмосфера (повітряний басейн над територією підприємства); літосфера (земельні площі, що служать місцем зберігання твердих відходів);
- опис складу викидів забруднюючих агрегатів, що включає список шкідливих речовин з такими характеристиками: порівняльний ступінь небезпеки забруднювача, масштаб його поширення, можливість його перенесення і стійкість, гранично допустима концентрація та інтенсивність його викиду;
- опис очисних пристроїв та природоохоронних заходів з урахуванням їх характеристик: тип роботи пристрою, продуктивність, сфера застосування (перелік забруднювачів, що очищаються, та ступінь їх очищення), економічні та технологічні характеристики пристрою.

Під час аналізу проблемної області було виявлено, що немає будь-якої надійної кількісної моделі (іншими словами, об'єктивної моделі), що пов'язує ті критерії, які необхідно враховувати в процесі вибору. Було визначено, що найбільш успішно може використовуватися суб'єктивна модель прийняття рішень, що допоможе встановити такі зв'язки, керуючись деякою суб'єктивною інформацією, а саме: переваг самого користувача. Для реалізації таких можливостей було обрано діалоговий метод замкнених процедур побудови квазіпорядку (опорних ситуацій – запит) на множині багатокритеріальних альтернатив [2].

Такий підхід передбачає наявність сукупності різномірних чинників, які слід брати до уваги з метою оцінки характеру аналізованих альтернатив. У цьому випадку користувач не має цілісного уяв-

лення про варіант рішення. ІСППР спроможна допомогти ОПР визначити склад параметрів (критеріїв), що характеризують його ставлення до цієї проблеми. З цією метою в системі за допомогою реалізації бази моделей передбачено оцінку якості альтернатив природоохоронних заходів за економічними, експлуатаційно-технологічними та екологічними критеріями. База моделей повинна містити набір різноманітних моделей, які можуть проводити аналіз та структурування задачі прийняття рішення. При розробці ІСППР в систему було закладено можливість моделювати ситуації викиду забруднюючих речовин у навколишнє середовище, радіаційного забруднення земельних ресурсів певної концентрації та визначати необхідність застосування технологій захисту навколишнього середовища, виходячи із встановлених гранично допустимих концентрацій на даний вид забруднювача. З цією метою в систему закладено модель поширення забруднюючих шкідливих речовин довкілля та природних ресурсів. Так, наприклад модель водних ресурсів дозволяє врахувати фонову концентрацію шкідливих речовин у водотоку, спосіб спуску стічних вод, швидкість течії річки та інші характеристики водного об'єкта.

Виходячи з необхідності багатокритеріальної оцінки якості технології захисту навколишнього середовища в базу моделей ІСППР повинні бути закладені такі об'єктивні та суб'єктивні моделі:

Об'єктивна модель оцінки екологічної ефективності природоохоронного заходу (або модель оцінки залишкової шкоди навколишньому середовищу). В основу цієї моделі може бути покладено систему оцінки стану навколишнього середовища Бателле [12], засновану на проведенні комплексного аналізу різних середовищ;

модель оцінки експлуатаційно-технологічної ефективності технології захисту навколишнього середовища. Вона є суб'єктивною моделлю і дозволяє враховувати переваги користувача за такими характеристиками: потреба підчас організації захисту навколишнього середовища в обслуговуючому персоналі, вільних площах, технологічність застосування обладнання навколишнього середовища та ін; різного виду економічні моделі, що дозволяють враховувати прямі та опосередковані витрати на реалізацію технологій захисту навколишнього середовища та забезпечення екологічної безпеки.

Отримані в процесі створення ІСППР практичні та теоретичні результати є лише невеликим кроком на шляху усунення тієї реальної загрози глобальної екологічної кризи, перед якою опинилося наше суспільство на етапі сталого розвитку. Необхідно зазначити, що автоматизація експертної обробки та процесу прийняття рішень з питань усунення критичних екологічних ситуацій за допомогою застосування ІСППР, заснованих на сучасних інтелектуальних технологіях, може стати одним із напрямків у вирішенні екологічних проблем суспільства.

### *Архітектура системи інтелектуальної підтримки прийняття управлінських екологічних рішень.*

Проведений аналіз засвідчує, що характерною рисою слабо структурованих завдань, тобто саме таких завдань, що найбільше вимагають залучення СППР, є багатокритеріальність [1, 5], яка полягає в тому, що якості прийнятих рішень не можна оцінити за допомогою єдиного скалярного показника і доводиться вдаватися до векторного критерію. Для вирішення труднощів ранжування і оптимізації альтернатив, що виникають при цьому, доводиться використовувати неформальні методи скаляризації, що спираються на судження ОПР.

У структурі ІСППР функціональними компонентами  $F(S)$  є модулі прикладних систем, що виконуються в сукупності зі службовими модулями, які забезпечують спільну роботу об'єднаних систем

$$I(S) = \langle F(S), D(W), U(PC) \rangle, \quad (1)$$

де  $F(S)$  – функціональні компоненти;  $D(W)$  – узагальнена база даних;  $U(C)$  – керуючий програмний комплекс.

У процесі спільної роботи модулі, що об'єднуються  $M_i$  ( $i=1, \dots, m$ ) взаємодіють з узагальненою базою даних  $D(W)$  за допомогою службових модулів, функції яких складаються у виборі з бази даних необхідних для своєї роботи даних і в розміщенні в ній результатів виконаного аналізу. Керуючий програмний комплекс  $U(PC)$  забезпечує функціонування інтегрованої системи  $I(S)$  за допомогою програмних засобів.

Узагальнена база даних  $D(W)$  формується відповідно до загальних принципів побудови сховищ даних та знань. Для представлення структури управління програмними системами використовуються різні формалізми, зокрема, й мережі Петрі [2]. Формальний апарат таких мереж призначений для моделювання впорядкування подій та потоку інформації.

Функціональний аналіз прикладних систем, що ґрунтуються на знаннях, зазвичай здійснюється в рамках міжнародного стандарту IDEFO. Така методологія дозволяє уявити формальну модель інтегрованої системи інтелектуальної підтримки моделювання та візуалізації в нотатції стандарту IDEFO у вигляді наступної узагальненої структури (рис. 1).

Синтез моделей обробки інформації в ІСППР в умовах безперервної зміни динаміки об'єкта і зовнішнього середовища дозволяє вирішити проблеми створення баз знань, що еволюційно самоорганізуються, а також систем адаптивного синтезу інформаційно-обчислювальних конфігурацій.

Спільно ці проблеми визначають загальну проблему розробки теоретичних основ побудови інтегрованих програмно-апаратних комплексів.

Програмний комплекс інтелектуальної підтримки прийняття рішень у задачах моделювання та візуалізації в ІСППР представлений на рис. 2. Комплекс сут-



Рис. 1. Архітектура системи інтелектуальної підтримки

тево розширює функціональні можливості загальної структури, представленої на рис. 1, та є системою розподіленого штучного інтелекту.

ІСППР поєднує суворі формальні методи аналізу та інтерпретації інформації при вирішенні завдань динаміки складного об'єкта з евристичними методами та моделями, що базуються на досягненнях комп'ютерної математики, знаннях експертів, імітаційних моделях, накопиченому досвіді.

Система включає ряд модулів, що взаємодіють між собою, виконують певні функції відповідно до загальної

стратегії функціонування. Крім традиційних для систем інтелектуальної підтримки модулів, система містить модулі імітації, аналізу та прогнозу проблемної ситуації (моделювання), організації різних видів інтерфейсу.

Аналіз завдань, розв'язуваних у межах ІСППР, дозволяє окреслити низку особливостей:

- складність алгоритмів та велика кількість вихідних даних із суттєво різною структурою;
- наявність жорстких вимог щодо продуктивності обчислювальної системи, необхідність обчислень у режимі реального часу;

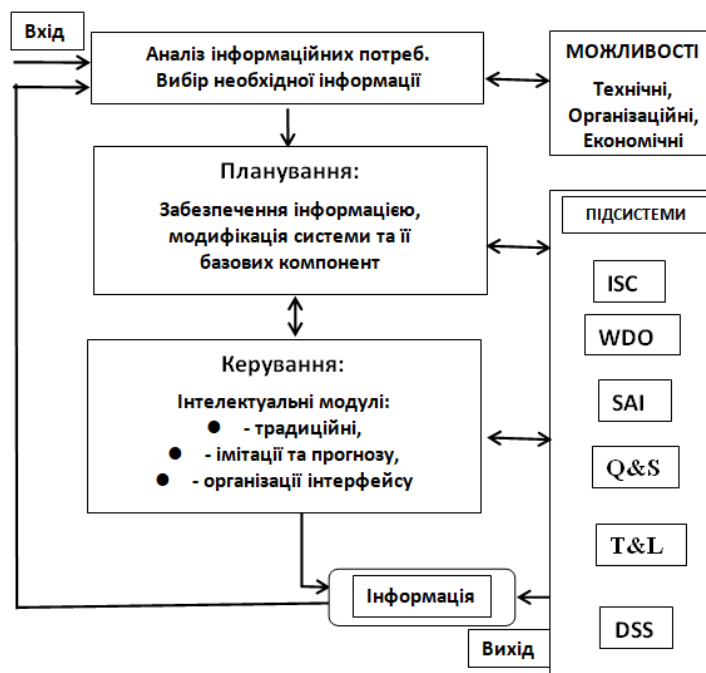


Рис. 2. Потік інформації, що реалізує концепцію системи підтримки рішень в ІСППР: ISC – інтегрована підсистема управління обчисленнями; WDO – підсистема організації даних; SAI – пошук та забезпечення доступу до інформації; Q&S – контроль якості рішень; T&L – тестування та навчання; DSS – прийняття рішень

– потреба реалізації операцій між великою кількістю різномірних об’єктів, включаючи операції збудження динамічних об’єктів, з урахуванням складної структури відносин між класами об’єктів.

При цих завдань адаптивний синтез і розпаралелювання комп’ютерних програм здійснюється шляхом систематичного виконання трансформацій програм, представлених схемними правилами. Однак багато розпаралелюючих перетворення зручніше задати в процедурному вигляді.

Подані у вигляді правил трансформації знання (схемні правила) про методи розпаралелювання програм можна накопичувати та використовувати за допомогою підсистеми організації даних в ІСППР.

Вихідні дані щодо поточної ситуації під час функціонування ІСППР отримують шляхом обробки апіорної інформації (рис. 3).

Обробка цієї інформації реалізується в режимі реального часу та дозволяє «налаштувати» ІСППР на вирішення завдань інтерпретації поточної ситуації.

Алгоритми аналізу та прогнозу ситуації дозволяють відновлювати поточні характеристики зовнішніх збуджень та параметри об’єкта спостереження, а також побудувати фактичні значення функцій приналежності, що визначають логіку функціонування динамічної бази знань (оцінку небезпеки ситуації та прогноз її розвитку) на основі фактичних даних про стан зовнішнього середовища та об’єкта спостереження.

Концептуальна модель перетворення інформації при функціонуванні ІСППР у складних динамічних середовищах має вигляд:

$$S = (F: T \times X \times Q \rightarrow Y), \quad (2)$$

де  $S$  – множина стратегій управління;  $X$  – множина елементів оперативної бази даних;  $T$  – множина аналізованих моментів часу;  $Q$  – множина всіх можливих значень вектору вхідних впливів;  $A = T \times X \times Q$  – множина закономірностей у даних;  $Y$  – множина правил узагальнення інформації;  $F$  – множина елементів, які реалізують принцип конкуренції.

Система інтелектуальної підтримки має такі відмінні властивості:

- складна розподілена структура (структурна складність);
- багатоцільовий характер перетворення інформації (функціональна складність);
- необхідність обліку та формалізації невизначеності (інформаційна складність);
- врахування особливостей розробки (проектна складність).

Інформаційний простір, що надається ІСППР (рис. 4), забезпечує можливість взаємодії фахівців різних предметних областей під час вирішення завдань аналізу та інтерпретації інформації на всіх стадіях виконання розрахунків та моделювання при розробці складних систем та технологій.

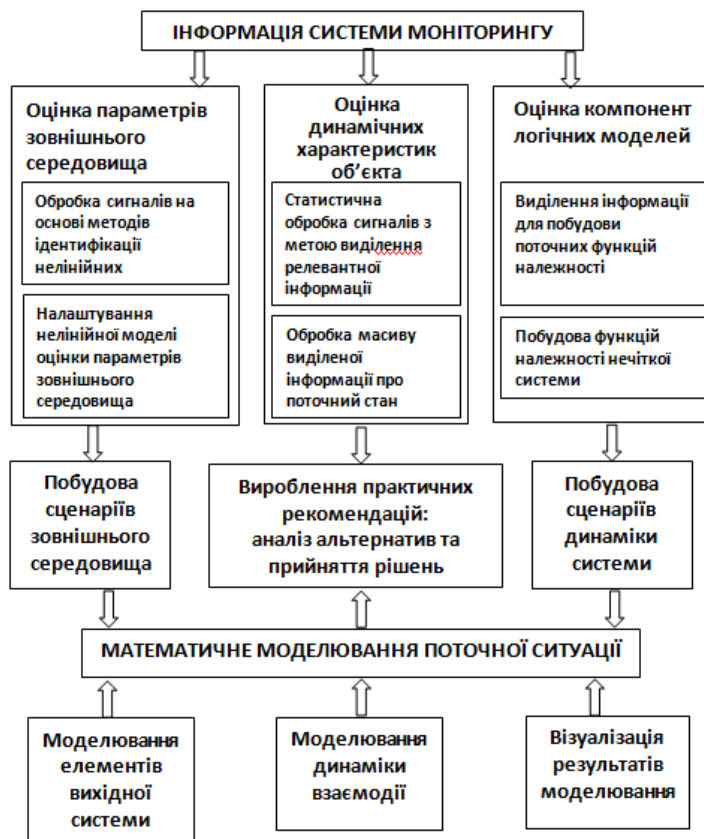


Рис. 3. Потік інформації у завданнях моделювання та візуалізації



Рис. 4. Інформаційний простір системи інтелектуальної підтримки

Загальна інформаційна модель інтелектуальної підтримки моделювання та візуалізації представляється як безліч інформаційних моделей, що складаються з окремих наперед визначених інформаційних об'єктів. Адаптивна компонента (модуль адаптації), що забезпечує функціонування системи на базі інформаційної моделі, передає знайдене системою рішення розробнику для подальшого аналізу та інтерпретації. Прогнозування інформаційних потреб та інтелектуальної підтримки полягає у визначенні класу розв'язуваної задачі (ситуації), формуванні та перетворенні інформації з урахуванням особливостей розробника та рівня його професійної майстерності.

Під час пошуку моделі інтелектуальної підтримки проводиться попередня оцінка ефективності та безпеки її використання.

Концепція ІСППР сформульована як узагальнення та розвитку традиційних моделей обробки інформації з урахуванням високопродуктивних

засобів обчислень [2, 8–12]. Концептуальна модель передбачає використання ІСППР як для вирішення складних завдань під час моделювання динаміки складних об'єктів, так й для розширення функціональних можливостей обчислювального комплексу в межах сховища даних (рис. 5) за допомогою доступу до мереж Internet та Intranet.

При розробці концептуальної моделі сформульовано принципи побудови та особливості застосування ІСППР під час вирішення завдань моделювання та інтерпретації екологічної інформації. Серед цих принципів слід виділити адаптивність, багатопроцесорність та максимальну швидкість, відкритість, безперервність функціонування та живучість.

ІСППР має можливість еволюційного нарощування в умовах безперервної зміни динаміки об'єкта та зовнішнього середовища, приклад наведений на рис. 5.

Одним із перспективних напрямів удосконалення ІСППР підтримки прийняття рішень є інтеграція

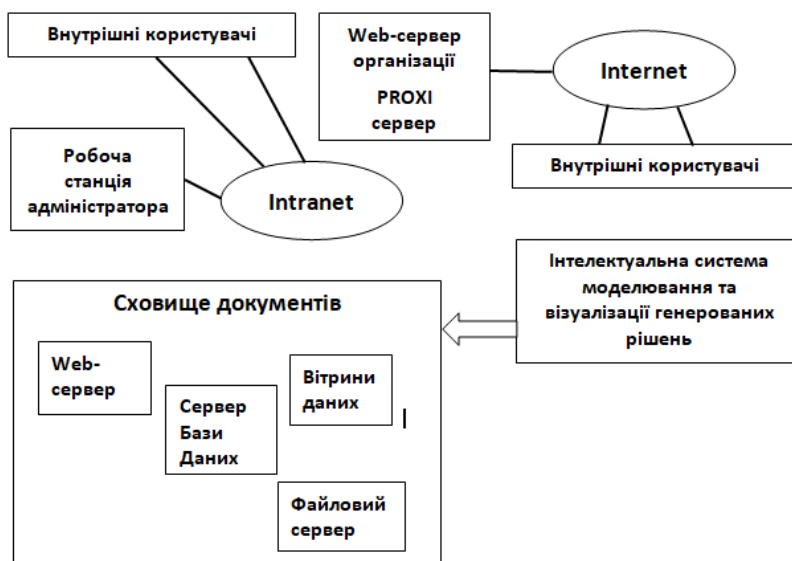


Рис. 5. Інтеграція ІСППР зі сховищем даних підприємства

цієї обчислювальної технології з інтелектуальною технологією GRID-систем. Системний аналіз та синтез моделей обробки інформації в інтелектуальних GRID-системах визначає методи вирішення складних науково-технічних проблем, особливо у додатках, пов'язаних із безперервним функціонуванням досліджуваних об'єктів.

Створення інтегрованих еволюційно-самоорганізованих баз даних і знань, а також систем адаптивного синтезу інформаційно-обчислювальних конфігурацій визначає загальну проблему розробки теоретичних основ побудови програмно-апаратних комплексів, що самоорганізуються та інтегрують досягнення ІВ дослідницького проектування й інтелектуальних GRID-систем [8, 11].

Функціонуючи як віртуальне динамічне середовище, GRID забезпечує роботу кінцевих користувачів та виконання додатків як єдина комп'ютерна система, що поєднує як окремі системи, а й організації, різні комп'ютерні архітектури і програмне забезпечення. При цьому пропонується необмежена потужність, можливість спільної роботи та доступ до інформації всім користувачам мережі GRID.

Важливі додатки мають GRID-технології під час створення віртуальних програмних комплексів. Стратегія GRID-технологій дозволяє забезпечити такі переваги:

- підвищення ефективності використання всіх обчислювальних ресурсів усередині кожної організації та всіх інших організацій, які забезпечують функціонування системи;

- створення віртуальної організації (полігону), яка працює над єдиними проблемами, дозволяючи спільно використовувати додатки та дані, забезпечуючи зниження сукупної вартості обчислень шляхом роздільного використання та управління обчислювальними ресурсами;

- можливість роботи з великими завданнями, потребують величезних обчислювальних потужностей, об'єднання комп'ютерних обчислень, системи зберігання даних та інших ресурсів.

Об'єднання інформаційних ресурсів і створення єдиного інформаційного простору на базі GRID-технологій відкриває можливості об'єднання ресурсів, що відрізняються за продуктивністю, архітектурою, характеристиками тощо. Саме здатність GRID поєднувати гетерогенні ресурси, надавати одноанітний доступ користувачам, забезпечувати якісне, надійне та недороге обслуговування з гарантованою продуктивністю, а також забезпечувати універсальність середовища моделювання (за додатками, сервісами, ресурсами) спрямовує цю технологію нині на такі позиції.

Основні проблеми досліджень під час реалізації GRID-технологій пов'язані з вирішенням питань обчислювальної потужності, створення єдиного інформаційного простору, програмного репозиторію та системної інтеграції для забезпечення режиму

реального часу. Прогрес, досягнутий в галузі організації розподілених обчислень, а також досвід участі в міжнародних проектах GRID дозволяють успішно розбудовувати цей напрямок як обчислювальний інструментарій, що є сукупністю розподілених комп'ютерних ресурсів, доступних через локальну або розподілену мережу.

Таким чином, найбільший ефект при використанні GRID-технології для створення єдиного інформаційного простору функціонування ІСППР дозволяє вирішувати завдання об'єднання різнорідних ресурсів (обчислювальні засоби, програмне забезпечення, бази даних, знання) та здійснювати одноанітний доступ (організацію інтерфейсу користувача) і делегувати ресурси для загального та розподіленого використання та управління системою доступу зовнішніх користувачів до розподіленого ресурсу.

Для прогнозування стану ДО в умовах безперервної зміни довкілля необхідно сформулювати математичну модель, що містить всю необхідну інформацію про параметри та зміну стану об'єкта протягом заданого інтервалу часу. З даних прогнозу система виробляє практичні рекомендації в такий спосіб, щоб уникнути цієї небезпеки. Реалізація принципу нелінійної самоорганізації розробки бази знань ІСППР вимагає великого обсягу обчислювальних операцій, (оцінка динаміки об'єкта екологічного спостереження з урахуванням математичного моделювання екстремальних ситуацій з наступним формулюванням відповідних критеріальних оцінок).

Перевірка коректності алгоритмів управління та ухвалення управлінських екологічних рішень здійснюється формальним шляхом на основі загальних вимог до алгоритмічного забезпечення ІСППР (несуперечливість, стійкість та самоузгодженість) [4, 23].

Отже, системи ІСППР як інструментарій багатокритеріального аналізу альтернатив та оптимізації спонукають до створення загальносистемних принципів та підходів. Під час створення ІСППР слід керуватися такими базовими інваріантними і концепціями: бази знань у системі мають еволюційно самоорганізовуватися; інформаційно-обчислювальні конфігурації ІСППР синтезуються адаптивно; доцільне застосування GRID-технологій при обробці інформації в мультипроцесорному обчислювальному середовищі ІСППР (нелінійна самоорганізація та м'які обчислення).

**Висновки.** У праці запропонована концепція створення інтелектуальної інформаційної системи для підтримки прийняття рішень у галузі екологічної безпеки.

Процес розроблення концепції створення інтелектуальної інформаційної системи для підтримки прийняття рішень у галузі екологічної безпеки передбачає формалізацію таких процесів: визначення особливостей автоматизації експертної обробки та процесу прийняття рішень у системах екологічного управління; формування архітектури системи інте-

лектуальної підтримки прийняття управлінських екологічних рішень та визначення потоків відповідних інформацій в системі; застосування в ІСППР інтелектуальної технології GRID-систем. Обґрунтована архітектура системи інтелектуальної підтримки прийняття управлінських екологічних рішень та визначено потоки інформації, що реалізує концепцію системи підтримки прийняття рішень. Зазначено, що система інтелектуальної підтримки має такі відмінні властивості:

Складність розподіленої структури (структурна складність); багатоцільовий характер перетворення інформації (функціональна складність); необхідність обліку та формалізації невизначеності (інформаційна складність); необхідність врахування особливостей розроблення (проектна складність).

Використанні GRID-технології для створення єдиного інформаційного простору функціонування

ІСППР дозволяє вирішувати завдання об'єднання різнотипових ресурсів (обчислювальні засоби, програмне забезпечення, бази даних, знання) та здійснювати одноманітний доступ (організацію інтерфейсу користувача) і делегувати їх для загального та розподіленого використання та управління системою доступу зовнішніх користувачів до розподіленого ресурсу.

В рамках рекомендацій та перспективи подальшого дослідження розглянутої теми варто зазначити, що отримані результати дають змогу використовуватися з метою забезпечення екологічної безпеки навколишнього середовища та природних ресурсів. Окрім того, вони можуть стати основою для подальших наукових досліджень щодо поліпшення якості екологічного управління станом довкілля та об'єктами критичної інфраструктури за допомогою систем штучного інтелекту.

### Література

1. Бондар О.І., Машков О.А., Міхеєв 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.
2. Васильєв В.І., Шевченко О.І. Штучний інтелект: Формування та впізнання образів. Донецьк: Дон. ДНДІ, 2000, 360 с.
3. Іващенко Т.Г. Стратегічна екологічна оцінка документів державного планування: Монографія / Під загальною науковою редакцією д.б.н. Г. Г. Шматкова / Т. Г. Іващенко. К.: Основа. 2021. 60 с.
4. Машков О.А., Абідов С.Т., Іващенко Т.Г., Оводенко Т.С., Печений В.Л. Особливості екологічного прогнозування за допомогою штучних інтелектуальних систем підтримки прийняття управлінських рішень. Екологічні науки: науково-практичний журнал. К.: ДЕА. Випуск 1(46), 2023, № 5(44), с. 168–174.
5. Машков О.А., Іващенко Т.Г. Проблеми управління екологічною безпекою планованої діяльності за допомогою систем підтримки прийняття управлінських інформаційних екологічних рішень. Науковий часопис Академії національної безпеки, № 3–4 (27–28) 2020, с. 7–34.
6. Офіційний сайт організації-розробника FuzzyGLIPS. Електронний ресурс. URL: <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/projects/iit/fuzzy-reasoning.html>.
7. Шевченко О.І. Актуальні проблеми теорії штучного інтелекту. Київ, ІППШ, Наука і освіта, 2003, 228 с.
8. Alyoubi B.A. Decision support system and knowledge-based strategic management. ELSEVIER. 2015. № 65. С. 278–284.
9. Gottinger. H. W., Weinmann. P. Intelligent decision support systems. Decision Support Systems. 1992. Vol. 8, No. 4. P. 317–332.
10. Khodashahri N.G, Sarabi M.H. Decision support system (DSS). Singaporean journal of business economics and management studies. 2013. № 6. С. 94–102.
11. Tripathi K.P. Decision support system is a tool for making better decisions in the organization. Indian Journal of Computer Science and Engineering. 2017. № 21. С. 112–117.
12. Zadeh L. Fuzzy logic, neural networks and soft computing. Commutation on the ASM-1994. Vol. 37. № 3, pp.77–84.



УДК 332.1:502.131.1

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.3-48.2>

## МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ СІЛЬСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ НА ЗАСАДАХ СТАЛОГО СІЛЬСЬКОГО РОЗВИТКУ

Боголюбов В.М., Клепко А.В., Бондарь В.І., Наумовська О.І.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

вул. Героїв Оборони 15, 03041, м. Київ

volbog@ukr.net, alla.klepko@gmail.com, ndieco@ukr.net, el.naumovskaya@gmail.com

Формування регіональної політики на сучасному етапі становлення об'єднаних територіальних громад (ОТГ) неможливо без активізації ролі регіонів, як суб'єктів переходу до сталого розвитку суспільства. Для забезпечення управління регіональним розвитком необхідні додаткові соціальні, екологічні та економічні системні дослідження з обґрунтуванням показників (індикаторів) сталого розвитку. На шляху переходу регіонів до сталого розвитку головною проблемою є відсутність простої та ефективної системи оцінювання досягнутого прогресу в цьому напрямі. Якісні і кількісні індикатори сталого розвитку регіонів повинні охоплювати три важливі складові сталого розвитку, надавати достовірну інформацію для подальшого оцінювання і прогнозування, бути зрозумілими для всіх зацікавлених сторін. Розробка простих і ефективних показників сталого розвитку забезпечить також високу якість і ефективність процесу прийняття управлінських рішень у всіх сферах життя суспільства, зокрема, сільської громади.

У забезпеченні переходу сільської громади до сталого сільського розвитку особливу роль відіграватиме розвиток соціальної інфраструктури, яка має забезпечити формування і підтримку трудового потенціалу об'єднаної сільської громади. Для цього необхідно формування екологічної свідомості і впровадження таких визначальних факторів якісного територіального розвитку як «корпоративна відповідальність» і «відповідальна свобода».

Для формування сучасної моделі функціонування сільських територій на засадах сталого сільського розвитку необхідно визначити пріоритетні показники та індикатори сталого розвитку на місцевому рівні, що ґрунтуються на затверджених 17 Національних Цілях сталого розвитку до 2030 року, які потрібно застосовувати для проведення моніторингу заходів щодо переходу конкретної сільської громади до сталого сільського розвитку шляхом удосконалення системи управління соціально-економічним розвитком сільської громади з врахуванням екологічних обмежень. *Ключові слова:* сталий сільський розвиток, об'єднані територіальні громади, цілі, індикатори, довкілля.

**Model of functioning of rural territories on the basis of sustainable rural development. Bogoliubov V., Klepko A., Bondar V., Naumovska O.**

Formation of regional policy at the current stage of formation of united territorial communities (UTH) is impossible without activation of the role of regions as subjects of the transition to sustainable development of society. In order to ensure the management of regional development, additional social, ecological and economic systematic studies are needed to substantiate indicators of sustainable development. On the path of the transition of regions to sustainable development, the main problem is the lack of a simple and effective system for evaluating the progress achieved in this direction. Qualitative and quantitative indicators of sustainable development of regions should cover three important components of sustainable development, provide reliable information for further assessment and forecasting, and be understandable to all interested parties. The development of simple and effective indicators of sustainable development will also ensure high quality and efficiency of the management decision-making process in all areas of society, in particular, the rural community.

The development of social infrastructure plays a special role in the transition of a rural community to sustainable rural development. The infrastructure should ensure the formation and support of the labor potential of the united rural community. For this, it is necessary to form environmental awareness and implement such determining factors of qualitative territorial development as “corporate responsibility” and “responsible freedom”.

In order to form a modern model of the functioning of rural areas on the basis of sustainable rural development, it is necessary to define priority indicators and indicators of sustainable development at the local level, which are based on the approved 17 National Sustainable Development Goals until 2030, which must be used to monitor measures for the transition of a specific rural community to sustainable rural development by improving the management system of the socio-economic development of the rural community, taking into account environmental constraints. *Key words:* sustainable rural development, united territorial communities, goals, indicators, environment.

**Постановка проблеми.** За визначенням перехід до сталого розвитку – це економічно, соціально та екологічно збалансоване вирішення завдань по досягненню запланованих результатів функціонування суспільства з врахуванням можливостей майбутніх поколінь задовольняти свої потреби. При цьому, екологічна складова сталого розвитку стає першорядною і пріоритетною порівняно з економічними і соціальними результатами, оскільки стан

навколишнього природного середовища за сучасних умов є визначальним фактором життєзабезпечення майбутніх поколінь. Зростає потреба у ефективному та збалансованому використанні всіх видів ресурсів, особливо природного походження. Важливе значення набуває інноваційна політика, спрямована як на підвищення ефективності споживання природних ресурсів, так і зниження обсягів відходів, що утворюються в процесі виробництва та споживання,

а також широке використання відходів як вторинних матеріальних ресурсів.

Під *сталим сільським розвитком* ми розуміємо таку організацію життєдіяльності в цілому і сільської громади, зокрема, при якій забезпечуються сучасні потреби всіх членів сільської громади з врахуванням можливостей майбутніх поколінь забезпечувати свої потреби (включаючи соціальні, економічні та екологічні аспекти). Потрібно зауважити, що розвиток сільської громади залежить від стану ґрунтів на території громади, тому можливість переходу сільських громад до сталого сільського розвитку залежить, в першу чергу, від збереження якісного стану цих територій протягом всього періоду їх використання. Це означає, що сільські громади повинні використовувати принципи збалансованого використання природних ресурсів на всій території сільської громади.

**Актуальність досліджень.** Екологічна політика сільських громад повинна створити умови для зменшення антропогенного впливу на довкілля до нормативно допустимого рівня та забезпечити підтримання природних екосистем на рівні, що гарантує екологічну безпеку.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Велику увагу розвитку територіальних громад, зокрема, об'єднаних сільських громад, приділяють у своїх дослідженнях М. О. Клименко [1], А. М. Прищепи, О. А. Брежицької [2], О. І. Панкова [3], Коваленка А. О. [4]. ФАО (Продовольча і Сільськогосподарська Організація ООН) рекомендує для переходу до сталого сільського розвитку дотримуватись таких п'яти принципів [5, ст. 1, пункт 1]:

- покращення харчового ланцюга;
- захист та економія природних ресурсів;
- поліпшення добробуту та економічного стану населення;
- підтримка стійкості екосистем;
- підтримка державних ініціатив та нормативних актів.

У квітні 2021 року в Україні набрав чинності Протокол про сталий розвиток сільського господарства та сільської місцевості до Рамкової конвенції про охорону та сталий розвиток Карпат, яким передбачена гармонізація зусиль держави і місцевих органів влади для «підтримки сталого управління земельними ділянками, що традиційно обробляються людиною, на користь нинішнього і прийдешніх поколінь» [6, с. 2].

Зміст розглянутих нормативних актів і результати попередніх наукових досліджень можна вважати основою для розробки моделі переходу об'єднаних територіальних громад до сталого сільського розвитку, а важливість цих питань для суспільства зумовили вибір теми дослідження.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** У процесі дослідження використано аналітично-порівняльний метод аналізу статистичних

даних Державного управління статистики України. Ефективним методом розв'язання актуальних питань переходу сільської громади до сталого розвитку вважаємо використання системного підходу, спрямованого на дослідження сільської території як складної організованої агроєкосистеми.

**Новизна.** Запропонована модель формування системи індикаторів сталого сільського розвитку ґрунтується на можливості використання для моніторингу стану сільських територій індикаторів, встановлених для моніторингу виконання Національних Цілей сталого розвитку до 2030 року [7]. Відібрані для оціночної системи показники були доповнені рядом індикаторів екологічного спрямування, що дозволить більш ефективно ідентифікувати зміни стану компонентів довкілля.

**Виклад основного матеріалу.** Важливим напрямом формування регіональної політики є формування активної ролі регіону як суб'єкту переходу до сталого розвитку суспільства. Наукове забезпечення регіонального управління вимагає соціо-еколого-економічних системних досліджень з урахуванням показників та факторів сталого розвитку [4, с. 14]. У процесі реалізації концепції регіонального сталого розвитку головною проблемою є необхідність створення ефективної системи оцінювання досягнутої цілі в цьому напрямі за допомогою якісних і кількісних показників.

Ціль сталого розвитку №1 (ЦСР 1). За даними Державного комітету статистики України у 2021 році, рівень бідності в Україні становив 51%, що пояснюється економічною кризою, коли за межею бідності опинились 6 млн громадян. Рівень бідності у об'єднаних територіальних громадах оцінюють, у першу чергу, за економічними показниками, зокрема:

- часткою населення, чиї середньодушові еквівалентні сукупні витрати є нижчими за фактичний (або розрахунковий) прожитковий мінімум,
- часткою осіб, добове споживання яких є нижчим за 5,05 доларів США за ПКС;
- співвідношенням рівнів бідності домогосподарств з дітьми та домогосподарств без дітей.

Для сільських місцевостей України варто визначати кількість багатодітних сімей, оскільки цей показник свідчить про рівень необхідного соціального захисту місцевого населення. В Україні діє єдина база багатодітних сімей, що спрощує процедуру отримання інформації для проведення оцінювання об'єднаної територіальної громади за цим показником.

Ціль сталого розвитку № 2 (ЦСР 2) спрямована на подолання голоду шляхом активізації розвитку сільського господарства. ЦСР 2 охоплює три основні взаємопов'язані напрями – доступність збалансованого харчування, продуктивність сільського господарства та виробництво продуктів харчування. Однією з найбільш інноваційних систем сільського господарства, які відіграватимуть значну роль у забезпеченні гло-

бальної продовольчої та екосистемної стійкості є органічне землеробство. Саме тому, при оцінці сталого розвитку території об'єднаної територіальної громади (ОТГ) доцільно враховувати відсоток територій, на яких впроваджено систему органічного вирощування культур, як еколого-економічний показник сталого сільського розвитку.

Ціль 3 ЦСР «Міцне здоров'я і благополуччя» означає забезпечення здорового способу життя і добробуту в будь-якому віці. Показник «Частка витрат населення у загальних видатках на охорону здоров'я, %» характеризує рівень та інтенсивність фінансування державою системи охорони здоров'я. Він виражає ступінь пріоритетності розвитку цієї сфери у державній політиці й рівень орієнтації на забезпечення здоров'я нації. За умови збільшення індикатора з'являються можливості щодо зростання рівня розвитку системи охорони здоров'я, що, відповідно, позитивно впливає на рівень соціальної безпеки. Завданням цього індикатора є збільшення фінансування охорони здоров'я і набір працівників та покращення розвитку, професійної підготовки й утримання медичних кадрів.

Ціль 4 «Якісна освіта» означає забезпечення якісної освіти і сприяння можливості навчання протягом життя. Для моніторингу досягнення цієї цілі на рівні ОТГ запропоновано використовувати індикатори «Показник охоплення дітей віком 5 років закладами дошкільної освіти, %», який характеризує рівень забезпечення дітей закладами дошкільної освіти і завданням якого є забезпечення доступності якісного дошкільного розвитку для всіх дітей та «Рівень участі населення у формальних та неформальних видах навчання та професійної підготовки, %», що характеризує рівень підготовки та навчання населення незалежно від віку, а завданням якого є збільшення поширеності серед населення знань і навичок, необхідних для отримання гідної роботи та заробітної плати. Для сільського населення освіта сприяє працевлаштуванню, отриманню високого доходу, покращенню якості життя, для суспільства – довгостроковому економічному зростанню, посиленню інновацій, зміцненню інституційної та соціальної згуртованості. Екологічна освіта є одним із головних показників сталого розвитку, одним із найбільш дієвих інструментів запобігання деструктивним змінам навколишнього середовища, зменшення рівня бідності та покращення здоров'я населення. У багатьох сільських населених пунктах все ще бракує базової інфраструктури та засобів для забезпечення ефективного навчального середовища (доступ до електроенергії, Інтернету, комп'ютерів, якісної питної води й ін.). В умовах воєнного стану в Україні необхідно розвивати нові форми освіти, у тому числі технології дистанційного навчання.

ЦСР 5 – це забезпечення гендерної рівності, розширення прав і можливостей чоловіка та жінки, що означає рівний підхід до всього незалежно від

статі. Щорічно Світовий економічний форум (World Economic Forum) проводить дослідження індексу гендерного розриву (The Global Gender Gap Index), який відслідковує рух у напрямку досягнення гендерної рівності за чотирма показниками: економічна участь; розширення прав і можливостей жінок у політиці; рівень освіти, а також доступ до системи охорони здоров'я та тривалість життя. У 2021 році Україна посіла 74 місце із 156 країн світу, що на 15 пунктів нижче ніж 2020 року.

ЦСР 6 «Чиста вода та належні санітарні умови». Одним із найважливіших природних ресурсів, без якого неможлива життєдіяльність людини, є питна вода. Джерелом питного водопостачання жителів України на 80% є поверхневі джерела і на 20% – підземні. Вирішальними чинниками санітарного та епідеміологічного благополуччя населення є екологічний стан поверхневих вод. В останні роки спостерігається погіршення якості води, обумовлене забрудненням водних об'єктів, технологічною неспроможністю систем очистки та природно-кліматичними факторами. Питання доступу населення до якісної і безпечної води вирішується організацією централізованого водопостачання. У більшості сільських населених пунктах для питних потреб населення використовує шахтно-криничні води, які часто забруднені сполуками азоту, органічними сполуками, важкими металами і не відповідають мікробіологічним нормативам. Тому, питання якості води потребує постійного контролю, зокрема, облаштування санітарно-захисної зони джерела водопостачання.

Основною метою досягнення ЦСР 7 «Доступна та чиста енергія» є збільшення частки енергії з відновлюваних джерел у національному енергетичному балансі, зокрема за рахунок введення додаткових потужностей об'єктів, що виробляють енергію з відновлюваних джерел. Суть методологічного підходу до визначення енергетичної ефективності «Зеленої енергетики» полягає у розрахунку частки енергії, виробленої з відновлюваних джерел, у загальному кінцевому споживанні енергії і розраховується з урахуванням даних Держстату та Держенергоефективності у відповідності з правилами Директиви 2009/28/ЄС за допомогою програмного забезпечення "SHARES", розробленого Євростатом.

Визначальними для аналізу гідної праці (ЦСР 8) можна вважати зайнятість та наявність продуктивної роботи, тобто економічно доцільної для суспільства і вигідної для працівника. Необхідно оцінювати можливості працевлаштування та гідні умови праці населення працездатного віку за показником рівень зайнятості населення віком 20–64%.

ЦСР 9 «Промисловість, інновації та інфраструктура» має особливу роль у забезпеченні прогресу в досягненні всіх ЦСР, створюючи передумови для зростання доданої вартості та ВВП, як на національному, так і на локальному рівні, особливо у відно-

шенні розбудови сільської інфраструктури. В сучасних економічних, фінансових і соціальних умовах створення реальної самодостатньої та саморегулюючої системи соціально-економічного розвитку сільських територій є проблематичним. Особливо це стосується так званих периферійних (понад 10 км від районних центрів) поселень. Саме в таких селах найбільш інтенсивно погіршуються демографічні процеси: скорочується трудовий потенціал, зростають процеси безробіття і бідності селян, посилюється міграційний відтік сільської молоді. Як наслідок, ці села трансформуються в «неперспективні», сільська мережа скорочується, а території занепадають. Дороги з твердим покриттям у таких селах руйнуються і погіршується техногенно-екологічна безпека. З огляду на це, проблема соціально-економічного розвитку сільських територій переростає вже в національну і потребує вдосконалення соціальної політики.

У глобальному вимірі ЦСР 10 «Скорочення нерівності» означає скорочення нерівності всередині країни і між країнами. Нерівність доходів – глобальна проблема, що вимагає глобальних рішень. Вагомим індикатором цієї цілі є індикатор «Частка сільських домогосподарств, які потерпали від позбавлення через незабезпеченість населеного пункту своєчасними послугами швидкої медичної допомоги, %», який пропонується використовувати і на рівні ОТГ.

Крім певного позбавлення послуг швидкої медичної допомоги, сільські домогосподарства значно обмежені у доступі до лікування в стаціонарі, комплексного медичного обстеження, можливостей придбання необхідного медичного приладдя. Складність отримання медичних послуг на безоплатній основі або їх висока вартість є основною причиною проблем з отримання послуг лікаря, насамперед у незабезпечених верствах населення. Отже, доступність медичних послуг є комплексною проблемою, в якій відображаються інші проблеми — економічні, соціальні, політичні.

ЦСР 11 охоплює різні галузеві завдання (житлове забезпечення, безпека, екологія тощо) для реалізації на місцевому рівні. Забруднення атмосфери вважається найнебезпечнішою формою забруднення за обсягом, оскільки забруднення промислово розвинених міст токсичними агентами стає незворотним і негативно позначається на здоров'ї населення. Індекс якості повітря (AQI) використовується державними органами для інформування громадськості про те, наскільки забрудненим є повітря в даний час або наскільки забрудненим воно стане. Обчислення індексу якості повітря вимагає отримання інформації про рівень забруднення за певний середній період (як правило, це за 1, 8, 24 і 48 годин) отриманий з газоаналізаторів системи моніторингу якості повітря. Європейський індекс якості повітря складається з інтерактивної карти, яка показує місцеву ситуацію з якістю повітря на рівні станції, ґрунту-

ючись на п'яти ключових забруднювачах: тверді частки (PM<sub>2.5</sub> та PM<sub>10</sub>), приземний озон (O<sub>3</sub>), діоксид азоту (NO<sub>2</sub>) та діоксид сірки (SO<sub>2</sub>), кожен з яких оцінюється відповідно до стандартів, затверджених Директивами ЄС. Наразі в Україні активно впроваджуються система моніторингу якості атмосферного повітря регіонального рівня, зокрема, громадського – постійно функціонує близько 23 автоматичних станцій, встановлених Київськими міською та обласною державними адміністраціями. При цьому, мережа станцій громадського моніторингу в Україні включає більше 600 автоматичних станцій (Eco-City, ЛУНмісто, SaveDnipro та ін.). Розвиток таких мереж та вільний доступ громадськості до інформації про забруднення повітря в режимі реального часу дає підстави включити індекс якості повітря (AQI) для проведення комплексної оцінки стану об'єднаної територіальної громади.

ЦСР 12 охоплює два основні напрями – зниження ресурсоемності економіки та забезпечення екологічної безпеки. У вирішенні даної проблеми визначальним завданням є зменшення втрат продовольства у виробничо-збутових ланцюжках. Тому стає очевидною необхідність використання показника «Частка післязбиральних втрат у загальному виробництві зернових культур, овочів та баштанних культур, %».

Серед головних завдань, виконання яких дозволить мінімізувати екодеструктивний вплив відходів на довкілля – зменшення обсягів утворення відходів і збільшення обсягів їх переробки та повторного використання. «Вибір раціональної схеми розташування, типів і розрахунок необхідної кількості контейнерів для збирання відходів, як вторинної сировини», як індикатор сталого сільського розвитку відображає ефективність впровадження сучасної системи поводження з відходами.

Неконтрольоване утворення сміттєзвалищ є індикатором еколого небезпечних локальних джерел, оскільки їх морфологічний склад і масштаби поширення мають опосередкований вплив на якісні показники всіх об'єктів довкілля в зоні їх впливу та на залучення токсичних сполук і речовин в трофічні ланцюги екосистем, у тому числі, агроценозів. Тому, на нашу думку, показник «Наявність несанкціонованих сміттєзвалищ в зоні впливу населеного пункту» також має бути включеним до оціночної системи.

Єдиним індикатором щодо досягнення завдання 13.1 ЦСР 13 на національному рівні було визначено «Обсяг викидів парникових газів, % до рівня 1990 року». На рівні ОТГ використання цього показника є проблематичним і практично недоцільним.

ЦСР15 охоплює завдання з відновлення та раціонального використання суходолу та внутрішніх прісноводних екосистем. Нами запропоновані показники «Площа територій та об'єктів природно-заповідного фонду» та «Площа земель під лісовою рослинністю, га». Серед пріоритетних напрямків діяльності щодо

збереження біорізноманіття є захист земель і лісів. У зв'язку з цим, заплановано збільшувати площі, зайняті природними комплексами (нині близько 29%), та лісовкриті площі (відповідно, близько 16%).

Стале використання і охорона земель є одним з найважливіших компонентів, що прямо чи опосередковано стосується більшості ЦСР. Успішна реалізація завдання 15.3 (Індикатор 15.3.1.) щодо досягнення нейтрального рівня деградації земель (НРДЗ) дозволить відновити продуктивність земель. Мотивуючою ціллю НРДЗ є збереження продуктивності земельних ресурсів, підтримка функцій та послуг екосистеми та задоволення потреб нинішнього та майбутніх поколінь. Зважаючи на це, а також на те, що вміст гумусу у ґрунтах сільськогосподарських угідь традиційно вважається інтегральним показником родючості, було прийнято рішення включити цей показник до розроблюваного комплексу індикаторів переходу до сталого сільського розвитку.

Одним із основних напрямів державної політики щодо забезпечення сталого розвитку населених пунктів, як зазначалося у Концепції сталого розвитку населених пунктів, є раціональне використання земельних, водних, рекреаційних та інших природних ресурсів, створення умов для їх відновлення. Використання природної родючості ґрунту без намагання її відновити – ознака низького рівня розвитку як культури землеробства, так і суспільства загалом. Можна вважати землекористування оптимальним, коли відношення нестабільних факторів (рілля, сади) до стабільних (природні кормові угіддя, ліси, лісосмуги) не перевищує одиниці. Таким чином, є необхідність включити показники «Площа орних земель (рілля), га» та «Площа сільськогосподарських угідь екстенсивного використання (сіножатей, пасовищ), га» до розроблюваної системи індикаторів сталого сільського розвитку.

Досягненню Цілі 15 «Захист та відновлення екосистем суші», зокрема водних ресурсів, має передувати також досягнення доброго стану вод у басейні кожної річки, відповідно до Водної Рамкової Директиви. Особливістю сільських територій є сільськогосподарська діяльність населення, яка безпосередньо впливає на стан довкілля (водних ресурсів, атмосферного повітря, біорізноманіття). Таким чином, оцінка екологічного стану поверхневих водних об'єктів на сільських територіях є важливим показником для розроблення стратегії сталого сільського розвитку, а досягнення доброго екологічного стану водних об'єктів має бути індикатором досягнення рівня сталого розвитку сільської громади. Інтегрований індикатор якості масиву поверхневих вод визначається за біологічними, гідроморфологічними, хімічними та фізико-хімічними показниками. Базою даних для таких оцінок слугують результати

діагностичних, операційних та дослідницьких моніторингових досліджень, здійснених за басейновим принципом.

На сьогодні в Україні здійснюється адміністративно-територіальна реформа, результатом якої є створення нових об'єднаних територіальних громад та формування органів місцевого самоврядування. Мета реформи полягає наданні сільській громаді прав та інструментів для забезпечення розширеного відтворення населення та зростання рівня і якості його життя. Переведення сільських територій на модель сталого сільського розвитку слід вважати першочерговим завданням у розбудові держави.

#### **Висновки та перспективи:**

1. На основі комплексного аналізу наукових публікацій та нормативних актів акцентовано увагу на основних проблемах, що впливають на процес переходу об'єднаних територіальних громад до сталого сільського розвитку – напруженість демографічної ситуації; зниження зайнятості сільського населення; несприятливі умови праці; відсутність адаптованої системи освіти для сталого розвитку та відсутність системи менеджменту для забезпечення збалансованого природокористування.

2. Визначено пріоритетні напрямки агроекологічної політики об'єднаних сільських територіальних громад, а саме:

- вирішення питань утилізації побутових та відходи сільськогосподарського виробництва;
- поліпшення екологічного стану повітряного і водного басейнів, земельних ресурсів та якості питної води;
- формування системи збалансованого природокористування та структурної перебудови інфраструктури і виробничого потенціалу об'єднаних територіальних громад, екологізація агротехнологій;
- збереження біологічного та ландшафтного різноманіття на територіях сільських громад;
- екологізація просвіти та виховання, формування системи освіти для сталого розвитку;
- створення системи екологічного моніторингу довкілля на територіях сільських громад;
- вдосконалення системи регіонального екологічного управління.

3. Встановлено, що для формування сучасної моделі функціонування сільських територій на засадах сталого сільського розвитку необхідно визначити пріоритетні показники та індикатори сталого розвитку на місцевому рівні, що ґрунтуються на затверджених 17 Національних Цілях сталого розвитку України до 2030 року, які доцільно застосовувати для проведення моніторингу заходів щодо переходу конкретної сільської громади до сталого сільського розвитку шляхом удосконалення системи управління соціально-економічним розвитком сільської громади врахуванням екологічних обмежень.

## Література

1. Клименко М.О. Сталый розвиток місцевих громад: підручник. Київ: Видавничий дім «Кондор», 2018. 296 с.
2. Клименко М. О., Прищепя А. М., Брежницька О. А. Оцінювання стану територій міста за показниками сталого розвитку : монографія. Рівне : НУВГП, 2018. 221 с.
3. Панков О. І. Сталый розвиток у сільському господарстві. *Ефективна економіка*. 2011. № 5. URL: <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=750> (дата звернення: 30.05.2023).
4. Коваленко А. О. Стан і перспективи реалізації цілей сталого розвитку в Україні. *Економіка природокористування і сталый розвиток*. 2018. № 1–2. (20–21). С. 11–14.
5. Стале сільське господарство: методи та їх переваги. *EOS Data Analytics*: веб-сайт. URL: <https://eos.com/uk/blog/stale-silskе-hospodarstvo/> (дата звернення: 30.05.2023).
6. Протокол про сталый розвиток сільського господарства та сільської місцевості до Рамкової конвенції про охорону та сталый розвиток Карпат: від 02.12.2020. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/001\\_001-17#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/001_001-17#Text) (дата звернення: 30.05.2023).
7. Національна доповідь «Цілі Сталого Розвитку: Україна». URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/natsionalna-dopovid-csr-Ukraine.pdf> (дата звернення: 30.05.2023).

## ОПИС І ХАРАКТЕРИСТИКА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ, ЛІСОГОСПОДАРСЬКИХ, ЛІНІЙНО-ДОРОЖНІХ ТА ВОДНИХ ЛАНДШАФТІВ ПІД ЧАС НАВЧАЛЬНО-ЛАНДШАФТНОЇ ПРАКТИКИ

Бондар О.Б., Гурська О.В., Кремпович Л.С., Тригуба О.В.  
Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія імені Тараса Шевченка  
вул. Лицейна, 1, 47003, м. Кременець  
olexandr.bondar91@gmail.com

У статті охарактеризовано особливості проходження навчальної ландшафтно-екологічної практики здобувачами вищої освіти. Зокрема, зазначено, що для проходження такої практики здобувачі вищої освіти використовували робочу програму та методичні рекомендації, а також мали здати звіт, щоденник практики та електронний гербарій рослин.

Під час цієї практики здобувачі вищої освіти описали наступні види ландшафтів, серед яких можна виділити сільськогосподарський лучно-пасовищний, сільськогосподарський польовий, лісогосподарський, лінійно-дорожній та водний. Ці види ландшафтів є важливими складовими природного середовища та мають різноманітну природну ресурсну базу.

Усі види ландшафтів мають свої особливості та унікальні ресурси, які потрібно дбайливо використовувати та зберігати. Сільськогосподарські ландшафти є важливими для розвитку сільського господарства та забезпечення харчової безпеки. Здобувачі вищої освіти вивчали особливості лучно-пасовищних та польових ландшафтів, їх структуру та функціонування. Вони також вивчали рослинний та тваринний світ цих ландшафтів, зокрема, види рослин, які забезпечують кормову базу для тварин, а також види тварин, які є важливими для сільського господарства.

Лісові ландшафти є важливими для забезпечення деревини, кисню та підтримання біорізноманіття. Лінійно-дорожні ландшафти є складовою частиною транспортної інфраструктури та виконують важливу роль у забезпеченні мобільності та економічного розвитку країни. Водні ландшафти включають в себе річки, озера та інші водні об'єкти, які є важливими для життя людей та тварин, а також для забезпечення екосистемних послуг, таких як регулювання клімату та очищення води.

Після проходження практики здобувачі вищої освіти мали здати звіт, щоденник практики та електронний гербарій рослин. Звіт містив опис проходження практики та аналіз результатів, отриманих під час практики. Щоденник практики містив записи про кожен день практики, включаючи відомості про вивчені ландшафти та здійснені екологічні дослідження. Електронний гербарій рослин містив фотографії та відомості про зібрані під час практики рослини. Такий гербарій став важливим інструментом для вивчення та ідентифікації рослинного світу різних ландшафтів, що були вивчені здобувачами вищої освіти під час практики.

Проходження навчальної ландшафтно-екологічної практики є важливим етапом у формуванні професійної компетентності студентів в галузі екології та природничих наук. Цей досвід дозволяє здобувачам вищої освіти збагатити свої знання про природне середовище та розуміння взаємозв'язку між людиною та природою. Таким чином, проведення практики має велике значення для підготовки молодих спеціалістів, які зможуть допомогти в збереженні та відновленні природних екосистем.  
*Ключові слова:* ландшафт, навчальна практика, деревні породи, сільськогосподарських ландшафт, лісогосподарський ландшафт, водний ландшафт, гербарій рослин.

### **Description and characterization of agricultural, forestry, linear road and water landscapes during the educational landscape practice. Bondar O., Hurska O., Kremповych L., Tryhuba O.**

The article characterizes the peculiarities of the landscape and ecological practice of higher education students. In particular, it is noted that for the purpose of such practice, higher education students used a work program and methodological recommendations, and also had to submit a report, a practice diary and an electronic plant herbarium.

During this internship, higher education students described the following types of landscapes, including agricultural meadow and pasture, agricultural field, forestry, linear road and water. These types of landscapes are important components of the natural environment and have a diverse natural resource base.

All types of landscapes have their own characteristics and unique resources that need to be carefully used and preserved. Agricultural landscapes are important for agricultural development and food security. The students studied the features of grassland and field landscapes, their structure and functioning. They also studied the flora and fauna of these landscapes, in particular, plant species that provide food for animals, as well as animal species that are important for agriculture.

Forested landscapes are important for providing wood, oxygen, and maintaining biodiversity. Linear and road landscapes are an integral part of the transportation infrastructure and play an important role in ensuring mobility and economic development. Water landscapes include rivers, lakes, and other water bodies that are important for human and animal life, as well as for providing ecosystem services such as climate regulation and water purification.

After completing the internship, the students had to submit a report, an internship diary, and an electronic plant herbarium. The report contained a description of the internship and an analysis of the results obtained during the internship. The internship diary contained records of each day of the internship, including information about the landscapes studied and environmental research conducted. The electronic plant herbarium contained photos and information about the plants collected during the internship. This herbarium has become an important tool for studying and identifying the flora of different landscapes studied by higher education students during the internship.

Educational landscape and ecological practice is an important stage in the formation of students' professional competence in the field of ecology and natural sciences. This experience allows higher education students to enrich their knowledge of the natural environment and understanding of the relationship between humans and nature. Thus, internships are of great importance for training young professionals who can help preserve and restore natural ecosystems. *Key words*: landscape, educational practice, tree species, agricultural landscape, forestry landscape, water landscape, plant herbarium.

**Постановка проблеми.** З вторгненням Росії на територію України з 24 лютого почалася руйнівна війна, яка призвела і продовжує призводити до серйозних наслідків для місцевого населення та інфраструктури України [2]. Ці події вплинули на те, що здобувачі вищої освіти проходили ландшафтно-екологічної практики онлайн на території місця проживання. Так, ця практика, допомагає закріпити теоретичні знання та вміння, отримані у процесі вивчення різних дисциплін. Під час цієї практики студенти ознайомлюються з особливостями екосистем та впливом антропогенних факторів на них в польових умовах [7]. Вони також вивчають методи збереження біологічного різноманіття на різних рівнях – від видів до екосистем. Особлива увага приділяється реалізації природоохоронної діяльності промислових і комунальних підприємств, а також установ природно-заповідного фонду [9, 10]. Практика також передбачає ознайомлення студентів з різними типами ландшафтів [4], які утворилися в результаті антропогенного впливу на природне середовище.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Особливості проходження навчальної ландшафтно-екологічної практики присвячена значна кількість наукових праць різних науковців: Солошич І.О., Алексеева Т.М. [8], Барна І.М. [1], Максименко Н.В. [5] Пікареня Д.С. [6] та інші. У наведених вище наукових роботах охарактеризовано та проаналізовано особливості проходження навчальної ландшафтно-екологічної практики. Так, під час цієї практики здобувачі вищої освіти вивчають природні компоненти ландшафтів, їх функцій та ролі в екосистемах, а також взаємозв'язки між різними типами ландшафтів та вплив людської діяльності на їх стан.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** У цій статті наведена інформація щодо особливостей проходження навчальної ландшафтно-екологічної практики під час карантину.

**Науково новизною** є описи видів ландшафтів: сільськогосподарський лучно-пасовищний, сільськогосподарський лучно-пасовищний, сільсько-

господарський польовий, лісогосподарський, лінійно-дорожній, водний на території Львівської області.

**Методологія дослідження.** Для виділення таксономічних одиниць антропогенного ландшафту використовували методику за Мільковим [3, 5]. Так, ці таксономічні одиниці антропогенного ландшафту за Мільковим дають можливість класифікувати різні типи антропогенного ландшафту та досліджувати їх особливості. Для побудови схем-карт опису точок опису ландшафтів використовували смартфон з GPS навігатором та карти Google.

**Викладення основного матеріалу.** Для проходження навчальної ландшафтно-екологічної практики здобувачі вищої освіти використовували робочу програму та методичні рекомендації для проходження практики. Після проходження практики здобувачів вищої освіти мали здати: звіт, щоденник практики та електронний гербарій рослин. Нижче наведено описи таких видів ландшафтів: сільськогосподарський лучно-пасовищний, сільськогосподарський польовий, лісогосподарський, лінійно-дорожній, водний.

**Лучно-пасовищний ландшафт** характеризується рівнинним рельєфом з частковим підвищенням. Наявність опідзолених ґрунтів переважно на лесових породах: чорноземи опідзолені. Розташований в межах Подільської височини – Вороняків і Малого Полісся, у межах Західно-Української лісостепової фізико-географічної провінції (рис. 1).

**Географічні координати:** 49°86'431 Пн, 25°30'798° Сх. Висота над рівнем моря 340 м (рис. 2).

Трапляються такі деревні породи: клен ясенелистий (*Acer negundo* L.), ясен звичайний (*Fraxinus excelsior* L.), бузина чорна (*Sambucus nigra* L.), свидина кривавочервона (*Swida sanguinea* L.).

Серед трав'янистих рослин зустрічаються такі (рис. 3): хвощ польовий (*Equisetum arvense* L.), злинка однорічна (*Erigeron annuus* L.), ягиця звичайна (*Aegopodium podagraria* L.), ожина звичайна (*Rubus caesius* L.), китник лучний (*Alopecurus pratensis* L.), полин гіркий (*Artemisia absinthium* L.), звіробій звичайний (*Hypericum perforatum* L.), живо-



Рис. 1. Лучно-пасовищний ландшафт



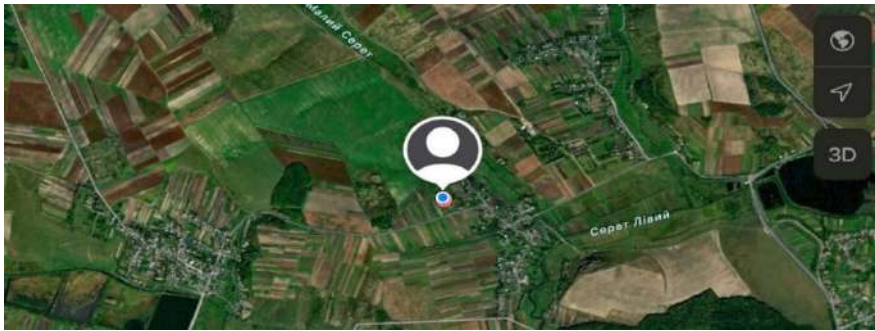


Рис. 2. Схема карти



а) півночі



б) півдні



в) заході



г) сході

Рис. 3. Межі ландшафту згідно сторін горизонту

кіст лікарський (*Symphytum officinale* L.), кропива дводомна (*Urtica dioica* L.), заяча конюшина багатоліста (*Anthyllis vulneraria* L.), конюшина лучна (*Trifolium pratense* L.), вика мишачий горошок (*Vicia cracca* L.), козельці лучні (*Tragopogon pratensis* L.), костриця лучна (*Lolium pratense* Huds.), глуха кропива біла (*Lamium album* L.), підмаренник білий (*Galium album* Mill.), а також золотарник канадський (*Solidago canadensis* L.).

Велика різноманітність комах: коник зелений (*Tettigonia viridissima* L.), очняк квітковий (*Aphantopus hyperantus* L.), муха (*Muscidae* L.), мурашки (*Formicidae* L.), бджола медоносна (*Apis mellifera* L.).

**Сільськогосподарський польовий ландшафт** характеризується горбистою рівниною з невеликими видолінками. Знаходиться в межах Подільської височини – Вороняків і Малого Полісся. Також лежить у межах Західно-Української лісостепової фізико-географічної провінції. Характерні ґрунти – чорноземи опідзолені переважно на лесових поро-

дах. На підвищеннях, які ще називають горбом можна зустріти глинисті породи (рис. 4).

**Географічні координати:** 49°51'36" Пн, 25°18'23" Сх. Висота над рівнем моря 370 м (рис. 5).

Зустрічаються різноманітні групи рослин (рис. 6): овес (*Avena* L.), пшениця (*Triticum* L.), ячмінь (*Hordeum* L.); сільськогосподарські культури: капуста (*Brassica* L.), буряк столовий (*Beta vulgaris* L.), картопля (*Solanum tuberosum* L.), морква (*Daucus* L.), соя (*Glycine max* Moench), гречка звичайна (*Fagopyrum esculentum* Moench), а також дикорослі: деревій звичайний (*Achillea millefolium* L.), мак дикий (*Papaver rhoeas* L.), звіробій звичайний (*Hypericum perforatum* L.), злинка однорічна (*Erigeron annuus* L.), конюшина лучна (*Trifolium pratense* L.), вика мишачий горошок (*Vicia cracca* L.), берізка (*Convolvulus* L.), спориш звичайний (*Polygonum aviculare* L.), бухарник шерстистий (*Holcus lanatus* L.), морква дика (*Daucus carota* L.), пижмо звичайне (*Tanacetum vulgare* L.), волошка



Рис. 4. Польовий ландшафт

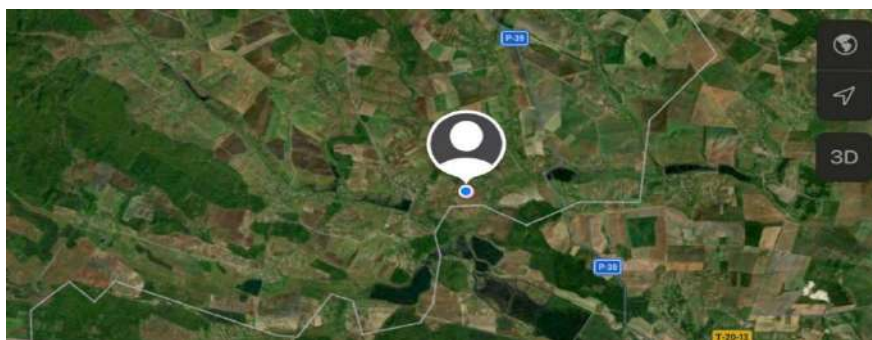


Рис. 5. Схема карти



а) на півночі



б) на півдні



в) на заході



г) на сході

Рис. 6. Межі ландшафту згідно сторін горизонту

синя (*Centaurea cyanus* (All.) Dost.), подорожник (*Plantago* L.) та бур'яни – лобода біла (*Chenopodium album* L.) тощо. Серед деревних рослин були присутні груша звичайна (*Pyrus communis* L.), черешня (*Prunus avium* L.), шипшина звичайна (*Rosa canina* L.), бузина чорна (*Sambucus nigra* L.).

Кількість тварин незначна, траплялися деякі види птахів: сорока звичайна (*Pica pica* L.), ворона (*Corvus* L.), лелека білий (*Ciconia ciconia* L.).

**Лісогосподарський ландшафт** характеризується горбистою місцевістю з наявністю на ній ярів та балок. На території можна побачити ділянки із піском. Ґрунт представлений чорноземами опідзоленими переважно на лесових породах.

Щільна деревна рослинність говорить, що цей ліс є штучно насаджений. Ще однією характеристикою є переважання одного виду дерев (рис. 7). Знаходиться в межах Подільської височини – Вороняків і Малого



Рис. 7. Лісовий ландшафт

Полісся, що лежить у межах Західно-Української лісостепової фізико-географічної провінції.

**Географічні координати:** 49°51'50" Пн, 25°17'37" Сх. Висота над рівнем моря становить 350 м (рис. 8).

Зустрічаються наступні види деревної рослинності: граб звичайний (*Carpinus betulus* L.), дуб зви-

чайний (*Quercus robur* L.), слива рослога (*Prunus cerasifera* Ehrh.), клен звичайний (*Acer platanoides* L.), свидина кривавочервона (*Swida sanguinea* L.), бузина чорна (*Sambucus nigra* L.), крушина ламка (*Frangula alnus* Mill).

Серед трав'янистої рослинності поширені такі види (рис. 9): злинка однорічна (*Erigeron annuus* L.),



Рис. 8. Схема карти



а) на півночі



б) на півдні



в) на заході



г) на сході

Рис. 9. Межі ландшафту згідно сторін горизонту

підмаренник запашний (*Galium odoratum* L.), яглиця звичайна (*Aegopodium podagraria* L.), щитник чоловічий (*Dryopteris filix-mas* (L.) Schott), вербозілля лучне (*Lysimachia nummularia* L.), копитняк європейський (*Asarum europaeum* L.).

Фауна даного ландшафту представлена наступними видами: метелики: очняк квітковий (*Aphantopus hyperantus* L.), бабки (*Odonata*); муха (*Muscidae* L.), комарі, мармеладна муха (*Episyrphus balteatus* De Geer), жук-листяна кропива (*Chrysolina fastuosa* S.), мураха лісова руда (*Formica rufa* L.).

У деяких частинах даного ландшафту можна побачити високу рясність певних лісових видів трав'яних рослин, наприклад, копитняк європейський (*Asarum europaeum* L.), який щільно вкриває яр.

**Лінійно-дорожній ландшафт** характеризується присутністю форм антропогенного рельєфу – прокладення автомобільної дороги (рис. 10). Рельєф рівнинний, але із значними підняттями. Знаходиться в межах Подільської височини – Вороняків і Малого Полісся, що лежить у межах Західно-Української лісостепової фізико-географічної провінції. Характерні ґрунти – чорноземи опідзолені переважно на лесових породах. Також наявність пластичних осадових гірських порід таких як глина.

**Географічні координати:** 49°52'11" Пн, 25°20'30" Сх. Висота над рівнем моря 330 м (рис. 11).

Трапляються наступні деревні породи (рис. 12): черешня (*Prunus avium* L.), слива розлога (*Prunus cerasifera* Ehrh.), граб звичайний (*Carpinus betulus* L.), ялина звичайна (*Picea abies* L.), калина звичайна (*Viburnum opulus* L.), береза (*Betula* L.), липа дрібнолиста (*Tilia cordata* Mill.), ясен звичайний (*Fraxinus*

*excelsior* L.), верба (*Salix* L.), вільха (*Alnus* Mill.). Серед дикорослих рослин присутні були: королиця звичайна (*Leucanthemum vulgare* Lam.), злинка однорічна (*Erigeron annuus* L.), золотарник канадський (*Solidago canadensis* L.), конюшина лучна (*Trifolium pratense* L.), дика морква (*Daucus carota* L.), дзвоники однобічні (*Campanula rapunculoides* L.), щавель кінський (*Rumex confertus* Willd.), підмаренник білий (*Galium album* Mill.), вика мишачий горошок (*Vicia cracca* L.), мишій сизий (*Setaria pumila* (Poir.) Roem. & Schult), китник лучний (*Alopecurus pratensis* L.), підмаренник справжній (*Galium verum* L.), козельці звичайні (*Tragopogon dubius* Scop.).

Зустрічаються такі види тварин: очняк квітковий (*Aphantopus hyperantus* L.), лимонниця звичайна (*Gonepteryx* L.), бджола медоносна (*Apis mellifera* L.), муха (*Muscidae* L.) та різновиди птахів.

**Опис водного ландшафту.** Так, цей тип ландшафту характеризується рівнинним рельєфом з певними підвищеннями. Дно річки вкрите мулом, крейдовими відкладами та водною рослинністю (рис. 13).

**Географічні координати:** 49°51'39" Пн, 25°19'13" Сх. Висота над рівнем моря – 320 м (рис. 14).

Неподалік від водного ландшафту знаходиться невисока гора із геологічними відкладами крейди і піску. Кам'яні залишки, які знаходяться на ній, або поблизу свідчать про давнє походження. Так, ці породи могли утворитися на дні Сарматського моря, що було на даній території близько 15 млн. років тому.

Серед деревних рослин трапляються такі види (рис. 15): верба (*Salix* L.), алича (*Prunus cerasifera* Ehrh.), свидина кривало-червона (*Swida*



Рис. 10. Лінійно-дорожній ландшафт

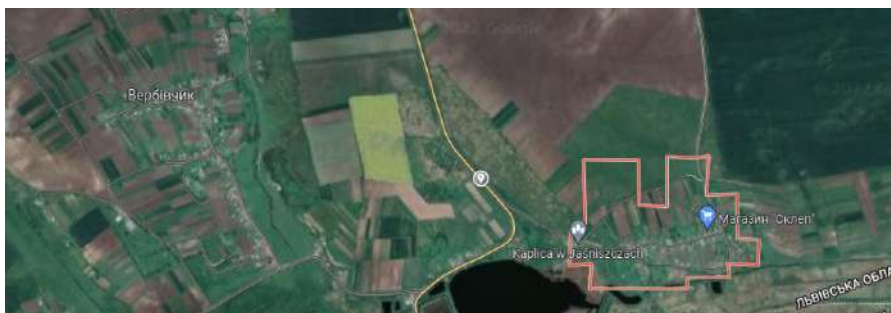


Рис. 11. Схема карти



а) на півночі



б) на півдні



в) на заході



г) на сході

Рис. 12. Межі ландшафту згідно сторін горизонту



Рис. 13. Водний ландшафт

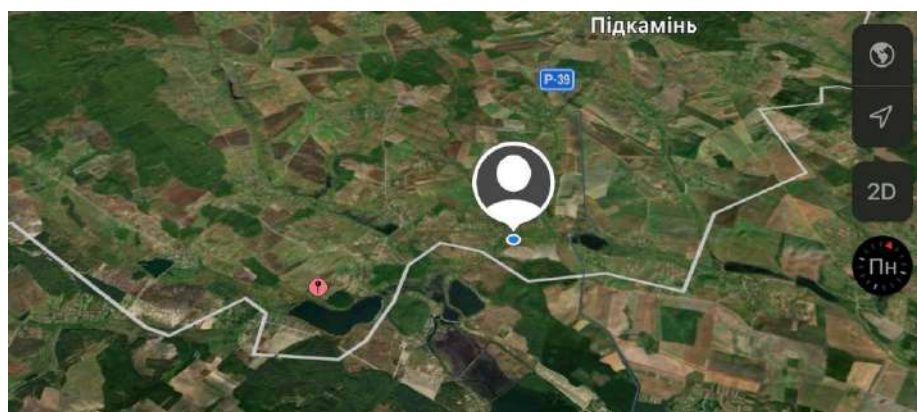


Рис. 14. Схема карти



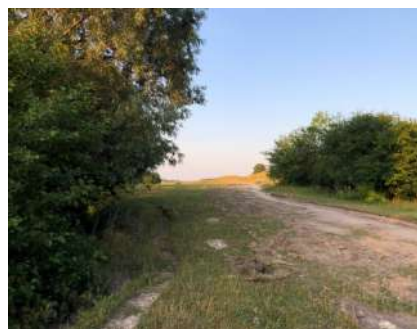
а) на півночі



б) на півдні



в) на заході



г) на сході

Рис. 15. Межі ландшафту згідно сторін горизонту

*sanguinea* L.), черешня (*Prunus avium* L.), явір (*Acer pseudoplatanus* L.) та береза (*Betula* L.).

Для трав'янистої рослинності характерні такі види: злинка однорічна (*Erigeron annuus* L.), синяк звичайний (*Echium vulgare* L.), конюшина лучна (*Trifolium pratense* L.), дзвоники однобічні (*Campanula rapunculoides* L.), золотарник канадський (*Solidago canadensis* L.), королиця звичайна (*Leucanthemum vulgare* Lam.), звіробій звичайний (*Hypericum perforatum* L.), суниці лісові (*Fragaria vesca* L.), підмаренник білий (*Galium album* Mill.), м'ята довголиста (*Mentha longifolia* L.), деревій звичайний (*Achillea millefolium* L.), очерет звичайний (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.), кмін звичайний (*Carum carvi* L.), полин звичайний (*Artemisia vulgaris* L.), лядвенець рогатий (*Lotus corniculatus* L.), мітлиця велетенська (*Agrostis gigantea* Roth), костриця, або вівсяниця лучна (*Lolium pratense* Huds.), чортополох (*Carduus* L.), черсак лісовий (*Dipsacus sylvestris* Huds.), перстач гусячий (*Argentina anserina* (L.) Rydb.), дзвінець малий (*Rhinanthus minor* L.), грястиця збірна (*Dactylis glomerata* L.), вовчуг польовий (*Ononis arvensis* L.), підбіл звичайний (*Tussilago farfara* L.).

**Головні висновки.** Під час ландшафтно-екологічної практики здобувачі вищої освіти спеціаль-

ності 101 «Екологія» поглиблюють знання та практичні навички з екології та природничих наук. Вони вивчають різноманітні типи ландшафтів, визначають їх особливості та унікальні ресурси, а також збирають та досліджують рослини для створення електронного гербарію. Для успішного проходження практики здобувачі вищої освіти мають дотримуватися робочої програми та методичних рекомендацій. Після проходження практики їм необхідно здати звіт, щоденник практики та електронний гербарій рослин, які містять детальний опис проходження практики та отримані результати. Проходження цієї практики та створення електронного гербарію сприяє збереженню біорізноманіття та природних ресурсів. Проходження ландшафтно-екологічної практики є важливою складовою навчання здобувачів вищої освіти з екології та природничих наук і підвищує їх практичні навички та знання.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Результати досліджень, проведених досліджень під час ландшафтно-екологічної практики, можуть мати значний вплив на збереження природних ресурсів та біорізноманіття. Ці результати можуть бути використані для розробки ефективних стратегій управління природними ресурсами та захисту довкілля.

#### Література

1. Барна І.М. Екологічна практика на виробництві як складова підготовки здобувачів вищої освіти спеціальності «Екологія». Міждисциплінарні інтеграційні процеси у системі географічної та екологічної науки: матеріали міжнародної науково-практичної конференції присвяченої 25-річчю відкриття спеціальності «Екологія» у Тернопільському національному педагогічному університеті ім. В. Гнатюка (7–8 травня 2019 р.). Наук. ред. Л.П. Царик, М.Я. Сивий, А.В. Кузишин, Я.О. Мариняк. Тернопіль: СМП «Тайп», 2019. С. 15–17.

2. Бондар О., Галаган О., Головатюк Л., Міжнародна конференція «вплив воєнних дій на довкілля в Україні та права людини – цивілізаційні». Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. Кременчук: КрНУ, 2022. Випуск 4 (135). С. 11–16. <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2022.4.1>
3. Гродзинський М.Д. Основи ландшафтної екології. К.: Либідь, 1993. 224 с.
4. Давиденко В. А., Білявський Г. О., Арсенюк С. Ю. Ландшафтна екологія: навчальний посібник. К.: Лібра, 2007. 280 с.
5. Максименко Н. В. Ландшафтно-екологічне планування: теорія і практика: монографія. Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2017. 216 с
6. Пікареня Д. С. Особливості проведення навчальної ландшафтно-екологічної практики в сучасних умовах. Scientific and pedagogical internship “Pedagogical culture and professionalism of teachers of biology, ecology, geography, geology, chemistry and physics” : Internship proceedings, February 15 – March 26, 2021. Lublin : Republic of Poland : “Baltija Publishing”, 2021. С. 40–44.
7. Робоча програма навчальної ландшафтно-екологічної практики для студентів, які навчаються за спеціальністю 101 Екологія / Укладачі: О. Б. Бондар, О. І. Дух. Кременець, 2021. 14 с
8. Солошич І. О., Алексеєва Т. М. Навчальна ландшафтно-екологічна практика у формуванні науково-дослідної компетентності організаторів природокористування. Педагогічний процес: теорія і практика. 2014. Вип. 1. С. 121–125.
9. Nguyen C., Latacz-Lohmann U., Hanley N., Schilizzi S., Iftekhar S., Coordination Incentives for landscape-scale environmental management: A systematic review. Land Use Policy. 114. 2022. 105936. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105936>.
10. Zasada I., Piorr A., Novo P., Villanueva A. J., Valánszki I. What do we know about decision support systems for landscape and environmental management? A review and expert survey within EU research projects. Environmental Modelling & Software. 98. 2017. P. 63–74. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.09.012>

## ШЛЯХИ МІГРАЦІЇ НАНОЧАСТИНОК НАЗЕМНИМИ І ВОДНИМИ ЕКОСИСТЕМАМИ

Войціцький В.М.<sup>1</sup>, Корнієнко В.І.<sup>1</sup>, Хижняк С.В.<sup>1</sup>, Мідик С.В.<sup>1</sup>,  
Березовський О.В.<sup>1</sup>, Таран Т.В.<sup>1</sup>, Полтавченко Т.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України  
вул. Героїв Оборони, 15, 03041, м. Київ

<sup>2</sup>Національний університет водного господарства та природокористування  
вул. Соборна, 11, 33028, м. Рівне  
khs2014@ukr.net

У статті надана загальна характеристика наночастинок, поділ на природні та штучні джерела, застосування у різних галузях промисловості, сільському господарстві, медицині. Наночастинкам притаманні комплекси фізичних, хімічних властивостей і біологічна дія, які дозволяють віднести їх до нових видів матеріалів та продукції. Значна кількість наночастинок, які забруднюють довкілля, створені штучно.

Наночастинки в залежності від кількості, розмірів, форми, складу, властивостей, механізмів дії проявляють токсичний вплив на живі організми, уражуючи практично всі органи і системи. Крім структурно-функціональних особливостей цих частинок, на міграцію наночастинок через наземні та водні екосистеми впливають комплексні абіотичні та біотичні чинники. Накопичення наночастинок організми рослин і тварин спричиняє негативний вплив на їх життєздатність, призводить до забруднення продуктів харчування для людей і кормів для сільськогосподарських тварин. З огляду на необхідність зниження навантаження наночастинками об'єктів довкілля (повітря, ґрунту, води, біоти) та їх вмісту в питній воді, харчових продуктах для людей і в кормах для свійських тварин, актуальним є прогнозування міграції цих речовин екосистемами. Основна увага приділена визначенню шляхів міграції наночастинок в наземних і прісноводних екосистемах, можливості їх потрапляння до організму людини.

На основі аналітичних досліджень запропонована схема основних шляхів міграції наночастинок наземними і прісноводними екосистемами. Для кількісного прогнозування процесів міграції цих екоотоксикантів рекомендовано метод камерних моделей. Встановлення шляхів міграції наночастинок в об'єктах довкілля (атмосферному повітрі, ґрунті та воді) лежить в основі розробки науково-обґрунтованих заходів попередження та мінімізації їх негативного впливу на довкілля і здоров'я людей. *Ключові слова:* наночастинки, екосистеми, міграція.

**Ways of migration of nanoparticles by terrestrial and aquatic ecosystems. Voitsitskiy V., Korniyenko V., Khyzhnyak S., Midyk S., Berezovskiy O., Taran T., Poltavchenko T.**

The article provides a general description of nanoparticles, their division into natural and artificial sources, and their use in various industries, agriculture, and medicine. Complexes of physical, chemical properties and biological action are characteristic of nanoparticles, which make it possible to attribute them to new types of materials and products. A significant number of nanoparticles that pollute the environment are created artificially (anthropogenically).

Depending on the number, size, shape, composition, properties, mechanisms of action, nanoparticles have a toxic effect on living organisms, affecting almost all organs and systems. In addition to the structural and functional features of these particles, complex abiotic and biotic factors affect the migration of nanoparticles through terrestrial and aquatic ecosystems. The accumulation of nanoparticles in the organisms of plants and animals negatively affects their viability, leads to the contamination of food products for humans and fodder for farm animals. Given the need to reduce the nanoparticle burden of environmental objects (air, soil, water, biota) and their content in drinking water, food products for humans, and feed for domestic animals, forecasting the migration of these substances through terrestrial ecosystems is relevant. The main attention is paid to determining the migration paths of nanoparticles in terrestrial and freshwater ecosystems, the possibility of their entry into the human body.

On the basis of analytical studies, a scheme of the main pathways of nanoparticle migration through terrestrial and freshwater ecosystems is proposed. For quantitative forecasting of migration processes of these ecotoxicants, the method of chamber models is recommended. Establishing the migration paths of nanoparticles in environmental objects (atmospheric air, soil, and water) is the basis for the development of science-based measures to prevent and minimize their negative impact on the environment and human health. *Key words:* nanoparticles, ecosystems, migration.

**Постановка проблеми.** Наночастинки широко використовуються у найрізноманітніших галузях [1–4]. У хімічній промисловості, сільському господарстві (як каталізатори для ремедіації забрудненого довкілля); у харчовій промисловості для забезпечення кращих властивостей харчових продуктів; у косметичних засобах; як сенсори для виявлення токсикантів і патогенів в об'єктах довкілля,

харчових продуктах і питній воді. Без них уже неможливо уявити сучасну медицину та ветеринарію (лікарські та діагностичні засоби, зв'язування і виведення з організму різноманітних токсичних речовин тощо) [5].

У дослідженнях з використанням експериментальних тварин та культур тканин, а також за клінічними спостереженнями пацієнтів, які зазнали



впливу наночастинок (наприклад, при їх наявності у повітрі робочих приміщень), встановлено, що як і інші токсиканти, вони проявляють токсичну дію в залежності від дози, хімічної будови, механізму біологічної дії, шляху потрапляння до організму, терміну дії, біологічної особливості організмів тощо [1, 4]. Наночастинки здатні уражати всі органи та їх системи, впливати на метаболізм клітин, викликати оксидативний стрес, спричинювати запалення, викликати ушкодження ДНК, генні та хромосомні мутації, проявляти канцерогенну, тератогенну, ембріотоксичну дію та призводити до інших патологій [6–8].

Відносно висока токсичність наночастинок обумовлена:

1) великою концентрацією у довкіллі при відносно незначній кількості речовини, наприклад, при розпилюванні у повітрі наночастинок розміром 20 нм і концентрації речовини 100 мкг/м<sup>3</sup> у повітрі міститься більше ніж 10<sup>-6</sup> частинок/см<sup>3</sup>;

2) здатністю до трансдермального, транснейронального та ентерального проникнення у будь-які тканини і органи людини;

3) високою лабільністю та біодоступністю: наночастинок розміром менше 40 нм здатні проникати в ядро клітини, до 70 нм – проникати через капіляри кровоносної системи.

Поряд з дослідженнями токсичної дії наночастинок існує необхідність визначення основних шляхів міграції наночастинок у довкіллі з метою захисту біоти та здоров'я людей.

**Актуальність дослідження.** Остаточо не сформовані уявлення щодо шляхів міграції наночастинок у довкіллі через особливості їх розмірів і властивостей, зокрема, що пов'язані з мобільністю, біотрансформації, здатністю до адсорбції об'єктами довкілля тощо. Дослідження шляхів міграції лежить в основі розробки методів та засобів зменшення чи запобігання потрапляння наночастинок у довкілля.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Забруднення наночастинок об'єктів довкілля (повітря, ґрунту, води, біоти), харчових продуктів для людей і кормів для тварин спричинює загрозу всій біоті, у тому числі здоров'ю людей. Для зменшення або навіть попередження такого забруднення необхідно визначити шляхи міграції наночастинок у довкіллі, що й висвітлено в даній статті на основі аналізу наукової літератури та особистих доробок.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Публікації стосовно нанотехнологій і наноматеріалів наночастинок стосуються, в основному, їх використанню в різних галузях промисловості та сільському господарстві [2, 3, 9], у медичній практиці для профілактики, діагностики та лікування різних захворювань [5, 10]. Питанню токсичності наночастинок присвячена велика кількість наукових публікацій [5–8, 11].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Наночастинок широко використовуються у найрізноманітніших галузях промисловості, сільському господарстві, медицині [9]. При цьому, відсутня однозначна відповідь з приводу небезпеки наночастинок, оскільки немає повного розуміння як їх фізико-хімічних властивостей, так і механізмів надходження до об'єктів довкілля, процесів біотрансформації та транслокації в органах і тканинах. Практично відсутні відомості стосовно шляхів міграції наночастинок в ланцюгах та ланках екосистем, накопичення у питній воді, продуктах харчування та кормах.

**Новизна.** З метою прогнозування шляхів міграції наночастинок, на основі узагальненого аналізу даних наукової літератури, створена схема щодо основних шляхів міграції наночастинок у довкіллі (наземними і водними екосистемами) та запропоновано математичний спосіб опису міграційних процесів цих речовин в екосистемах.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Широке застосування наночастинок у різних сферах діяльності людини зумовлює потребу вивчення їх токсичності, а також міграції у довкіллі та шляхів потрапляння до біоти, в тому числі до організму людини. Таким чином, питання дослідження міграції наночастинок, зокрема, наземними і водними екосистемами є актуальним і має загальнонаукове значення.

**Викладення основного матеріалу.** Наночастинок за походженням поділяють на природні та штучні. Природними джерелами наночастинок є лісові пожежі (утворення порошкоподібного залишку від неповного згоряння та термічного розкладання вуглеводнів в неконтрольованих умовах з утворенням частинок різного розміру), виверження вулканів (утворення у викинутих газах наночастинок); вітрове та водне диспергування, наприклад, рідин, які не змішуються, зокрема, води і розливи нафти з утворенням наноемульсій і наноплівки тощо.

Існують також біогенні (пов'язані з живими організмами) джерела наночастинок. Це, зокрема, вірус-опосередкований синтез наночастинок: вірусом тютюнової мозаїки; синтез деякими водоростями і бактеріями металомісних наночастинок тощо [12].

Штучно створені наночастинок використовуються у нанотехнологіях для покращення властивостей матеріалів та продукції, що, у свою чергу, призводить до штучного (антропогенного) забруднення довкілля. Це, насамперед, недоочищені викиди і скиди підприємств з виробництва наноматеріалів, особливо за аварійних ситуацій; внаслідок недосконалості технологій знешкодження, захоронення та утилізації побутового і промислового сміття; транспортні викиди тощо. Надзвичайну небезпеку становлять військові дії з використанням сучасних вибу-

хових матеріалів, що спричиняють пожежі тощо. Наночастинки, які утворюються поряд з іншими токсичними речовинами, за рахунок синергічної взаємодії посилюють токсичні властивості цих речовин.

Наночастинки виступають як екотоксиканти, що забруднюють довкілля і шкідливо впливають на його об'єкти – повітря, ґрунт, воду, в тому числі живі організми, що мешкають у цих об'єктах довкілля. Форма, розміри, фізико-хімічні властивості, а також стан об'єктів довкілля та вплив абіотичних чинників (температура, вологість повітря і ґрунту, сила вітру та ін.) визначають міграційні процеси наночастинок. Однак, залишається відкритим питання щодо модифікації наноматеріалів у довкіллі, у тому числі біомодифікації (тобто зміні їх властивостей під впливом живих організмів) і відповідно вплив модифікованих наночастинок на біоту. Також дуже мало відомостей щодо міграції наночастинок у довкіллі.

Наночастинки, що потрапили в атмосферу з джерел утворення переміщуються з потоками повітря. Під час руху повітряних мас ці екотоксиканти залежно від умов погоди, висоти викиду, турбулентного переміщення потоків, гравітації тощо поступово розсіюються і випадають з атмосфери на поверхню землі та концентруються в об'єктах довкілля. Особливістю вітрового переносу наночастинок є те, що вони здатні переноситися на великі відстані внаслідок дуже малої маси.

Міграційна здатність наночастинок у ґрунті та їх включення у трофічні ланцюги визначаються як властивостями самих цих екотоксикантів, так і ґрунту та різними чинниками довкілля. Основне – здатність до утворення агрегатів, що приводить до зменшення рухливості у ґрунті, або ж, навпаки, посилення біологічної доступності для рослин завдяки кращій розчинності у ґрунтовому розчині.

Екотоксиканти надходять до рослин двома основними шляхами: через наземні органи (позакореневе надходження) і через кореневу систему з ґрунту (кореневе надходження). Наночастинки через їх здатність до абсорбції мають відносно велику спроможність закріплюватися на надземних органах рослин і не здуватися вітром або змиватися дощем.

Наночастинки можуть включатися у транспортні системи рослин, мігрувати і накопичуватися. Кореневе надходження наночастинок до рослин визначається, насамперед, міцністю їх зв'язку з частинками ґрунту, а також здатністю поглинатися корінням рослин. Спроможність коренів рослин поглинати речовини залежить як від властивостей самих речовин, так і специфіки рослин, розвитку їх кореневої системи, фізіологічного стану рослин, фізико-хімічних властивостей ґрунту, наявності в ньому речовин і організмів, які здатні впливати на сорбційну здатність коренів.

Для водних екосистем особливо важливим є визначення шляхів міграції наночастинок у прісноводних екосистемах, які є джерелами питної і полив-

ної води. У той же час у морських екосистемах речовини, що потрапили до них, піддаються розведенню значними об'ємами морської води, що суттєво зменшує кількість їх потрапляння в організми морської біоти. У непроточних водоймах донні відкладення наночастинок концентруються у верхньому шарі цих відкладень.

З харчовими продуктами рослинного і тваринного походження, питною водою, а також з вдихуваним повітрям та контактним шляхом (через шкіру та слизові оболонки рота, носа, очей) наночастинки потрапляють до організму людини.

Узагальнена схема міграції наночастинок у довкіллі наведена на рис. 1.

Для кількісного прогнозування процесу міграції екотоксикантів в екосистемах з врахуванням його складності застосовуються математичні моделі. Зокрема, камерні моделі були запропоновані для оцінки міграції в об'єктах довкілля радіоізотопів [13], важких металів [14] та екотоксикантів у агроекосистемах [15].

Цей метод [13] використовується для опису міграції речовин по ланцюгах екосистеми, які поділяють на камери, а перехід між камерами обумовлюється коефіцієнтами переходу.

$$K_{п} = C_1/C_2,$$

де  $K_{п}$  – коефіцієнт переходу;  $C_1$  – питомий вміст (концентрація) речовини в попередній камері (для першої – в об'єкті довкілля);  $C_2$  – питомий вміст (концентрація) речовини в наступній камері.

У методі динамічних камерних моделей (камери взаємодіють між собою і обмінюються речовиною) вважається, що перенесення речовин з однієї камери до іншої відбувається за законами кінетики першого порядку і описується системою диференціальних рівнянь.

Так, при потраплянні наночастинок з об'єкту довкілля (атмосфери, ґрунту, води) на початку його міграції у першу камеру диференціальне рівняння має вигляд:

$$\frac{dC_0}{dt} = K_{п0-1} \cdot C_0,$$

де  $C_0$  – концентрація речовини у джерелі (об'єкті довкілля) на початку його міграції;  $K_{п0-1}$  – коефіцієнт переходу від джерела до камери 1.

Для камерної моделі з трьох камер, що характеризує трофічний ланцюг ґрунт – рослина – тварина, диференціальні рівняння наступні:

$$\frac{dC_1}{dt} = K_{п2-3} \cdot C_2 - K_{п1-2} \cdot C_1;$$

$$\frac{dC_2}{dt} = K_{п2-1} \cdot C_1 - K_{п2-3} \cdot C_2 + K_{п3-2} \cdot C_3;$$

$$\frac{dC_3}{dt} = K_{п2-3} \cdot C_2 - K_{п3-2} \cdot C_3;$$

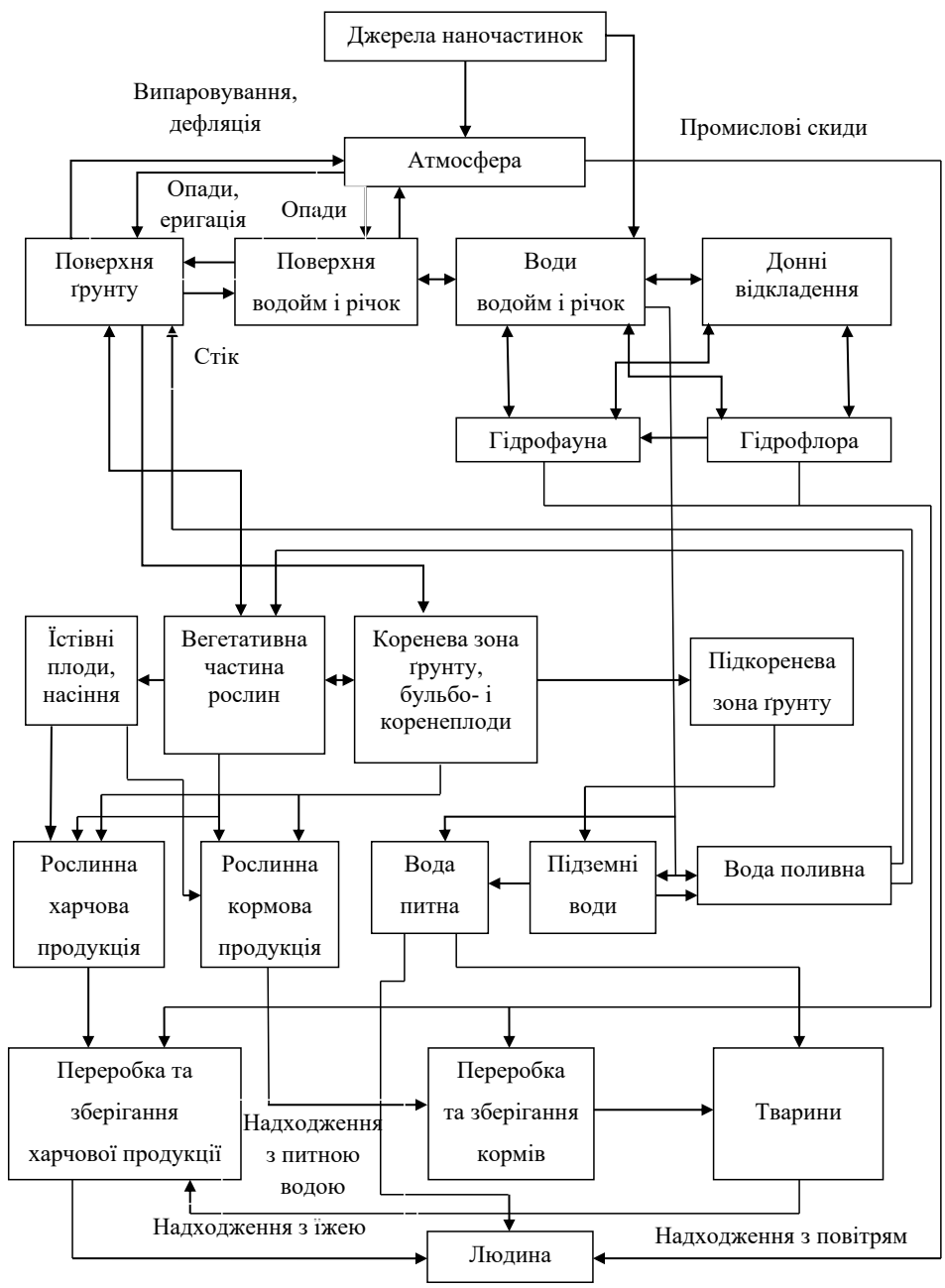


Рис. 1. Основні шляхи міграції наночастинок наземними і прісноводними екосистемами

де  $d(dC_0, dC_1, dC_2, dC_3)$  – символ диференціювання;  $t$  – час; 1,2,3 – номер модельної камери;  $C_1, C_2, C_3$  – концентрація наночастинок у відповідних камерах;  $K_{П1-2}$  і  $K_{П3-2}$  – прямі коефіцієнти переходу наночастинок між камерами;  $K_{П2-1}$  і  $K_{П3-2}$  – зворотні коефіцієнти переходу наночастинок між камерами.

Тобто, за відомих значень коефіцієнтів переходу ( $K_n$ ) і концентрації досліджуваної речовини в попередній камері при рішенні системи простих диференціальних рівнянь розраховується можлива концентрація цієї речовини у наступних камерах.

Таким чином, метод камерних моделей є простим і адекватним математичним способом опису мігра-

ційних процесів речовин в екосистемах різної складності. Він може бути використаний, в тому числі, і для оцінки міграції наночастинок у екосистемах.

**Головні висновки та перспективи використання результатів дослідження.** Встановлення шляхів міграції екотоксикантів в об'єктах довкілля (атмосферному повітрі, ґрунті та воді) лежить в основі розробки науково-обґрунтованих заходів попередження та мінімізації їх негативного впливу на довкілля і здоров'я людей. Це в повній мірі відноситься і до наночастинок для яких залишається ще певна невизначеність враховуючи їх форму, розміри (до 100 нм), фізико-хімічні властивості, мобільність,

модифікацію у довкіллі. Відмічені особливості міграції наночастинок трофічними ланцюгами та їх ланками будуть уточнюватися на основі подальших досліджень, що дозволить у певній мірі керувати заходами зменшення негативного впливу цих речовин на об'єкти наземної та водної екосистем.

### Література

1. Леоненко Н.С., Демецька О.В., Леоненко О.Б. Особливості фізико-хімічних властивостей та токсичної дії наноматеріалів – до проблем оцінки їхнього впливу на живі організми (огляд літератури). *Сучасні проблеми токсикології, харчової та хімічної безпеки*. 2016. № 1. С. 64–76.
2. Чекман І.С. Наночастинок: властивості та перспективи застосування. *Український біохімічний журнал*. 2009. Т. 89. № 1. С. 122–129.
3. Нанотехнології в сучасному сільському господарстві / О.В. Ситар, Н.В. Новицька, Н.Ю. Таран та ін. *Фізика живого*. 2010. № 8. С. 113–116.
4. Трахтенберг І.М., Дмитруха Н.М. Наночастинок металів, методи отримання, сфери застосування, фізико-хімічні та токсикологічні властивості. *Український журнал з проблем медицини праці*. 2013. № 3. С. 5–14.
5. Розенфельд Л.Г., Москаленко В.Ф., Чекалін І.С. Нанотехнології, наномедицина: перспективи наукових досліджень та впровадження їх результатів в медичну практику. *Український медичний часопис*. 2008. Т. 67. № 5. С. 63–68.
6. Ferrari M. Cancer nanotechnology: opportunities and challenges. *Nat. Rev. Cancer*. 2005. Vol. 5 (3). P. 161–171.
7. Бандас І.А., Криницька І.Я., Куліцька М.І., Корда М.М. Наночастинок: важливість сьогодні, класифікація, використання в медицині, токсичність *Медична та клінічна хімія*. 2015. Т. 17. № 3. С. 123–129.
8. Jiang J., Oberdrster G., Elder A. Does nanoparticle activity depend upon size and crystal phase? *Nanotoxicology*. 2008. Vol. 2(1). P. 33–42.
9. Волков С.В., Ковальчук Є.П., Огієнко В.М. Нанохімія наносистеми наноматеріали. К.: Думка, 2008. 422 с.
10. Розенфельд Л.Г., Чекман І.С., Тертишна А.І. Нанотехнології в медицині, фармації та фармакології. *Фармакологія та лікарська токсикологія*. 2008. № 1–3. С. 3–7.
11. Чекман І.С., Говоруха М.О., Дорошенко А.М. Наногенотоксикологія: вплив наночастинок на клітину. *Український медичний часопис*. 2011. № 1 (81). С. 30–35.
12. Цехмістренко С.І., Бітюцький В.С., Цехмістренко О.С. Екологічні біотехнології «зеленого» синтезу наночастинок металів, оксидів металів, металоїдів та їх використання: наукова монографія / за ред. С.І. Цехмістренка. Біла Церква: СПДФО Пшонківський О.В., 2022. 270 с.
13. Кутлахмедов Ю.О., Матвеева І.В., Петрусенко В.П., Родіна В.В. Радіоекологія. Камерні моделі. К.: Книжкове видавництво НАУ, 2013. 84 с.
14. Войціцький В.М., Хижняк С.В., Данчук В.В., Мідик С.В., Кеппл О.Ю., Ушкалов В.О. Надходження і міграція важких металів наземними і водними екосистемами. *Біоресурси і природокористування*. 2019. Т. 11, № 1–2. С. 23–31. <http://dx.doi.org/10.31548/bio2019.01.007>
15. Войціцький В.М., Хижняк С.В., Данчук В.В., Мідик С.В., Ушкалов В.О. Моделювання міграції екотоксикантів у компонентах агроекосистем. *Агроекологічний журнал*. 2019. № 1. С. 36–41. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2019.163246>

## ЕКОЛОГО-ГЕОХІМІЧНІ НЕБЕЗПЕКИ БЕЛІГЕРАТИВНИХ АГРОЛАНДШАФТІВ

Єгорова Т.М.

Інститут садівництва Національної академії аграрних наук України  
вул. Садова, 23, 03027, м. Київ  
egorova\_geochem@ukr.net

Внаслідок російсько-української війни 2014–2023 рр. близько 30% наших земель забруднено небезпечними речовинами та їх джерелами. Белігеративні агроландшафти визначають найбільшу екологічну небезпеку для сільськогосподарського виробництва сучасної України. Метою досліджень є белігеративне зонування агроландшафтів України на еколого-геохімічних та ландшафтних засадах із визначенням інформативних напрямків їх подальшого функціонального використання. Факторами просторового виокремлення та оцінювання зон агроландшафтів обрано територіальну активність військових дій, регіональну ландшафтно-геохімічну будову та особливості процесів геохімічної міграції, довоєнний стан розораності і рівні забруднення ґрунтів важкими металами.

На території України нами виділено чотири белігеративні зони агроландшафтів. Їх означено за такими рівнями впливу військових дій 2014–2023 рр. на агроландшафти: критичного неконтрольованого, високо небезпечного, середньо небезпечного, незначного і відсутнього. Для території кожної белігеративної зони описано регіональні геохімічні ландшафти, особливості геохімічної міграції забрудників, розораність ґрунтів, узагальнено поширення 9 токсичних елементів (Pb, Cu, Zn, As, Cd, Cr, Fe, Hg, Ni) у ґрунтах агроландшафтів орних земель станом на 2014р. Встановлено, що до початку військових дій у ґрунтах донецьких геохімічних ландшафтів (зона критичного неконтрольованого рівня впливу) вміст Pb, Zn, Cd, Cr перевищував існуючі ГДК до 4-х разів. При локальних дослідженнях вибухових вивр на початку війни у донецьких ландшафтах фіксувалося забруднення ґрунтів Pb, Zn, Cd, Cr (до 12 разів) у комплексі з Cu, Mn, Fe та інш. Відповідно до еколого-геохімічних і агроландшафтних особливостей чотирьох белігеративних зон запропоновано основні напрямки їх подальшого господарського функціонування. Ці напрямки окреслено наступним: консервування земель, регіональні белігеративно-агрохімічні дослідження, локальні белігеративно-рекреаційні дослідження і зелене зростання. *Ключові слова:* Україна, агроландшафти, військові дії, регіональні геохімічні ландшафти, белігеративні зони.

### Ecology-geochemical hazards of the belligerent agrolandscapes. Yehorova T.

About 30% of our lands are contaminated with dangerous substances and their sources as a result of the Russian-Ukrainian war of 2014–2023. Belligerent agrolandscapes determine the greatest ecological danger for agricultural production in modern Ukraine. The purpose of the research is the belligerent zoning of agricultural landscapes of Ukraine on ecological-geochemical and landscape grounds with the determination of informative directions for their further functional use. Territorial activity of military operations, regional landscape-geochemical structure and features of geochemical migration processes, pre-war state of plowing and levels of soil contamination with heavy metals were chosen as factors for spatial separation and evaluation of agrolandscape zones.

On the territory of Ukraine, we have allocated four belligerent zones of agrolandscapes. They are defined according to the following levels of influence of military operations in 2014–2023 on agricultural landscapes: critical uncontrolled, highly dangerous, medium dangerous, insignificant and absent. For the territory of each belligerent zone, regional geochemical landscapes, peculiarities of geochemical migration of pollutants, plowed soils are described, distribution of 9 toxic elements (Pb, Cu, Zn, As, Cd, Cr, Fe, Hg, Ni) in the soils of arable land as of 2014 is summarized. It was established that before the start of hostilities, the content of Pb, Zn, Cd, and Cr in the soils of the donetsk geochemical landscapes of the zone of critical uncontrolled exposure level exceeded the existing MPC up to 4 times. The soil of the donetsk landscapes was contamination with Pb, Zn, Cd, Cr (up to 12 times) in a complex with Cu, Mn, Fe during local investigations of explosive craters at the beginning of the war. In accordance with the ecological-geochemical and agro-landscape features of the four belligerent zones, the main directions of their further economic functioning are proposed. These directions are outlined as follows: land conservation, regional belligerent and agrochemical research, local belligerent and recreational research and green growth. *Key words:* Ukraine, agricultural landscapes, military operations, regional geochemical landscapes, belligerent zones.

**Постановка проблеми.** Екологічні катастрофи та небезпеки довкілля потужено входять у сучасні природничі дослідження України. Такі небезпеки все частіше визначають поняттям «белігеративні», а їх поширення окреслюють територіями белігеративних ландшафтів [1]. Практичні дослідження цих територій є критично небезпечним і за правилом обмежуються загальнотеоретичними оцінками. Еколого-геохімічні наслідки військових дій є найменш дослідженими і потребують ретроспективного аналізу.

**Актуальність дослідження.** На міжнародному рівні Україна довгі роки залишається гарантом продовольчої безпеки багатьох країнах світу. Завдяки продовольчому експорту у 2021 р. наша держава забезпечувала харчовими продуктами майже 400 млн. осіб [2]. За орієнтовними розрахунками Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС), на жовтень 2022 р. майже 170 тис. кв. км (28,7%) наших земель забруднено небезпечними речовинами, вибухонебезпечними предметами та

мінами, засмічена залишками знищених об'єктів і боєприпасів. Зазначимо, що шкода для довкілля під час знешкодження нерозірваних боєприпасів ніяк не менша ніж під час реальних бойових дій. Це території, що окуповані росіянами, а також ділянки, де перебували ворожі війська і тривають бойові дії [2]. Це частини територій 7 адміністративних областей України – Донецької, Луганської, Запорізької, Херсонської, Київської, Чернігівської та Сумської. Переважна частина цих територій зайнята сільськогосподарськими угіддями. Аграрне виробництво потребує нових науково-методичних підходів у дослідженні земель сільськогосподарського призначення із урахуванням екологічних наслідків російсько-української війни.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Саме тому першочергової уваги серед аграріїв, екологів і суспільства загалом набули сьогодні бєлігеративні агроландшафти, поширення яких пов'язано із землями сільськогосподарського використання [3]. Їх розглядають як джерело харчового споживання багатьох країн Світу і водночас найбільшу екологічну небезпеку для сільськогосподарського виробництва сучасної України. Таку небезпеку найчастіше окреслюють як продовольчу і харчову, наводячи відповідні економічні розрахунки [2, 4].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Термін «бєлігеративні ландшафти» запроваджено у географічні науки Ф.М. Мільковим у 1974 році, який називав їх «ландшафтами без майбутнього» [5]. Їх найменування походить від латинського *beligero*, тобто «вести війну». Підкреслимо, що основні положення вчення В.І. Вернадського про ноосферу ґрунтувалися на змінах біосфери, що були заподіяні довкіллю у період Другої світової війни [6]. Це поняття розширено у роботах В.А. Михайлова, О.П. Семеряги, Г.І. Денисика та інш. [7]. Бєлігеративні комплекси ландшафтів утворюються в результаті безпосереднього впливу військового чинника. До них належать бєлігеративні воронки, дорожньо-бєлігеративні комплекси, військово-технічні споруди, оборонні вали, бєлігеративні бедленди, зруйновані меліоративні системи, зруйновані селітебні комплекси. Розрізняють опосередковані бєлігеративні комплекси, які знаходяться в межах зон впливу військових чинників [7, 8]. За орієнтовними підрахунками, нерозірвані боєприпаси та міни знаходять на площі майже половини території України [3]. Основним змістом географічних розвідок військових територій залишаються антропогенні зміни рельєфу поверхні, за правилом локального рівня, а саме, довгострокові укріплення, фортифікаційні споруди, кургани-поховання [1, 5].

Перелік екологічних небезпек на цих територіях фактично не викликає дискусій. Процеси їх забруднення розглядаються апріорі, як аксіома і не мають за собою альтернатив. Про це свідчить і міжнародний

досвід. На території колишньої Югославії після воєнного конфлікту 1999 року через забруднення земель було вилучено із сільськогосподарської діяльності близько 10% площі [8]. Оскаржувати таку точку зору не є можливим враховуючи як її логічність, так і відсутність можливості для проведення відповідних широких еколого-геохімічних досліджень. За оцінками С. Балюка та А. Кучера 2022 р., найвищі рівні забруднення ґрунту фіксується за вмістом кадмію і свинцю і просторово пов'язані з місцями вибуху авіаційних та артилерійських боєприпасів [2]. Оцінки хімічного забруднення у зонах військових дій на Сході України винайдено нами у публікаціях О.Д. Крушельницького, І.В. Огороднійчука, О.М. Іванько, А.Б. Тарнавського, У.В. Хром'яка, В.А. Зуєнко, К.С. Лактионова 2015–2016 рр. [8, 10, 11].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Метою досліджень є бєлігеративне зонування агроландшафтів України на еколого-геохімічних та ландшафтних засадах із визначенням інформативних напрямків їх подальшого функціонального використання.

**Новизна.** Застосування у наших дослідженнях ретроспективного еколого-геохімічного аналізу на агроландшафтних засадах відкриває інформативні перспективи екологічно зважених підходів до післявоєнного використання земель сільськогосподарського призначення в нашій державі.

**Методологічне значення.** У дослідженнях використані офіційні карто-схеми військових дій 2014–2023 рр., авторські матеріали регіонального ландшафтно-геохімічного районування території України та матеріали міжнародних геохімічних досліджень земель сільськогосподарського призначення України (GEMAS) на період 2013 року.

**Викладення основного матеріалу.** Враховуючи чимале розмаїття локальних класифікацій бєлігеративних ландшафтів, представлені дослідження обмежено регіональними еколого-геохімічними оцінками сучасних військових сільськогосподарських ландшафтів України. Агроландшафти України систематизовано за рівнем регіонального впливу на їх функціонування воєнних дій 2014–2023 років. Еколого-геохімічний аналіз бєлігеративних агроландшафтів базується на розробленому і уточненому автором регіональному ландшафтно-геохімічному районуванні України (рис. 1).

Військові дії 2014–2023 рр. у різні періоди охопили практично повністю території 10 геохімічних ландшафтів: моршанських, чернігівських, айдарських, донецьких, арчединських, приазовських, сімферопольських, тарханкутських, кримські і керченських. У зони бойових дій потрапило до 30% площ верхньодонських, південнобузьких і причорноморських ландшафтів. Це території зазнають багатofакторний вплив системних обстрілів, замінувань, нєврегульованого накопиченням військових відходів



небезпечним, а землі мають бути законсервовані з подальшою зміною їх функціонального статусу. Низький рівень розораності земель та дуже великий рівень втрат орного шару на площі донецьких геохімічних ландшафтів є додатковим чинником зміни господарського використання цих територій.

**Белігеративна зона високо небезпечного рівня впливу на агроландшафти** включає тимчасово окуповані РФ у 2022–2023 рр. частини територій Донецької, Луганської, Запорізької, Херсонської областей. Ця зона поширена у межах 4 геохімічних ландшафтах. Вона займає ландшафти приазовські та східну частину ландшафтів причорноморських природно-сільськогосподарської зони Сухого степу та східні частини ландшафтів південнобузьких і айдарських природно-сільськогосподарської зони Степу. Головні типоморфні макроелементи геохімічної міграції ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{+}$ ) обумовлюють тут процеси природної і техногенної концентрації у ґрунтах більшості забрудників.

На період 2010 р. переважаючий рівень розораності ґрунтів був тут одним з найвищих і становив 70–80% при незначних площах їх забруднення важкими металами (до 20%) та малому забрудненні залишками пестицидів [14]. Щорічні втрати орного шару за інтенсивністю водної ерозії становили переважно незначні рівні (до 10 т/га) [14]. За результатами міжнародних геохімічних досліджень орних земель України на період 2013 року у цій зоні зафіксовано відносно високі значення вмісту у орних ґрунтах Pb (16–22 мг/кг), Cu (22–30), Zn (60–75), As (6–11), Cd (0,2–0,22), Cr (100–114), Fe (30000–38000), Hg (0,03–0,04), Ni (36–46) та інш. [15].

Враховуючи такий еколого-геохімічний стан земель сільськогосподарського призначення у довоєнний період, вирощування тут сільськогосподарської продукції після Перемоги вимагає регіональних досліджень, які доцільно окреслити як белігеративно-агрогеохімічні з обов'язковим комплексним розмінуванням цих територій та попереднім їх консервуванням. Тут українська земля нашіпигована ворожими мінами, які росіяни залишають після себе, відходячи зі своїх позицій. Чималі ділянки «токсичного сміття», на яке перетворили техніку ворога наші ЗСУ [3], сформували тут значні площі техногенно-белігеративних агроландшафтів. Високий рівень розораності земель при відносно низьких рівнях втрат орного шару є додатковим чинником збереження сільськогосподарського використання цих територій у подальшому із врахуванням результатів регіональних досліджень.

**Белігеративна зона середнього рівня небезпечного впливу на агроландшафти** включає звільнені у 2022–2023 рр. після тимчасової окупації РФ частини територій Київської, Чернігівської, Сумської, Харківської, Миколаївської і Херсонської областей. Ця зона поширена у межах 5 геохімічних ландшафтів. Займає вона ландшафти моршанські

і чернігівські на сході природно-сільськогосподарської зони Українського Полісся, східні частини ландшафтів верхньодонських – у Лісостепу, центральні частини південнобузьких і причорноморських ландшафтів Степу і Степу Посушливого. Головні типоморфні макроелементи геохімічної міграції ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{H}^{+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{+}$ ) обумовлюють тут строкатість процесів природної і техногенної концентрації у ґрунтах більшості забрудників.

На період 2010 р. переважаючий рівень розораності ґрунтів тут коливався від 20–40% в моршанських ландшафтах до 70–90% у причорноморських при локальних ділянках забруднення ґрунтів важкими металами та слабкому і малому забрудненні залишками пестицидів [14]. Щорічні втрати орного шару за інтенсивністю водної ерозії були найнижчими на Поліссі і Степу Посушливому (до 3 т/га) і найвищими у Лісостепу (понад 20 т/га) [14]. За результатами міжнародних геохімічних досліджень орних земель України (GEMAS) на період 2013 року у цій зоні було зафіксовано фонові для природно-сільськогосподарських зон рівні вмісту у орних ґрунтах більшості хімічних елементів. У ґрунтах полісся і лісостепу та степу їх рівні становили відповідно: Pb (7–14 та 18–23 мг/кг), Cu (2,5–10 та 10–30), Zn (15–33 та 40–75), As (1–4 та 5–12), Cd (0,04–0,1 та 0,11–0,24), Cr (34–55 та 70–95), Fe (4000–15000 та 23000–33000), Hg (0,02–0,05 та 0,03–0,04), Ni (3–14 та 20–42) та інш. [15]. Ці рівні не перевищують затверджені в Україні гранично-допустимі концентрації «важких металів» і нижчі за них від 1,1 до 3-х разів по Cr до 53–105 разів по Hg.

Враховуючи еколого-геохімічний стан цих земель у довоєнний період, вирощування тут сільськогосподарської продукції після Перемоги потребує комплексної рекультиваци і ретельного розмінування, які доцільно окреслити як локальні белігеративно-рекреаційні дослідження. Високий рівень розораності земель та існуюча у довоєнний час інфраструктура гідромеліорації є додатковими чинником активного відновлення сільськогосподарського використання цих територій, що і спостерігається нині на цих землях.

**Белігеративна зона незначного і відсутнього впливу на агроландшафти** включає територію України, яка зазнає короточасних бомбувань і повітряних атак після повномасштабного вторгнення РФ 2022–2023 рр. Сюди входять повністю або частково всі адміністративні області Держави. Ця зона поширена у межах 2-х гірських областей Карпат і 19 рівнинних геохімічних ландшафтів природно-сільськогосподарських зон Українського Полісся, Лісостепу, Степу, Степу Посушливого і Сухостепової. Головні типоморфні макроелементи геохімічної міграції ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{H}^{+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{+}$ ) обумовлюють тут строкатість процесів природної і техногенної концентрації у ґрунтах більшості забрудників.

Еколого-геохімічний стан цих територій не зазнав суттєвого впливу від військових дій. Водночас, поде-



куди вирви від вибухів сягають до 6 метрів завглибшки та десятків метрів діаметра; при збереженні, ці провалля стануть осередками нашої пам'яті про «братів» [3]. Головним тут є розмінування територій. Адже деякі снаряди не розриваються і залишаються лежати на землі.

Тут, в цілому, збережено довоєнні особливості інфраструктури сільськогосподарського виробництва, рівні розораності земель і їх забруднення, а також системи сільськогосподарського виробництва [16–18]. Водночас, не припиняє роботу державна система обстеження і розмінування цих земель. Враховуючи євроінтеграційні перспективи України, розвиток цих територій може стати основою у напрямку зеленого зростання нашої держави.

**Висновки та перспективи використання результатів дослідження.** Еколого-геохімічні наслідки військових дій є найменш дослідженими,

як для ґрунтів, так і сільськогосподарської продукції. Белігеративне зонування агроландшафтів України висвітлює територіальні реалії 9-ти річної російсько-української війни та багаторічних агрохімічних і еколого-геохімічних дослідженнях орних земель держави. Відповідно до еколого-геохімічних і агроландшафтних особливостей чотирьох белігеративних зон визначено основний зміст їх подальшого господарського функціонування, а саме: консервація земель, регіональні белігеративно-агрохімічні дослідження, локальні белігеративно-рекреаційні дослідження і зелене зростання. Це дозволяє оновити екологічну складову просторово-часової системи функціонування наших земель. Першочергово – на регіональному, а у подальшому – на локальному рівнях. Прийняття запропонованої системи дозволить більш ефективно перерозподіляти ресурси та визначити екологічні ризики аграрного виробництва.

### Література

1. Денисик Г.І. Белігеративні ландшафти: сутність і класифікація. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Військово- спеціальні науки*. 2016. Вип. 2 (35) . С. 6–9.
2. Балюк С., Кучер А. Національне багатство України – чорноземи – під загрозою знищення. *Голос України*, 2.12.2022. URL: <http://www.golos.com.ua/article/366511>
3. Ландшафти війни: нові «врожаї» на українських полях. Укрінформ. 4.04.2023. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubricato/3503152-landsafti-vijni-novi-vrozai-na-ukrainskih-polah.html>
4. «Про виконання науково-дослідних робіт в умовах збройної агресії РФ» . Постанови Президії Національної академії аграрних наук України . (Протокол № 5 від 23 березня 2022 р.).
5. Денисик Г.І., Антоноук О.О. Наукове і прикладне значення дослідження белігеративних ландшафтів. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Військово- спеціальні науки*. 2017. Вип. 1 (36) . С. 13-16.
6. Сгорова Т.М. Біосферні ідеї В.І. Вернадського як теоретичні засади аграрної екології. *Агроекологічний журнал*, 2021. № 1. С. 7–17.
7. Семеряга О.П. Аналітичний огляд методів дослідження белігеративний ландшафтів. *Екополітика і екогеодинаміка регіонів*, 2014. С 194–200. URL: [analitichniy-oglyad-metodiv-doslidzhennya-beligerat](http://analitichniy-oglyad-metodiv-doslidzhennya-beligerat)
8. Крушельницький О.Д., Огороднійчук І.В., Іванько О.М. Ландшафтні зміни навколишнього середовища внаслідок воєнних дій та їх епідемічні ризики. *Профілактична медицина. Медичні перспективи*. 2016. Вип.16. Том XXI. С. 104–106. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/landshaftni-zmini-navkolishnogo-seredovischa-vnaslidok-voennih-diy-ta-yih-epidemichni-riziki/viewer>.
9. Василюк О., Норенко К. Територія АТО після завершення війни потребуватиме масштабної рекультивациі. *Екологія, право, людина*. 9.02.2016. URL: <http://epl.org.ua/environment/terytoriia-ato-pislia-zavershennia-viiny-potrebutatyme-masshtabnoi-rekultyvatsii>.
10. Тарнавський А.Б., Хром'як У.В. Залучення підрозділів Державної служби з надзвичайних ситуацій до розмінування та рекультивациі територій, порушених внаслідок воєнних дій на сході України. *Науковий вісник НЛТУ України*, 2015. Вип. 25.9. С. 190–196.
11. Босприпаси та хімія: як війна шкодить ґрунтам і які є рішення? URL: <https://rubryka.com/article/soil-ukraine>
12. Сгорова Т.М. Ландшафтно-геохімічна структура території України як методологічна основа еколого-геохімічних досліджень. Свідectво про реєстрацію авторського права на твір № 20405. Дата реєстрації: 7.05.2007. Автор: Сгорова Т.М.
13. Сгорова Т.М. Екологічна геохімія агроландшафтів України: монографія / за ред. О.І. Фурдичка. Київ: ТОВ «ДІА», 2018. 264 с.
14. Екологічний атлас України. Київ: «Центр екологічної освіти та інформації», 2009. 104 с.
15. Геохімічний атлас ґрунтів України (за результатами міжнародного проекту GEMAS). Київ, 2015. 84 с.
16. Про стан родючості ґрунтів України: національна доповідь / С.А. Балюк, В.В. Медведєв, О.Г. Тараріко та ін. Київ, 2010. 111 с.
17. Наукове забезпечення управління ґрунтовими ресурсами в контексті євроінтеграційних процесів: наукова доповідь / А.С. Заришняк, С.А. Балюк, В.В. Медведєв та ін. Харків, 2016. 44 с.
18. Green Economy in Eastern Partner Countries. На шляху до зеленої трансформації України: огляд станом на 2021 рік. URL: <https://www.rac.org.ua/uploads/content/634/files/ggi-finalukrnew-eu-logo.pdf>

## ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ФІТОІНДИКАЦІЇ ЧАГАРНИКОВИМИ РОСЛИНАМИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ

Колеснік Д.В., Шмандій В.М., Харламова О.В., Ригас Т.Є., Безденежних Л.А.  
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук  
kolesnikdimv@gmail.com

Сучасні проблеми довкілля зумовили необхідність вивчення його стану та пошуку нових методів екологічного моніторингу. Одним з таких методів є фітоіндикація, яка базується на аналізі рослинного покриву території. Цей метод є екологічно збалансованим, дешевим та дозволяє проводити маловитратні дослідження.

Важливим аспектом фітоіндикації є оцінка стану екологічної безпеки в міських умовах, оскільки міста є найбільш забрудненими територіями, де проживає значна кількість людей.

У даній статті розглянуто стан екологічної безпеки міста Кременчук на основі фітоіндикації чагарниковими рослинами. Дослідження проведено влітку 2022 року. Обрано наступні види рослин: Глід одноматочковий (*Crataegus monogyna* Jacq.), Шипшина звичайна (*Rosa canina* L.) та Жимолость татарська (*Lonicera tatarica*). Для кожного з цих видів визначено значення фітоіндексу, який дозволив оцінити екологічну безпеку в тих місцях, де знаходилися досліджувані рослини.

Встановлено, що обрані види рослин здатні до акумуляції металів з повітря та ґрунту і можуть виступати індикаторами забруднення навколишнього середовища. Визначення показників вмісту металів у проаналізованих пробах дає можливість зробити висновок про негативний вплив на стан екологічної безпеки урбанізованих територій.

У цілому, результати досліджень свідчать про те, що фітоіндикація є достатньо ефективним інструментом для одного з перших етапів моніторингу стану екологічної безпеки міських територій та пошуку шляхів покращення якості довкілля. Враховуючи зростаюче значення екологічної проблематики в сучасному світі, використання цього методу може стати важливим кроком у збереженні природних ресурсів та забезпеченні здоров'я людей. Однак, ми вважаємо, що фітоіндикаційні дослідження в умовах міста не завжди є достатніми для отримання вичерпної інформації щодо екологічного стану території, їх слід розглядати як експрес-методи. *Ключові слова:* фітоіндикація, чагарникові рослини, фітоіндекс, екологічна безпека, урбанізовані території.

**Use of the method of phytoindication by shrub plants to study the state of environmental safety of urbanized areas. Kolesnik D., Shmandiy V., Kharlamova O., Rigas T., Bezdeneznykh L.**

Modern environmental problems have led to the need to study its state and search for new methods of environmental monitoring. One of these methods is phytoindication, which is based on the analysis of the vegetation cover of the territory. This method is environmentally balanced, cheap and allows for non-contact research.

One of the important aspects of research related to phytoindication is to assess the state of environmental safety in urban areas, since cities are the most polluted areas where a significant number of people live.

This article discusses the state of environmental safety of the city of Kremenchuk based on phytoindication by shrubs. The study was conducted in the summer of 2022. The following plant species were selected: Single-stemmed hawthorn (*Crataegus monogyna* Jacq.), common dog rose (*Rosa canina* L.), and Tatar honeysuckle (*Lonicera tatarica*). For each of these species, the value of the phytoindex was determined, which allowed us to assess the environmental safety in the places where the studied plants were located.

It was found that the selected plant species are capable of accumulating metals from the air and soil and can act as indicators of environmental pollution. Determination of the metal content in the analyzed samples makes it possible to conclude that the environmental safety of urbanized areas is negatively affected.

In general, the results of the research indicate that phytoindication is a fairly effective tool for one of the first stages of monitoring the state of environmental safety of urban areas and finding ways to improve environmental quality. Given the growing importance of environmental issues in the modern world, the use of this method can be an important step in preserving natural resources and ensuring human health. However, we believe that phytoindication studies in urban areas are not always sufficient to obtain comprehensive information on the ecological state of the territory, and should be considered as express methods. *Key words:* phytoindication, shrub plants, phytoindex, environmental safety, urbanized areas.

**Постановка проблеми.** Важливим завданням для сучасного суспільства є забезпечення екологічної безпеки, оскільки забруднення повітря стає причиною смерті мільйонів людей та близько 25% захворювань у світі пов'язані з незадовільною якістю довкілля [1]. Міські умови є особливо складним середовищем для здоров'я людини та біологічної різноманітності, тому що велика

кількість транспорту, промислових підприємств та розсіяних джерел забруднення може привести до забруднення повітря та ґрунту, що може мати серйозний вплив на здоров'я населення та екосистему [2]. Тому урбанізовані території повинні бути під постійним наглядом для встановлення стану екологічної небезпеки, а отже і постає проблема пошуку ефективних та дешевих методів еко-

логічного моніторингу. Одним із таких методів – є фітоіндикація.

**Актуальність дослідження.** Фітоіндикація чагарниковими рослинами може допомогти в оцінці стану довкілля та встановленні залежності між рівнем забруднення та рослинним покривом, що є важливим кроком у розв’язанні проблеми забруднення довкілля. Проведення оцінки стану екологічної безпеки міста Кременчук на основі фітоіндикації дає можливість вирішити проблему забруднення довкілля та покращити стан екологічної безпеки міста. Результати доцільно використовувати для владних структур та населення міста при прийнятті рішень щодо охорони навколишнього середовища та мінімізації впливу промислових підприємств та транспорту на нього.

Крім того, використання фітоіндикації може мати практичне значення для розробки та впровадження заходів з мінімізації впливу промислових підприємств та транспорту на навколишнє середовище. За результатами досліджень можна виявити зони, які потребують найбільшої уваги з точки зору екологічної безпеки та виробничих процесів.

Застосування фітоіндикації є доцільним при вивченні впливу кліматичних змін на довкілля та рослинність міста. Зміна клімату може мати серйозний вплив на розподіл та склад рослинного покриву, а також на рівень забруднення довкілля. Дослідження з використанням фітоіндикації можуть допомогти у розумінні цих процесів та впровадженні відповідних заходів для забезпечення екологічної безпеки в містах.

Однак, рослини, як і майже всі живі організми, здатні адаптуватися до умов свого існування. Тому, виникає питання щодо ефективності методів фітоіндикації для міських екосистем, де навколишнє природне середовище постійно знаходиться під інтенсивним антропогенним навантаженням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Наукові дослідження, що ґрунтуються на фітоіндикації задля оцінювання стану довкілля, набувають все більшої популярності. Цей метод відрізняється суттєвими перевагами, такими як низькі витрати, можливість використання в різних кліматичних умовах та на різних типах ґрунтів.

У попередніх дослідженнях нами доведено ефективність та переваги використання Елодеї канадської (*Eloдея canadensis*) для оцінки стану Кременчуцького водосховища [3].

В роботах [4, 5] досліджено як вплив антропогенного навантаження на рослинний покрив, так і доцільність застосування методу фітоіндикації з використанням різних видів дерев на урбанізованих територіях.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Відкритим є питання щодо ефективності та довготривалості вище вказаних методів для міських

екосистем. Крім того майже відсутні дослідження використання чагарникових видів рослин для фітоіндикації, хоча в умовах міської забудови чагарники є більш розповсюджені ніж високорослі рослини.

**Наукова новизна** роботи полягає в обґрунтуванні застосування фітоіндикаційних методів з використанням чагарникових рослин для моніторингу станів техногенної складової екологічної небезпеки міських територій з високим рівнем антропогенного навантаження.

**Виклад основного матеріалу.** Метою роботи є аналіз ефективності визначення стану екологічної безпеки на основі фітоіндикації чагарникових рослин, з упором на їх здатність до акумуляції металів та обґрунтування доцільності застосування даного методу для урбанізованих територій на прикладі міста Кременчук Полтавської області. Для досягнення мети запропонована методологія дослідження, яка включає послідовність наступних етапів.

Перший етап дослідження полягав у виборі зон дослідження в місті Кременчук з урахуванням різних факторів впливу на довкілля. Для цього було проведено аналіз даних про забруднення повітря та ґрунту в різних частинах міста, наявність промислових об’єктів, транспортних артерій та інших джерел забруднення.

Відібрано декілька територій дослідження, які характеризувалися різним рівнем забруднення та були представлені різними типами середовища: від міських скверів та парків до промислових районів та автомагістралей. Зокрема райони Кременчуцького нафтопереробного заводу (територія 1) та регіональний ландшафтний парк «Кременчуцькі плавні» (територія 2), що можна побачити на рисунках 1 та 2 відповідно.

Територія 1 знаходиться в південно-західній частині міста неподалік від залізничних колій, автотранспортних доріг, за декілька кілометрів від житлової забудови. Територія 2 розташована в північно-західній частині міста, на березі річки Дніпро, поблизу автомобільних доріг, залізничної колії та Крюківського вагонобудівного заводу.

У попередніх дослідженнях [6] виявлено незначне забруднення важкими металами індустріальної зони міста Кременчук, до якої належить територія 1, крім того, Кременчуцький НПЗ часто піддавався обстрілам з боку ворожої країни, що також є одним із джерел забруднення, тому саме ці компоненти визначалися у досліджуваних рослинах. Територія 2 була обрана в протиставленні індустріальній зоні, для порівняння показників забруднення та підведення підсумку щодо стану екологічної безпеки на території всього міста.

Контрольними пробами виступали зразки, відібрані в віддаленому на значну відстань від джерел екологічної небезпеки регіоні – Уситмівському дендропарку, зразки з якого були проаналізовані при проведенні попередніх досліджень [7].

Для детальнішого вивчення стану довкілля на кожній території здійснено додатковий аналіз, включаючи визначення рівня шуму, вмісту вуглекислого газу та інших показників, що впливають на якість повітря та ґрунту.

Отже, вибір територій дослідження був здійснений з урахуванням різноманітних факторів впливу на довкілля та забруднення, що дозволило провести комплексне дослідження та отримати більш точні результати оцінки стану екологічної безпеки в місті Кременчук.

Другим етапом є проведення відбору чагарникових рослин в різних зонах територій дослідження (рис. 1–2), які відповідали критеріям для викори-

стання в такому типі дослідження. У процесі відбору видів враховані їх біологічні особливості та здатність до адаптації до різних умов середовища. В результаті визначено наступні види рослин: Глід одноматочковий (*Crataegus monogyna Jacq.*), Шипшина звичайна (*Rosa canina L.*) та Жимолость татарська (*Lonicera tatarica*).

Вказані види обрані через їх відому здатність до акумуляції металів та інших забруднюючих речовин. Окрім того, вони були достатньо поширеними та доступними для збору на території дослідження.

Відбір рослин для фітоіндикації проведений відповідно до вимог та методів, що використовуються

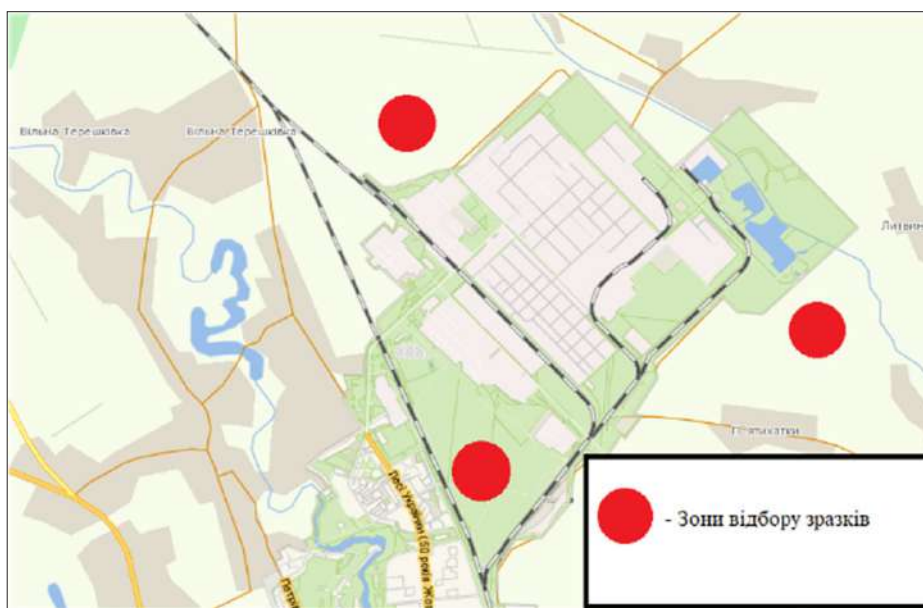


Рис. 1. Зони відбору зразків на території Кременчуцького нафтопереробного заводу (територія 1)



Рис. 2. Зони відбору зразків на території регіонального ландшафтного парку «Кременчуцькі плавні» (територія 2)

в наукових дослідженнях. Кожен вибраний вид рослин відповідав по параметрам даним ботанічних довідників та підтверджуючих документів. Для збирання рослин використовувалися стандартні методи, які передбачали відбір представників кожного виду рослин з різних точок досліджуваної території. Збір зразків проводився у кожній зоні дослідження з урахуванням віку та статі рослин. Збирання здійснювалося на початку літа, коли рослини були у фазі активного росту.

Зазначимо, що деякі екземпляри рослин були у пригніченому стані, однак більша частина зовні виглядала здоровими.

У наступному етапі проводився відбір проб та підготовка об'єктів дослідження що здійснювався за загальноприйнятими методиками [8]. Елементний аналіз проводили за допомогою атомно-абсорбційного спектрографічного методу із фотографічною реєстрацією на приладі ДФС-8, який ґрунтується на здатності дисоційованих атомів елементів (вільних від хімічних зв'язків) поглинати світло в дуже вузькій ділянці спектра. Попередньо рослинну сировину озолювали парами азотної кислоти (HNO<sub>3</sub>) з наступним розчиненням золи в хлоридній кислоті (HCl). Розрахунок вмісту металів (C) у листках проводили за формулою [9]:

$$C = \frac{V \times (C_1 - C_0) \times 100 \times 100}{m \times k} \quad (1)$$

де C<sub>1</sub> – концентрація іонів металу в розчині золи, мг/кг (визначена за калібрувальним графіком); C<sub>0</sub> – концентрація іонів металу в контрольній пробі, мг/кг

(визначена за калібрувальним графіком); V – об'єм досліджуваної золи; m – маса повітряно-сухої проби, г; k – коефіцієнт, що враховує зменшення маси наважки сировини.

Для визначення ступеню забруднення місцевості для кожного зразка був визначений фітоіндекс, який відображає ступінь впливу або реакцію рослинного виду на певний фактор довкілля, наприклад, на наявність важких металів в ґрунті чи на рівень забруднення повітря. Визначення фітоіндексу базується на властивостях рослин, які виявляються під впливом змін довкілля. Фітоіндекс може бути визначений для окремого виду рослин, або для групи рослин, які реагують на даний чинник подібним чином.

Фітоіндекс (ФІ) визначався за наступною формулою:

$$ФІ = \frac{(C - C_0)}{C_0} \quad (2)$$

де C – концентрація іонів металу у зразку рослини, мг/кг; C<sub>0</sub> – концентрація іонів металу в контрольній пробі, мг/кг.

Якщо ФІ < або = 1 це вказує на відсутність впливу забруднення на здоров'я рослин, а значення ФІ > 1 вказує на негативний вплив забруднення на рослину.

Загальний фітоіндекс визначався як середнє арифметичне значень фітоіндексу кожного виду використаних рослини. Він відображає стан здоров'я рослин на всій території дослідження [10–11]. Отримані результати наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати аналізу по територіям дослідження

Зона дослідження	Види рослин, що були зібрані в кожній зоні	Вміст металів, мг/кг (середнє значення)	Значення фітоіндексу	Загальний фітоіндекс для кожної зони дослідження
Кременчуцький нафтопереробний завод (територія 1)	Глід одноматочковий ( <i>Crataegus monogyna Jacq.</i> )	Cd– 0,27	1,64	1,37
		Pb– 2,14;	1,13	
		Zn– 43,7	1,35	
	Шипшина звичайна ( <i>Rosa canina L.</i> )	Cd– 0,12	1,24	1,38
		Pb– 3,35	1,86	
		Zn– 31,8	1,03	
Жимолость татарська ( <i>Lonicera tatarica</i> )	Cd– 0,18	1,36	1,15	
	Pb– 1,97	0,95		
	Zn– 39,2	1,13		
Регіональний ландшафтний парк «Кременчуцькі плавні» (територія 2)	Глід одноматочковий ( <i>Crataegus monogyna Jacq.</i> )	Cd– 0,15	0,94	0,95
		Pb– 0,41	0,97	
		Zn– 17,8	0,95	
	Шипшина звичайна ( <i>Rosa canina L.</i> )	Cd– 0,13;	1,06	1,06
		Pb– 0,28;	1,05	
		Zn– 11,5	1,08	
	Жимолость татарська ( <i>Lonicera tatarica</i> )	Cd– 0,14;	0,99	0,98
		Pb– 0,32;	0,99	
		Zn– 13,6	0,97	

На основі отриманих результатів констатуємо, що на території 1 концентрація іонів металів помітно вища, ніж на території 2, а отже і значення фітоіндексу в техногенно навантаженій зоні нижчий ніж у природно-заповідній, з чого можна зробити висновки про негативний вплив підприємства на навколишнє середовище, а зокрема на об'єкти фітоіндикації. Так, при переробці нафти до навколишнього середовища надходить значна кількість забруднювачів. І хоча на підприємстві встановлені сучасне очисне обладнання та системи, однак викиди від автотранспорту, залізничного транспорту, а також забруднення унаслідок військових дій підсилюють негативний вплив на біогеоценози. Про що і свідчать отримані дані.

Однак, як можна побачити, фітоіндекс для Кременчуцьких плавнів не є ідеальним, а іноді його значення перевищує значення одиниці. Це зумовлено тим, що територія 2 знаходиться поблизу урбанізованих територій і попадає під вплив таких джерел забруднення як автомобільний транспорт та Крюківський вагонобудівний завод.

Отримані результати корелюють з результатами попередньо проведених досліджень [2–6] з використанням інших методів фітоіндикації з іншими видами рослин. Це вказує на доцільність використання чагарникових видів Глід одноматочковий (*Crataegus monogyna* Jacq.), Шипшина звичайна (*Rosa canina* L.) та Жимолость татарська (*Lonicera tatarica*) як індикаторів забруднення повітря та ґрунту важкими металами.

**Головні висновки.** В результаті проведеного дослідження встановлено, що на території міста Кременчук має місце забруднення ґрунтів та повітря металами, що свідчить про негативний вплив на стан екологічної безпеки міста та здоров'я його мешканців.

Використовуючи метод фітоіндикації, було встановлено, що рослини-індикатори Глід одноматочковий (*Crataegus monogyna* Jacq.), Шипшина звичайна (*Rosa canina* L.) та Жимолость татарська (*Lonicera*

*tatarica*) чутливі до забруднення навколишнього середовища металами. Для кожного з металів розраховано значення фітоіндексу, які характеризують ступінь забруднення рослин.

Щодо ефективності фітоіндикаційних досліджень відмічаємо наступне. За результатами дослідження зроблено висновок про стан екологічної безпеки, але він несе лише оціночний характер. Зовні деякі рослини, з яких були відібрані проби на території 1, якне мали ознаки пригнічення та деградації та майже не відрізнялись від їх аналогів з території 2, так і були у негативному стані, що свідчить про пристосування частини рослин до даних умов існування. Тобто дослідження таких рослин методом флюктууючої асиметрії чи за іншими морфологічними ознаками будуть неефективними.

Крім того, значення фітоіндексу для території 2 близькі до 1. Хоча регіональний ландшафтний парк можна вважати екологічно-чистим регіоном, але безпосередня близькість індустріального міста негативно впливає і на стан його екосистеми.

Отже, використання методів фітоіндикації з використанням представлених видів рослин на урбанізованих територіях, де завжди присутня значна кількість джерел екологічної небезпеки (автотранспорт, підприємства, стихійні лиха, військові дії тощо), є доцільним лише як один із перших або як доповнення до інших етапів екологічного моніторингу. Тому доцільність використання фітоіндикаційних методів повинно бути ретельно обґрунтована та доповнена іншими методами моніторингу, щоб отримати повну та достовірну інформацію про екологічний стан досліджуваної території.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Отримані результати підтверджують доцільність проведення подальших заходів для покращення екологічної ситуації на території міста Кременчук, включаючи моніторинг забруднення металами, розробку та впровадження програм екологічного відновлення ґрунтів та захисту здоров'я мешканців від негативного впливу.

### Література

1. World Health Organization. Environmental risks to health URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/environmental-risks-to-health> (дата звернення 3 січня, 2023 року)
2. Ригас Т.Є., Харламова О.В., Безденежних Л.А., Шмандій В.М. Моніторинг станів екологічної небезпеки, що формується у техногенно навантаженому комплексі. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2016. Вип. 5(100). ч. 2. С. 83–88.
3. Д. В. Колеснік, В. М. Шмандій, Т. Є. Ригас, О. В. Харламова. Оцінка стану екологічної безпеки акваторії кременчуцького водосховища задля збереження ландшафтно-біологічного різноманіття в умовах змін клімату. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2021 Вип. 3/2021 (128). С. 24–29.
4. Шмандій В.М., Алексеева Т.М., Харламова О.В. Характеристика стану екологічної небезпеки за показниками деградації ґрунтово-рослинного покриву в урбосистемі. *Науково-технічний журнал «Техногенно-екологічна безпека»*. 2017. № 2. С. 11–17.
5. Алексеева, Т. М. Ґрунтово-рослинний покрив як показник забруднення атмосферного повітря важкими металами. *Український гідрометеорологічний журнал*, 2014. Вип. 14. С. 16–22.
6. Колеснік Д.В., Шмандій В.М., Бігдан С.А. Моніторинг стану атмосферного повітря Кременчуцької індустріально навантаженої зони із застосуванням біоіндикаційного методу. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Чорнобильська катастрофа: міждисциплінарні дослідження»*, присвячена 35-роковинам Чорнобильської катастрофи, Львів, 2021, С. 30–36.

7. Колеснік Д.В. Фітоіндикація як елемент моніторингу стану екологічної безпеки. Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Авіація, промисловість, суспільство», Кременчук, 2021 С. 304–306.
8. Г. Р. Козир, С. М. Марчишин, О. О. Баєв та ін. Елементний склад листків настурції великої. Фармац. часопис. № 1, 2010. С. 10–12.
9. С. М. Марчишин, О. В. Полонець, М. С. Гарник, О. Л. Демидяк Елементний склад квіток та листків хризантеми садової багаторічної (*Chrysanthemum × hortorum* Bailey). Український біофармацевтичний журнал, № 5 (52). 2017. С. 46–49.
10. Glińska-Lewczuk M. Z., Walna K. Assessment of environmental quality of urban green areas using plant bioindicators. *Ecological Indicators*. 2011. № 11. 413–420 pp.
11. Żołnierczyk, M., Łukowska M., Saeid M. Bioindication of heavy metal pollution with the use of selected plant species in the areas of former smelters. *Environmental Science and Pollution Research*. 2014. № 21. 1437–1446 pp.

УДК 504.5(477.42)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.3-48.7>

## АНАЛІЗ АНТРОПОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ ЖИТОМИРСЬКОГО РЕГІОНУ

Луньова О.В., Кагукіна А.М.

Державний університет «Житомирська політехніка»

вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир

ke\_kham@ztu.edu.ua

У статті описано стан антропогенного забруднення Житомирського регіону, з огляду забруднення атмосферного повітря, водних та земельних ресурсів області. Проблема екологічної безпеки стосовно занепокоєння станом навколишнього середовища стала вагомою починаючи вже з минулого століття. Історичний розвиток провокував різні погляди відносин людини з довкіллям. Лише з середини 21 століття, людство звернуло увагу, який рівень руйнування зазнає навколишнє середовище від дій людини.

Метою статті є аналіз антропогенного забруднення Житомирської області. Для реалізації поставленої мети було застосовано наукові методи: аналіз звітних матеріалів та статистичних даних, узагальнення, тощо.

В досліджуваному регіоні основними забруднювачами за видами економічної діяльності є: використання наземного транспорту, розробка кар'єрів, добувна промисловість, сільське, лісове та рибне господарство. Найменшого негативного антропогенного впливу в області зазнають галузі невиробничої сфери, такі як охорона здоров'я, комунальні послуги, фінансова діяльність та освіта.

Процеси урбанізації посилюють негативний антропогенний вплив. В містах наземний транспорт спричиняє викиди в атмосферу токсинів відпрацьованих газів, забруднення поверхневих водних об'єктів та утворення відходів, що забруднюють земельні ресурси.

Викиди забруднюючих речовин до атмосферного повітря в Житомирській області мають тенденцію до зниження, однак в 2021 році порівняно з 2020 роком викиди збільшилися за рахунок пересувних джерел області. Водні ресурси області забруднюються за рахунок стічних вод. До водних об'єктів регіону потрапляють різні хімічні речовини, серед яких: хлориди, нітрати, нітрити, фосфати, марганець та залізо. Забруднення земельних ресурсів Житомирської області відбувається за рахунок сільського господарства. Сільськогосподарські угіддя регіону займають 50,6% від загальної території, яка складає 2982,7 тис. га.

Щоб унеможливити в майбутньому техногенну катастрофу, людство повинно зменшити навантаження на довкілля. Дії людини повинні базуватися на принципах рівності, права та відповідальності. В умовах воєнного часу постає проблема недостатнього дослідження та діагностики екологічного стану регіону. Як наслідок, можливе виникнення екологічно-демографічних проблем. *Ключові слова:* антропогенне забруднення, довкілля, навколишнє середовище, забруднюючі речовини, ресурси забезпечення життєдіяльності, водні ресурси, земельні ресурси, атмосферне повітря.

### **Analysis of anthropogenic pollution in Zhytomyr region. Lunova O., Kahukina A.**

The article highlights the state of anthropogenic pollution in Zhytomyr region, taking into consideration the pollution of atmospheric air, water and land resources of the region. It is emphasized that the problem of ecological safety in relation to concern about the state of the environment has gained its significance since the previous century. The process of historical development evoked different views of the relationship between man and the environment. It was not until the mid-21st century that humanity paid attention to the level of destruction the environment undergoes due to human activity.

The purpose of the article is the analysis of anthropogenic pollution in Zhytomyr region. To address the goal, scientific methods were used, in particular analysis of reporting materials and statistical data, generalization, etc.

In the region under study, the major polluters by types of economic activity are as follows: the use of land transport, quarrying, mining, agriculture, forestry, and fishing. The article showed that the least negative anthropogenic impact in the region is experienced by non-production sectors, such as health care, communal services, financial activities and education. It was established that urbanization processes increase the negative anthropogenic impact: in cities, land transport causes emissions of exhaust gas toxins into the atmosphere, pollution of surface water bodies, and generation of waste that contaminates land resources. It was noted that despite the fact that overall air pollutant emissions in Zhytomyr region tend to decrease, in 2021 as compared to 2020, emissions increased due to mobile sources in the region. Furthermore, water resources of the region are polluted due to sewage. Various chemicals enter the water bodies of the region, including such as chlorides, nitrates, nitrites, phosphates, manganese and iron. The article maintains that contamination of land resources of Zhytomyr region occurs at the expense of agriculture, in particular agricultural coal in the region occupies 50.6% of the total territory, which is 2982.7 thousand hectares.

The conclusion was made that in order to prevent a man-made catastrophe in the future, humanity must reduce the burden on the environment. Human actions should be based on the principles of equality, law and responsibility. In wartime conditions, the problem of insufficient research and diagnosis of the ecological state of the region arises. Consequently, environmental and demographic problems may present a concern. *Key words:* anthropogenic pollution, environment, environment, pollutants, life support resources, water resources, land resources, atmospheric air.

**Постановка проблеми.** Проблема антропогенного забруднення є значною з огляду безпечної життєдіяльності людини в умовах навколишнього середовища. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, вплив довкілля на організм людини складає 20% [1]. Такий показник займає вагому частку



в виникненні патологічних процесів в організмі людини.

Антропогенне забруднення Житомирського регіону, слід розглядати за впливом на атмосферу, гідросферу та літосферу. Житомирська область складається з 1619 селищ, 11 міст та 43 селищ міського типу [2]. Вплив навколишнього середовища займає вагомую частку у захворюваності населення. Це стосується як сільського, так і міського населення області. З огляду безпечної життєдіяльності людини необхідно актуалізувати необхідність додаткових досліджень з розширенням можливості еколого-гігієнічних досліджень. Проблема забрудненості навколишнього середовища вимагає посиленого контролю за якістю довкілля.

**Актуальність дослідження.** Внаслідок бездумної діяльності людини навколишнє середовище зазнає значного забруднення. Це проявляється у вигляді виснаження ресурсів для забезпечення життєдіяльності, порушенні екосистем, ураженні ґрунтів та загальному забрудненні довкілля [3].

В умовах урбанізації екосистема міста зазнає негативного впливу від дій людини [4]. Все це на пряму впливає на стан організму людини.

Атмосферне повітря може бути забрудненим внаслідок промислових або транспортних викидів. Також можливе забруднення від мікроорганізмів. Забруднене повітря впливає на фізичне та психічне здоров'я людини [5].

Якість питної води має безпосереднє значення у житті всіх живих організмів [6]. Різні способи землеробства забруднюють навколишнє середовище. Сучасні методи ведення сільського господарства не потребують великої кількості людської праці. В таких умовах сільське населення мігрувало в міста. Це призвело до того, що в 2007 році більш ніж половина людства проживала в міських населених пунктах [7]. Це в свою чергу провокує забруднення довкілля, оскільки для забезпечення життєдіяльності людині потрібні ресурси.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Згідно даних ВООЗ тверді домішки в атмосфері скорочують тривалість життя кожної людини яка проживає в умовах забрудненого атмосферного повітря на 1 рік [7].

За останні 10 років українськими науковцями було проаналізовано стан ґрунтів великих міст. Стан ґрунтового покриву в місті може змінюватися за структурою та складом. В таких умовах можливе виникнення нових вірусних інфекцій, небезпечних для населення міста [8–10].

**Методологічне або загальнонаукове значення.** В умовах військового часу постає проблема недостатнього дослідження та діагностики екологічного стану регіону. Як наслідок, можливе виникнення екологічно-демографічних проблем. Антропогенний вплив на навколишнє середовище несе за собою складний процес дезадаптації всіх живих організмів, які проживають на забруднених територіях. Такі питання є вагомими з огляду на збільшення кількості людей на планеті, оскільки вони збільшуються в геометричній прогресії, на відміну від ресурсів, які мають швидкість відновлення в арифметичній прогресії. В таких умовах антропогенний вплив буде лише посилюватися. Для зменшення впливу людини на довкілля необхідно детально проаналізувати стан довкілля та який вплив людина може нанести навколишньому природному середовищу.

**Викладення основного матеріалу.** Основними екологічними проблемами Житомирської області є: забруднення водних ресурсів, атмосферного повітря, земельних ресурсів та утворення відходів.

Аналізуючи динаміку викидів (рис. 1), слід відзначити зниження обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря області, за 2012–2021 роки. Однак, загальний обсяг викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря Житомирщини у 2021 році збільшився у порівнянні з 2020 роком за рахунок пересувних джерел області.

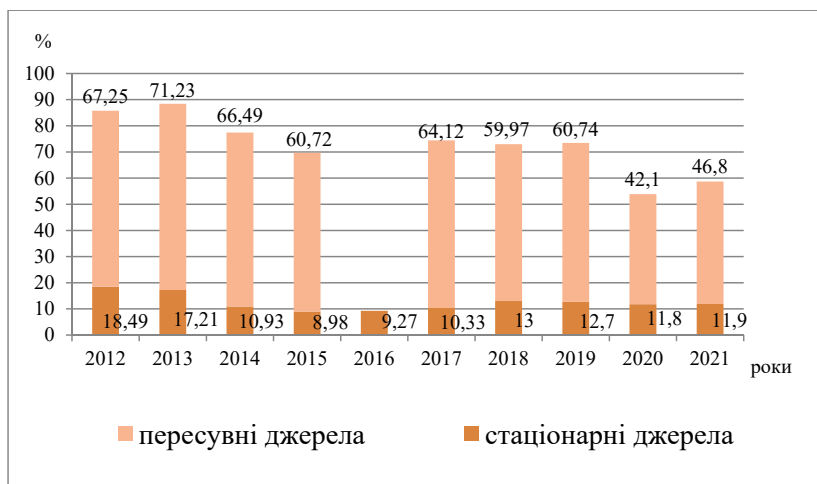


Рис. 1 Динаміка викидів в атмосферне повітря Житомирської області за 2012–2021 роки [13]

В 2016 році планом державних статистичних спостережень розробка інформації, щодо викидів забруднюючих речовин пересувними джерелами забруднення, не була передбачена, тому ці дані відсутні. В 2021 р. зафіксовано збільшення обсягів діоксину азоту на 4,7% та значне збільшення викидів діоксиду сірки на 45,5% [11].

Основними забруднювачами за видами економічної діяльності в Житомирській області є: сільське, лісове та рибне господарство, добувна промисловість, розробка кар'єрів та використання наземного транспорту. Найменший вплив на якість атмосферного повітря в області мають галузі невиробничої сфери, такі як охорона здоров'я, комунальні послуги, фінансова діяльність та освіта. Негативного антропогенний впливу на стан навколишнього середовища Житомирського регіону мають підприємства в Коростенському районі 28,7% та Житомирському районі 35,5% викидів від загального по регіону [11].

В Україні та зокрема в Житомирському регіоні кількість автомобільного транспорту зростає, що в свою чергу буде збільшувати негативний вплив на атмосферу та збільшить кількість захворювань дихальної системи у міського населення. Щороку в атмосферу потрапляє 80 тон забруднюючих речовин, до яких належать оксид азоту, вуглеводні,

сірчисті сполуки, діоксин, а також метали і їх сполуки. Найбільш шкідливим для атмосферного повітря є вихлопні гази автомобільного транспорту. Автомобіль викидає в атмосферу 700 (кг/рік) чадного газу, 40 (кг/рік) діоксину азоту, 230 (кг/рік) незгорілих вуглеводнів та в середньому 3,5 (кг/рік) твердих дрібнодисперсних часток (PM).

Зменшити антропогенне забруднення атмосферного повітря Житомирської області можливо за рахунок мінімізації шкідливого впливу наземного транспорту. Для цього необхідно зменшити кількість використання транспорту, проектувати та будувати траси для об'їзду міст. Не менш важливим є контроль за токсичністю відпрацьованих газів автомобілів.

В Житомирській області водні ресурси забруднюються за рахунок стічних вод [13]. До водних об'єктів потрапляють такі речовини як: хлориди, нітрати, нітрити, фосфати, марганець та залізо.

Згідно даних (табл. 1) для Житомирського регіону характерні перевищення концентрації хлоридів, марганцю, нітратів та заліза. В 2018 році спостерігалось значне підвищення концентрації хлоридів. Антропогенними причинами перевищення хлоридів у водних об'єктах є: комунальні стічні води, застосування добрив у сільському господарстві, фільтрат полігонів твердих побутових відходів. Збільшення

Таблиця 1

**Середньорічні концентрації речовин в контрольних створах водних об'єктів Житомирської області за 2016–2021 роки (в одиницях кратності відповідних ГДК) [13]**

Рік	Місце спостереження за якістю води	Показники складу та властивостей				
		хлориди	нітрати	фосфати	марганець	залізо
1	2	3	4	5	6	7
2021 рік	р. Тетерів, питний в/з м. Житомира	0,08	0,01	0,01	0,84	1,29
	р. Уж, питний в/з м. Коростеня	0,09	0,01	0,01	1,04	2,68
	р. Гнилоп'ять питний в/з м. Бердичева	0,14	0,02	0,02	0,90	1,0
	р. Случ, питний в/з м. Звягель	0,09	0,01	0,02	0,94	1,66
2020 рік	р. Тетерів, питний в/з м. Житомира	0,09	0,01	-	0,83	1,19
	р. Уж, питний в/з м. Коростеня	0,07	-	-	1,34	3,61
	р. Гнилоп'ять питний в/з м. Бердичева	0,14	-	0,01	0,81	0,91
	р. Случ, питний в/з м. Звягель	0,10	-	0,01	0,99	1,48
2019 рік	р. Тетерів, питний в/з м. Житомира	0,07	0,01	-	1	1,53
	р. Уж, питний в/з м. Коростеня	0,07	-	-	1,11	3,2
	р. Гнилоп'ять питний в/з м. Бердичева	0,14	-	0,02	1,4	1,3
	р. Случ, питний в/з м. Звягель	0,09	-	0,01	1,14	1,6
2018 рік	р. Тетерів, питний в/з м. Житомира	25,0	0,039	0,038	0,3	0,082
	р. Уж, питний в/з м. Коростеня	28,0	5,3	0,04	0,014	0,15
	р. Гнилоп'ять питний в/з м. Бердичева	43,8	0,8	0,245	0,26	0,076
	р. Случ, питний в/з м. Звягель	34,1	2,3	0,158	0,014	0,096

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7
2017 рік	р. Тетерів, питний в/з м. Житомира	0,08	0,14	-	1,0	1,0
	р. Уж, питний в/з м. Коростеня	0,08	0,12	0,02	1,96	1,9
	р. Гнилоп'ять питний в/з м. Бердичева	0,14	0,03	0,09	1,6	0,72
	р. Случ, питний в/з м. Звягель	0,08	0,05	0,03	1,27	1,2
2016 рік	р. Тетерів, питний в/з м. Житомира	0,08	0,02	0,02	0,76	0,96
	р. Уж, питний в/з м. Коростеня	0,08	0,10	0,02	1,38	2,07
	р. Гнилоп'ять питний в/з м. Бердичева	0,13	0,03	0,05	1,33	0,83
	р. Случ, питний в/з м. Звягель	0,09	0,04	0,03	0,95	0,95

нітратів у воді є наслідком сільського господарства. Внаслідок гарної розчинності в воді, нітрати не затримуються в ґрунті та мігрують у водні об'єкти. Основними джерелами потрапляння марганцю в водні об'єкти є гірничодобувні підприємства та сільське господарство.

Для зменшення кількості забруднюючих речовин у поверхневих водоймах необхідно удосконалити якість каналізаційних систем та збільшити кількість локальних споруд очищення стічних вод.

Земельний фонд Житомирської області сягає 2982,7 тис. га з них 50% земель займають сільськогосподарські угіддя (рис. 2).

Основна частина антропогенного забруднення земельних ресурсів Житомирської області відбувається внаслідок сільського господарства. Низька культура землеробства спричиняє посилення процесів вітрової та водної ерозії ґрунтів. Внаслідок інтенсивного землеробства та порушень правил використання хімічних речовин, відбувається забруднення земель небезпечними хімічними речовинами.

Забрудненість територій хімічними та радіоактивними речовинами спричиняє посилення техногенної ураженості екосфери. Як наслідок, виникає

загроза токсичного та мутагенного ураження живих організмів. Внаслідок Чорнобильської катастрофи Житомирський регіон містить території, які забруднені радіоізотопами. Найбільш поширеними радіоактивними речовинами є цезій-137 та стронцій-90. Забрудненими територіями є: Ємільчинський, Коростенський, Лугинський, Малинський, Народницький, Новоград-Волинський, Овруцький, Олевський, Хорошівський райони області [11].

Стан радіаційного забруднення атмосферного повітря досліджуваного регіону у першому кварталі 2023 року становить у Звягельському районі – 11 мкР/год, Олевському районі та м. Житомир – 12 мкР/год., Овруцькому районі – 13 мкР/год [14]. Дані показники знаходяться в межах природного радіаційного фону.

Утворення відходів є значною проблемою України. Не виключенням є і Житомирська область. З роками кількість відходів збільшується, утворюються несанкціоновані звалища. Станом на 2021 рік в досліджуваному регіоні зареєстровано 6 полігонів та 822 сміттєзвалищ [11]. Утворення відходів зосереджуються біля промислових підприємств, які їх і утворюють. Це створює забруднення навколишнього середовища.

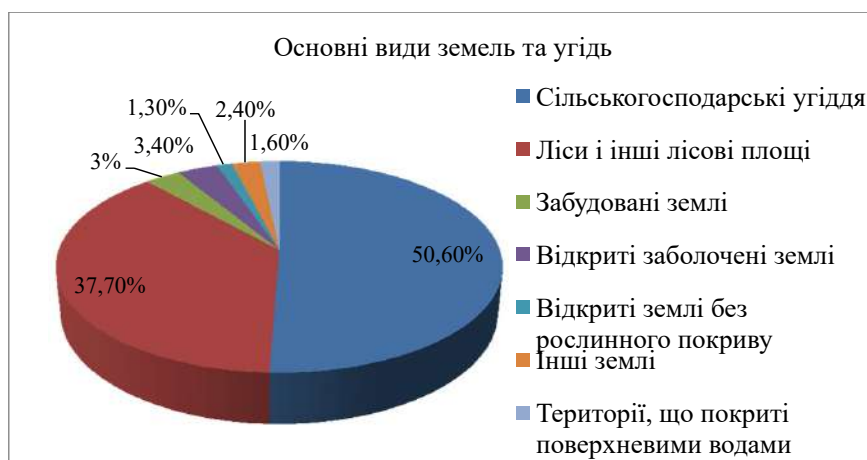


Рис. 2. Динаміка структури земельного фонду Житомирської області за 2014–2022 роки [13]

Внаслідок військових дій постає проблема утилізації відходів руйнації. Військовими об'єктами та їх об'єднаннями утворено велику кількість шляхів сполучень, прокладання трубопроводів та ліній електропередач по всій Україні. Це суттєво змінило ландшафти та умови для безпечної життєдіяльності людини.

**Висновки.** Внаслідок урбанізаційних процесів проблема антропогенного забруднення довкілля стає дедалі гострішою. Антропогенні екологічні навантаження і геохімічні аномальні процеси дуже нерівномірні за рівнем і якістю забруднення, природного дефіциту життєво необхідних елементів і природно-кліматичного потенціалу відновлення

денатурованого природного середовища, що провокує виникнення трансформації природного покриву, зменшуються чисельності популяцій тварин, що в свою чергу призводить до збіднення флори й фауни. Забруднення міських територій має властивість поширюватися за межі міста та становить загрозу не лише для міського населення, але й для сільського. Виконання природоохоронних заходів та впровадження сучасних технологій є основним напрямком зменшення забрудненості довкілля, що в свою чергу є актуальним напрямком дослідження методів зменшення надходження шкідливих речовин до навколишнього середовища та розробки мінімізації вже надходжених шкідливих впливів.

### Література

1. Н. В. Карасва, І. А. Варава. Методи і засоби оцінки ризику здоров'ю населення від забруднення атмосферного повітря: навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 56 с.
2. Географічне розташування та кліматичні особливості області. URL: [https://eprdep.zht.gov.ua/rd\\_GRtROO\\_1-1.htm](https://eprdep.zht.gov.ua/rd_GRtROO_1-1.htm) (дата звернення: 10.05.2023).
3. Василенко О.В., Балабак О.А., Балабак А.В., Нікітіна О.В., Гурський І.М. Оцінка стану міських ґрунтів як засіб збереження екологічної стабільності урбоекосистеми. *Екологічні науки* № 1(46). С. 139–143.
4. Гнатів П. С., Бальковський В. В., Лопотич Н. Я., Дацко Т. М. Техно- й убросистеми: методологічні підходи до оцінювання стану урбанізованого довкілля. *Науковий вісник НЛТУ України*, 2019, т. 29, № 5 URL: [https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2019/29\\_5/18.pdf](https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2019/29_5/18.pdf) (дата звернення: 10.05.2023).
5. Глухих В.І., Сиромятников М.М., Засоби підвищення опірності організму людини до несприятливих умов зовнішнього середовища: навч.-метод. посіб. Запоріжжя, ЗДМУ, 2013 р. 48 с.
6. Лук'янова Л. Б. Основи екології, методика екологізації фахових дисциплін: навч.-метод. посіб. Вид. 2-ге змінене і доповнене. Київ : ТОВ «ДСК – Центр». 210 с.
7. Права людини та навколишнє середовище. URL: <http://surl.li/hffsg> (дата звернення: 18.05.2023).
8. Позняк С.П., Телегуз О. Г. Антропогенні ґрунти: навч. посіб. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2021. 200 с.
9. Криштоп Є. А., Волощенко В. В. Міські ґрунти як невід'ємний елемент урбанізованих і техногенно забруднених територій. *Вісник ХНАУ*. 2013. № 2. С. 200–206.
10. Тітенко Г. В. Оцінка екологічного стану міських ґрунтів як засіб оптимізації території міста. *Вісник СумДУ*. Суми. 2007. № 275. С. 149–152.
11. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища Житомирської області у 2021 році. URL: <http://surl.li/hfgsf> (дата звернення 09.05.2023).
12. Луньова О.В., Герасимчук О.Л., Кагукіна А.М. Аналіз стану водних ресурсів Житомирської області та їх вплив на організм людини. *Екологічні науки* № 6(45). С. 31–34.
13. Регіональні доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні. URL: <http://surl.li/hfgsf> (дата звернення: 21.05.2023).
14. Огляд стану довкілля в Житомирській області: URL: <https://eprdep.zht.gov.ua/monitoring%20I%20kvartal%202023.htm> (дата звернення: 05.05.2023).

УДК 504.062.2

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.3-48.8>

## ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА РЕКРЕАЦІЙНИХ ЗОН МІСТА УЖГОРОД

Роман Л.Ю., Костик К.М.

Державний вищий навчальний заклад «Ужгородський національний університет»

вул. Підгірна, 46, 88000, м. Ужгород

liudmyla.roman@uzhnu.edu.ua, kostyk.karina@student.uzhnu.edu.ua

Проведено екологічну оцінку основних рекреаційних зон міста Ужгород Закарпатської області. Їх досліджено у відповідності до певної диференціації рекреаційних зон за групами та окремими територіями умовного районування міста. Вивчено, що площа зелених масивів та насаджень у м. Ужгород становить 1574 га.

Встановлено, що основну частину рекреаційних зон міста становлять зелені зони загального користування (83,87%) та зони активного відпочинку (85%). Найбільшими з них є парк Боздоський, парк Підзамковий, ботанічний сад Державного вищого навчального закладу «Ужгородський національний університет». Не менш важливими є зони об'єктів природно-заповідного фонду (4,7%), зони історико-культурного відпочинку (2%), а також зони обмеженого користування (приватний сектор). Більшу частину рекреаційних зон міста становлять сквери загального користування – 16,27%.

Особливою рекреаційною цінністю характеризуються гідрологічні природні зони міста, які представлені територіями вздовж ріки Уж та двома джерелами мінеральних вод.

Встановлено, що найкраще озелененою є центральна частина міста, в той час в окремих його районах існують часткові проблеми організації зон для рекреації. Не рідко, жителям міста необхідно подолати 2–3 км, щоб достатися найближчого рекреаційного центру.

Встановлено, що всі рекреаційні зони міста характеризуються належним екологічним станом. Їх території не засмічені, відсутні є неприємний запах або погіршення видимості повітря. Зелені насадження не пошкоджені, хворі або старі дерева своєчасно підлягають санітарній вирубці. Рекреаційні зони добре оснащені зонами комфорту (відкриті дитячі майданчики, альтанки, лавочки для відпочинку), організованими смітниками.

Розраховано, що на 1 мешканця міста припадає майже 8,6 м<sup>2</sup>, при нормі не менше 10 м<sup>2</sup>. Таким чином, м. Ужгород має високий, але не достатній коефіцієнт рекреаційного зонування. Додаткового озеленення потребують проспект Свободи та окремі вулиці міста. *Ключові слова:* рекреаційні зони, місто Ужгород, екологічний стан, озеленення міста, зелені зони.

### Environmental assessment of recreation areas of Uzhgorod. Roman L., Kostyk K.

An ecological assessment of the main recreational areas of the city of Uzhgorod, Transcarpathian region, was carried out. They were investigated in accordance with a certain differentiation of recreational zones by groups and separate territories of the conditional zoning of the city. It has been studied that the area of green massifs and plantations in the city of Uzhgorod is 1574 hectares.

It was established that the main part of the city's recreational areas are green areas for public use (83.87%) and areas for active recreation (85%). The largest of them are Bozdosky Park, Pidzamkovy Park, and Botanical Garden of the State Higher Educational Institution "Uzhhorod National University". There are no less areas of objects of the nature reserve fund (4.7%), areas of historical and cultural recreation (2%), as well as areas of limited use (private sector). Most of the recreational areas of the city are public parks – 16.27%.

The hydrological natural zones of the city, which are represented by the territories along the Uzh River and two sources of mineral water, are characterized by special recreational value.

It was established that the central part of the city is the best landscaped, while in some of its districts there are partial problems with the organization of recreation areas. Not infrequently, city residents have to travel 2–3 km to get to the nearest recreation center.

It was established that all recreational areas of the city are characterized by a suitable ecological condition. Their territories are not littered; there are no unpleasant odors or deterioration of air visibility. Green plantations are not damaged, diseased or old trees are subject to sanitary felling in a timely manner. Recreation areas are well equipped with comfort zones (open playgrounds, gazebos, benches for rest), organized garbage cans.

It is estimated that almost 8.6 m<sup>2</sup> per 1 resident of the city, with a norm of at least 10 m<sup>2</sup>. Thus, Uzhhorod has a high, but not sufficient coefficient of recreational zoning. Liberty Avenue and some streets of the city need additional greening. *Key words:* recreational areas, the city of Uzhgorod, ecological condition, greening of the city, green areas.

**Постановка проблеми.** Україна загалом, та Карпатський регіон країни зокрема, має значний рекреаційно-ресурсний потенціал. У першу чергу, це обумовлено особливостями клімату та географічними об'єктами, які використовуються або можуть бути використані під час відновлення духовних та фізичних сил людини, відпочинку, оздоровлення чи лікування.

Проблема організації активної рекреації за всі роки незалежності України залишається актуаль-

ною як для мешканців великих, так і малих густонаселених міст. Особливо гостро дана проблематика постала сьогодні: коли значна частина території країни зруйнована внаслідок воєнних дій, а інші регіони країни – приймають великий потік тимчасово вимушених переселенців. Освоєння приміських територій з метою відпочинку є альтернативою, неможливого у сучасних умовах, виїзного туризму чи міжрегіонального внутрішнього туризму. При цьому варто дотримуватись раціонального природокорис-

тування, що є неможливим без детального вивчення рекреаційних ресурсів окремих територій, аналізу їх розташування, екологічного стану та придатності для цілей рекреації.

**Актуальність дослідження.** Ужгород – маленьке місто, що розташоване у найзахіднішому куточку країни та межує із Словаччиною. Особливість його географічного місцезнаходження сприяє щорічному потоку рекреантів та збільшенню кількості місцевого населення. З початком повномасштабного вторгнення російських військ на територію України місто стало прихистком для більш ніж 3000 українців. Таким чином, маленьке густонаселене місто зазнало ще більшого антропогенного навантаження на всі об'єкти довкілля, в тому числі і рекреаційні. З огляду на ці та інші антропогенні чи природні умови у м. Ужгород гостро постає проблема задоволення рекреаційних потреб. Враховуючи природний потенціал, екологію урбанізованої території та його інфраструктуру необхідним є визначення доцільності розташування зон для короткотривалого відпочинку населення міста та туристів.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Науково-практичні дослідження виконувались у відповідності з загальною комплексною темою кафедри екології та охорони навколишнього середовища навчально-наукового інституту хімії та екології ДВНЗ «Ужгородський національний університет»: «Розробка та вдосконалення систем і методів моніторингу об'єктів довкілля в контексті екологічної безпеки». Номер держреєстрації: 0121U109776.

Проведені дослідження дозволять науковцям і здобувачам вищої освіти застосовувати системний підхід у емпіричних дослідженнях екологічних природних рекреаційних територій задля надання практичних рекомендацій щодо шляхів охорони об'єктів навколишнього середовища та методів розвитку рекреації в межах урбанізованих зон.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема антропогенного освоєння міської та приміської зон присвячено багато робіт вітчизняних науковців різних галузей: географії, біології, екології, економіки, тощо [1–3]. Серед відомих праць українських авторів можна виділити публікації О. Бейдика [4, 5], який в Україні виокремив п'ять ресурсно-рекреаційних зон та заклав в основу рекреаційно-туристичного районування чотириступеневу ієрархічну систему одиниць (макрорайон → мезорайон → підрайон → мікрорайон). Відомими є роботи М. Рутинського [6, 7], який займався проблематикою туристичного комплексу західного регіону України, туристичним країнознавством, теорією і методологією рекреаційної географії та культурології. Новосад Н.О. досліджував туристичну привабливість регіонів України [8]. Багато наукових праць присвячено екологічним аспектам розвитку сільського та агротуризму в державі [9, 10]. У науко-

вій літературі не достатньо висвітлені питання екологічних аспектів рекреаційних зон урбанізованих територій.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Дана стаття присвячена питанням моніторингу екологічного стану основних рекреаційних зон міста Ужгород, що є обласним центром Закарпатської області України. Мета роботи: екологічні аспекти короткочасного відпочинку місцевого населення, а також вітчизняних або закордонних туристів.

**Новизна.** Досліджено екологічний стан основних рекреаційних зон міста Ужгород Закарпатської області у відповідності до певної диференціації рекреаційних зон за групами та окремими територіями умовного районування міста. Встановлено, що основну частину рекреаційних зон міста становлять зелені зони загального користування (83,87%) та зони активного відпочинку (85%), меншою є частка територій та об'єктів природно-заповідного фонду (4,7%) та зон історико-культурного відпочинку (2%). Встановлено, що більшу частину рекреаційних зон міста становлять сквери загального користування – 16,27%.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Результати проведених досліджень мають важливе методологічне значення. Воно полягає у формуванні уваги до міжпредметних зв'язків дисциплін екологічного, економічного, біологічного та географічного спрямування. Проведені аналітичні дослідження сприяють підвищенню знань щодо екологічної оцінки природних екосистем та їх раціонального використання, екологічної свідомості громадян та збереження належного екологічного стану основних рекреаційних територій країни. Моніторинг рекреаційних зон міста Ужгород Закарпатської області проведено на основі теоретичних та емпіричних методів. Зокрема, застосовано порівняльний аналіз та відповідні розрахунки.

**Викладення основного матеріалу.** Важливою відмінністю рекреаційних зон від інших земельних територій є можливість їх створення не тільки в межах земель рекреаційного призначення, а також і на земельних ділянках природно-заповідного чи іншого природоохоронного призначення, лісового або водного фонду регіону.

Місто Ужгород є найзахіднішим населеним пунктом України та характеризується сприятливими умовами для комфортного проживання та відпочинку. Клімат міста є помірно-континентальним з спекотним літом та м'якою зимою (табл.1.), що є сприятливими з точки зору цілорічної рекреації. Значно впливає на це захищеність місцевості Карпатами від холодних північних вітрів. За кліматичною класифікацією Кеппена-Гейгера [11] клімат міста Ужгород є морським.

Аналізуючи дані таблиці 1 можемо відмітити, що клімат у м. Ужгород сприяє освоєнню різних рекреа-

Таблиця 1

## Показники середньомісячної температури повітря м. Ужгород

Середньомісячна температура, °С	№ місяця											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
максимум	1	3	9	16	22	24	27	26	21	16	8	3
мінімум	-6	-4	1	6	10	13	15	14	10	5	2	-2

ційних зон регіону: ландшафтних, історико-культурних, водних, тощо.

Варто зазначити, що місто Ужгород розташоване на висоті майже 120 м над рівнем моря у передгір'ї Карпат на річці Уж. Його площа – дуже маленька та займає всього 41,56 км<sup>2</sup>. Протяжність міста становить з півночі на південь 12 км, а зі сходу на захід – 5 км. Найвищою вершиною міста є гора Велика Дайбовецька – 224 м. Оскільки м. Ужгород розташоване приблизно на однаковій відстані від трьох найближчих морів, а саме Чорного (690 км), Балтійського (650 км) та Адріатичного (670 км), його можна вважати найбільш внутрішнім містом даної частини Європи.

Площа зелених масивів та насаджень у м. Ужгород становить 1574 га. Всього в межах території міста нараховується 32 зелені зони вільного користування, загальною площею 82,83 га. З них 59,06 га становлять об'єкти природно-заповідного фонду та парків-пам'яток садово-паркового мистецтва місцевого значення (табл. 2).

Природно-заповідний фонд у місті є складовою екологічної мережі області і становить 161 га (4,7% від загальної площі самого міста). З точки зору екології це хороший показник. До основних рекреаційних зон обмеженого доступу відносяться такі об'єкти ПЗФ міста як ботанічний сад ДВНЗ

Таблиця 2

## Перелік об'єктів природно-заповідного фонду та парків-пам'яток садово-паркового мистецтва місцевого значення в м. Ужгород

№	Найменування об'єкту	Площа, га
1	парк Підзамковий	4
2	парк Боздоський	50
3	Палісадник обласної лікарні	0,7
4	Дендросад Лаудона (сквер міської лікарні)	0,1423
5	Сквер Альпінарій (сквер міської лікарні)	0,2577
6	Палісадник університетської бібліотеки	0,11
7	Палісадник Навчально-наукового інституту хімії та екології	0,2
8	Сквер А. Масарика	0,57
9	Алея липи (набережна)	1,00
10	Рокарій ПАТ «Закарпатліс»	0,51
11	Партерний сквер	1,5704
	Всього	59,0604

«Ужгородський національний університет», загальною площею 86,414 га та ботанічні пам'ятки природи Кипарис болотний (0,02 га) та Ясен Масарика (0,0016 га), розміщених на вулиці Собранецькій та набережній Незалежності відповідно.

Майже 290 га земель міста відведено для садів та виноградників приватної власності, тобто це зелені зони обмеженого доступу. Вулиці м. Ужгород обсажені різними деревами. Одні з них фруктові: яблуні, сливи, черешні, вишні, абрикоси, тощо; а інші – декоративні: тополі, гліцинії, сакури, магнолії, липи, каштани, тощо. Найбільше в місті скверів загального користування, сумарною площею 13,64 га (табл. 3).

Аналізуючи дані табл. 3. можемо відзначити, що найкраще озелененою є центральна частина міста, в той час в окремих його районах існують часткові проблеми організації зон для рекреації. Не рідко, жителям міста необхідно подолати 2–3 км, щоб достатися найближчого рекреаційного центру.

Таблиця 3

## Сквери загального користування м. Ужгород

№	Найменування об'єкту	Площа, га
1	На площі Кирила і Мефодія	2,8
2	На площі Ш.Петефі	2,0
3	Ротарійський або Студентський	1,77
4	На площі Б. Хмельницького	1,6
5	Алея по набережній Православній	0,93
6	На площі Дружби народів	0,76
7	На площі Лаборця	0,71
8	На площі Народній	0,55
9	По вулиці Довженка	0,55
10	По вулиці Мукачівська – Анкудінова	0,3
11	Партер залізничного вокзалу	0,3
12	Партер біля готелю «Ужгород»	0,22
13	Партер біля готелю «Закарпаття»	0,2
14	Партер на площі Корятовича – вулиця Фединця	0,2
15	Партер біля автовокзалу Ужгород-1	0,14
16	Партер біля автовокзалу Ужгород-2	0,11
17	На площі Бабушкіна	0,12
18	На розі вулиць Ракоці – Крилова	0,09
19	На розі вулиць Митна – Собранецька	0,06
20	На розі вулиць Я. Гуса – Собранецька	0,08
21	На площі Егана	0,07
22	На площі Пушкіна	0,08
	Всього	13,64

Оскільки сумарна кількість зелених насаджень загального користування у місті сягає до 82,83 га, то із розрахунку площі такого озеленення в м. Ужгород на 1 мешканця припадає майже 8,6 м<sup>2</sup>. Зауважимо, що згідно нормативних вимог [12] цей показник має бути не менше 10 м<sup>2</sup>. Таким чином, м. Ужгород має високий, але не достатній коефіцієнт рекреаційного зонування міста.

Особливої уваги як рекреаційної зони заслуговує річка Уж. Вона протікає вздовж міста протяжністю 10,5 км та поділяє його на дві частини: лівобережну та правобережну. Остання займає дещо більшу площу та має давню історико-архітектурну спадщину, за що її називають Старе місто. Дві частини міста сполучають 7 мостів, які також можуть слугувати зоною відпочинку. З них відкриваються мальовничі краєвиди міста: липова та каштанові алеї, старовинні будівлі, тощо. Всього у місті 4 пішохідно-транспортні, 2 пішохідні та 1 залізничний мости. У літній період береги річки є улюбленим відпочинком місцевого населення та туристів. У зимовий період на річці можна зустріти диких качок чи лебедів, що також посилює рекреаційне значення водного об'єкту.

Численними в Ужгороді є рекреаційні зони історико-культурного призначення. До них відносять Ужгородський замок, будівлі храмів, обласна філармонія, тощо (табл. 4).

У відповідності до нормативних документів [12] час доступності до міських парків чи інших зелених зон загального користування при використанні транспортних засобів не повинен перевищувати 20 хв., а парків планувальних районів – не більше 15 хв. При цьому радіус доступності має становити не більше 2 км, а районних парків – 1 км. Важливою є і довжина пішохідних підходів від зупинок чи стоянок транспорту до ландшафтно-рекреаційних об'єктів, яка не повинна перевищувати 500 м. З огляду на це зелені зони та інші рекреаційні зони міста Ужгород добре забезпечені як транспортною, так і пішохідною доступністю.

Варто зауважити, що найбільші зелені зони міста розташовані у різних його частинах, забезпечуючи при цьому більш-менш рівномірний їх розподіл.

Парк Боздоський є найближчим до ужгородців південно-західної частини міста, ботанічний сад, липова алея і парк Підзамковий розташовані ближче до центральної його частини, з північного заходу Ужгород оточує лісовий масив.

Всі рекреаційні зелені зони міста мають належний екологічний стан. Вони щоденно доглядаються підпорядкованими органами місцевого самоврядування. На територіях парку Боздоський є організовані місця для розпалювання багаття та альтанки. Зелені насадження парку мають різний вік, тут проводять належну санітарну рубку деревостанів та планове очищення території від небажаної рослинності (інвазійної флори). На всіх зелених територіях міста є лавочки для відпочинку та організовані смітники. На окремих рекреаційних ділянках міста облаштовані відкриті дитячі майданчики. Варто відзначити, що в місті нема великих промислових підприємств, які б надавали додаткового антропогенного навантаження на природі рекреаційні зони і, тим самим, погіршували стан об'єктів довкілля. Основними джерелами забруднення атмосфери міста є автотранспорт, в'їзд яких на територію заповідних зон заборонений.

Незважаючи на досить високий рівень озеленення міста Ужгород є окремі ділянки, які потребують насадження багатвікових рослин. Зокрема, це проспект Свободи, який є одним з найпопулярніших пішохідних зон, вул. Гагаріна, район «П'яного базару», вулиці південно-східної частина міста, тощо.

**Головні висновки.** Ужгород – невелике за площею, але дуже популярне містечко України. Воно приваблює як своєю західною культурою, так численними рекреаційними зонами: історико-культурними об'єктами, джерелами мінеральних вод, ботанічними пам'ятками природи, вулицями із екзотичними квітучими сакурами чи магноліями, найдовшою у Центральній Європі липовою алеєю (2,2 км), та іншими зеленими зонами. Зелені зони розподілені майже рівномірно по всій території міста, що дає рівноцінну щоденну можливість для короткочасного відпочинку кожного.

До основних рекреаційних зон міста відносять зелені зони загального користування (83,87%), зони

Таблиця 4

Основні історико-культурні рекреаційні зони м. Ужгород

№	Найменування	Площа, га	Умовний район міста	Заснування
1	Ужгородський замок	2,5	центр	XII–XVIII ст.
2	Закарпатський краєзнавчий музей	5,5	центр	1970 рік (експонати датовані 1777 роком)
3	Обласна філармонія, колишня синагога	< 0,05	центр	1902 рік
4	Горянська ротонда	< 0,05	сх. частина міста	XI ст.
5	Хресто-Воздвиженський православний собор	< 0,1	центр	1644 рік
6	Цегольнянська католицька церква	< 0,1	центр	1802 рік



об'єктів природно-заповідного фонду (4,7%), зони активного відпочинку (85%), зони історико-культурного відпочинку (2%), а також зони обмеженого користування (приватний сектор). Більшу частину рекреаційних зон міста становлять сквери загального користування – 16,27%. Особливою рекреаційною цінністю характеризується природні зони вздовж ріки Уж, яка протікає в межах міста протяжністю 10,5 км.

Всі рекреаційні зони міста характеризуються належним екологічним станом. Їх території не засмічені, відсутні є неприємний запах або погіршення видимості повітря. Зелені насадження не пошкоджені, хворі або старі дерева своєчасно підлягають санітарній вирубці. Рекреаційні зони добре оснащені зонами

комфорту (альтанки, лавочки для відпочинку, тощо) та організованими смітниками.

На 1 мешканця міста припадає майже 8,6 м<sup>2</sup>, при нормі не менше 10 м<sup>2</sup>. Таким чином, м. Ужгород має високий, але не достатній коефіцієнт рекреаційного зонування. Додаткового озеленення потребують проспект Свободи та окремі вулиці міста.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Здобуті результати досліджень можуть бути використані для моніторингових досліджень екологічних проблем рекреаційних зон урбанізованих територій, планування містобудівних проектів, у процесі моделювання комплексних підходів до охорони об'єктів навколишнього середовища та облаштування природних зон відпочинку чи оздоровлення.

### Література

1. Стафійчук В.І. Рекреологія. Навч. посіб. К.:Альтпрес, 2006. 264 с.
2. Коробейнікова Я.С. Екологічні проблеми туристично-рекреаційної діяльності. *Науково-технічний журнал*. 2021. № 1(23). С. 124–134. DOI: 10.31471/2415-3184-2021-1(23)-124-134
3. Данилюк В. О. Рекреаційно-туристичний потенціал Карпатського регіону. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Економіка*. 4 (33), 2011. С. 31–34.
4. Бейдик О.О. Рекреаційні ресурси України. К.: Альтерпрес, 2011. 462 с.
5. Бейдик О., Сировець С. Туристсько-екскурсійні ресурси Деснянського рекреаційного коридору. *Вісник Київського національного у-ту ім. Т. Шевченка. Серія: Географія*. 2017. 1(66)/2(67). С. 29–37. DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2721.2017.66.3>
6. Рутинський М. Й. Метризація екологічних станів ландшафтних систем. Львів: Фенікс, 2002. 239 с.
7. Рутинський М. Й., Стецюк О. В. Туристичний комплекс Карпатського регіону України: навч. посіб. Чернівці: Книги-XXI, 2008. 440 с.
8. Новосад Н.О. Країнознавчі аспекти аналізу туристської привабливості регіонів України. *Географія та туризм*. 2010. В. 6. С. 140–142.
9. Пап В.В. Сільський зелений туризм як пріоритетний напрям розвитку сільських територій України. *Агросвіт*. 2015. № 18. С. 17–22.
10. Цимбалюк С.Я., Морозова І.В. Сільський туризм як перспективний напрям розвитку внутрішнього туризму. *Екологічні науки*. 2019. № 1 (24). С. 41–45. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716-2019-1-24-1-6>
11. Гумницький Я. М. Метеорологія та кліматологія. Навч. посіб. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. 204 с.
12. ДБН 360-92. Містобудування. Планування та забудова міських і сільських поселень. Чинний з 19.03.2002 р.

УДК 504.064.3

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.3-48.9>

## ОСНОВНІ БУРШТИНОНОСНІ ЗОНИ ПОЛІССЯ ТА ЇХ ВПЛИВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

Тимків М.М.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
вул. Карпатська, 15, 76019, м. Івано-Франківськ  
maritymkiv@gmail.com

Нелегальний видобуток бурштину на Поліссі призводить до катастрофічних наслідків, які несуть з собою загрозу екологічного лиха на довгі роки. Варто зауважити, що територія Полісся є унікальною за своїми природними характеристиками та входить у транскордонну зону. Найбільше шкоди завдає саме нелегальний видобуток бурштину, оскільки ні про які методи контролю якості мова не йде.

Наслідками незаконного видобутку бурштину є знищення родючого шару ґрунту, забруднення вод унаслідок роботи мотопомп, зміни гідрологічного режиму боліт, лісів та озер, знищення лісових ресурсів, зниження популяції тварин та птахів, які популярні на даній території. Окремо варто зазначити, що видобуток бурштину ведеться й на територіях природно-заповідного фонду, що призводить до значних втрат для біорізноманіття.

Метою даної роботи є аналіз території, де найбільше проводиться видобуток бурштину та основних методів його видобутку, їх особливості та вплив на навколишнє середовище. Згідно з спостереженнями найгірша ситуація зараз спостерігається на території Рівненської та Волинської областей. Основним із головних факторів, що впливають на поточну ситуацію на сьогодні є людський. Таким чином варто звернути увагу на законодавство, яким регулюється дана сфера діяльності.

Дана робота дасть можливість показати масштаб впливу нелегального видобутку корисних копалин на навколишнє середовище на прикладі одного осередку видобування та надалі дозволить проводити аналіз зміни такого впливу. Також важливим етапом при видобуванні бурштину є рекультивация земель. Проте, провівши аналіз періодичних видань та інтернет-ресурсів, на даний час таким етапом робіт часто нехтують.

Для роботи були використані знімки супутників за останні 30 років. Саме завдяки таким ресурсам є змога проводити моніторинг за станом земель та вчасно реагувати на будь-які зміни. *Ключові слова:* видобуток бурштину, забруднення, навколишнє середовище.

### **The main amber-bearing areas of Polissya and their impact on the environment. Tymkiv M.**

Illegal mining of amber in Polissia leads to catastrophic consequences, which carry with it the threat of environmental disaster for many years. It is worth noting that the territory of Polissia is unique in terms of its natural characteristics and is included in the transboundary zone. It is the illegal extraction of amber that causes the most damage, since there is no question of any quality control methods.

The consequences of illegal amber mining are the destruction of the fertile soil layer, water pollution due to the operation of motorized pumps, changes in the hydrological regime of swamps, forests and lakes, the destruction of forest resources, and a decrease in the population of animals and birds that are popular in this area. Separately, it is worth noting that amber mining is also carried out in the territories of the nature reserve fund, which leads to significant losses for biodiversity.

The purpose of this work is to analyze the area where amber is mined the most and the main methods of its extraction, their features and impact on the environment. According to observations, the worst situation is currently observed in the Rivne and Volyn regions. The main factor affecting the current situation today is human. Thus, it is worth paying attention to the legislation that regulates this field of activity.

This work will provide an opportunity to show the scale of the impact of illegal mining on the environment using the example of one mining center and will allow further analysis of changes in such impact. Land reclamation is also an important step in amber mining. However, after analyzing periodicals and Internet resources, this stage of work is often neglected at present.

Satellite images from the last 30 years were used for the work. It is thanks to such resources that it is possible to monitor the state of the land and respond to any changes in a timely manner. *Key words:* amber mining, pollution, environment.

**Постановка проблеми.** Станом на кінець 2021 року площа території, що постраждала від видобутку бурштину за офіційними даними Державного лісового фонду становить близько 5 тисяч гектарів, а за неофіційними даними понад 10 тисяч гектарів. Сюди входять землі різного цільового призначення: лісгосподарського, водного, рекреаційного, природоохоронного, сільського господарства та інші.

У 2019 році Верховна Рада ухвалила закон про регулювання видобутку бурштину. Він передбачає видачу дозволів на видобуток на певних земель-

них ділянках, також вносить зміни до Земельного кодексу, якими передбачається проведення розвідувальних робіт щодо пошуку покладів бурштину. Водночас закон запроваджує кримінальну відповідальність за незаконний видобуток і відповідальність за недотримання вимог рекультивации.

Найбільш негативними наслідками такого видобутку є насамперед знищення лісових насаджень та біорізноманіття; руйнування дренажних каналів підземних вод, що призводить до негативних змін режимів поверхневих і підземних вод, оскільки видобуток здійснюється мотопомпами.

Таким чином сукупність перелічених факторів змушує шукати нові способи мінімізації незаконного видобутку бурштину на навколишнє середовище, а також зберегти унікальні природні властивості Полісся.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Дослідження впливу видобутку бурштину в Україні з кожним роком набуває все ширшого масштабу. До вивчення його впливу долучаються спеціалісти різних сфер дослідження. Багато уваги звертали на проблему Черниш Р. Ф., Легкий В. В., Ковалевський С. Б., Корнієнко В. Я., Митрофанов І. І., Баранова В. О., Мороз Т. О. та ін. [1–2] Варто зазначити, що є ряд публікацій, що містять юридичний характер у яких розкривається питання незаконного видобування, збуту, придбання, передачі, пересилання, перевезення, перероблення бурштину. Адже саме несанкціонований видобуток бурштину призводить до катастрофічних наслідків та мільярдних збитків, які буде відчуті ще не один десяток років.

Економічну оцінку завданям збиткам вивчали Надточій П. П., Філіпович В. Є. Оцінку антропогенного впливу проводили Яковлев Є. О, Мислива Т. М., Бухальська Т., Слободян О. Ф. [3–7].

Проте, комплексного підходу до вивчення питання шкоди від видобутку бурштину ще не проведено, що не дає повного розуміння масштабів завданих збитків.

**Метою дослідження** є причини, що сприяють видобутку бурштину та яким чином їх можна мінімізувати, а також аналіз основних методів видобутку бурштину, їх особливості та вплив на навколишнє середовище.

**Виклад основного матеріалу.** Бурштин – природна скам'яніла викопна смола хвойних дерев у вигляді тьмяних, прозорих і напівпрозорих каменів, що утворилося внаслідок кристалізації впродовж декількох мільйонів без доступу кисню та є дуже цінним каменем у ювелірній сфері та парфумерії. Також має важливе значення для палеонтології. Саме висока цінність каменю і призводить до нелегального його видобутку. Найбільші поклади бурштину у Рівненській, Волинській, Житомирській областях. Вони розташовані переважно в північній частині і залягають на глибинах до 15–20 метрів. Проте на даний момент точних оцінок запасів немає, оскільки вони вивчені мало. Відсутність такої інформації не дозволяє проводити моніторинг покладів бурштину, що своєю чергою веде до безконтрольного видобутку та збуту.

Територію України можна поділити на три бурштиноносні басейни: Дністровський, Прип'ятський і Дніпровський. Прип'ятський розташований на західному і північному схилах Волинської, Житомирської, Рівненської та Київської областей; Дніпровський розташований на північно-східному схилі Українського щита: Полтавській, Київській, Дніпропетровській, Черкаській, Херсонській та Запорізькій областях. Дністровський розташований в Карпатській і Прикарпатській складчастій системі.

На сьогодні основними бурштиноносними районами є південний і північно-західний схил Українського щита та територія Волино-Подільської плити (рис. 1).

Згідно з адміністративним районуванням сюди входять: північна частина Волинської, Рівненської,

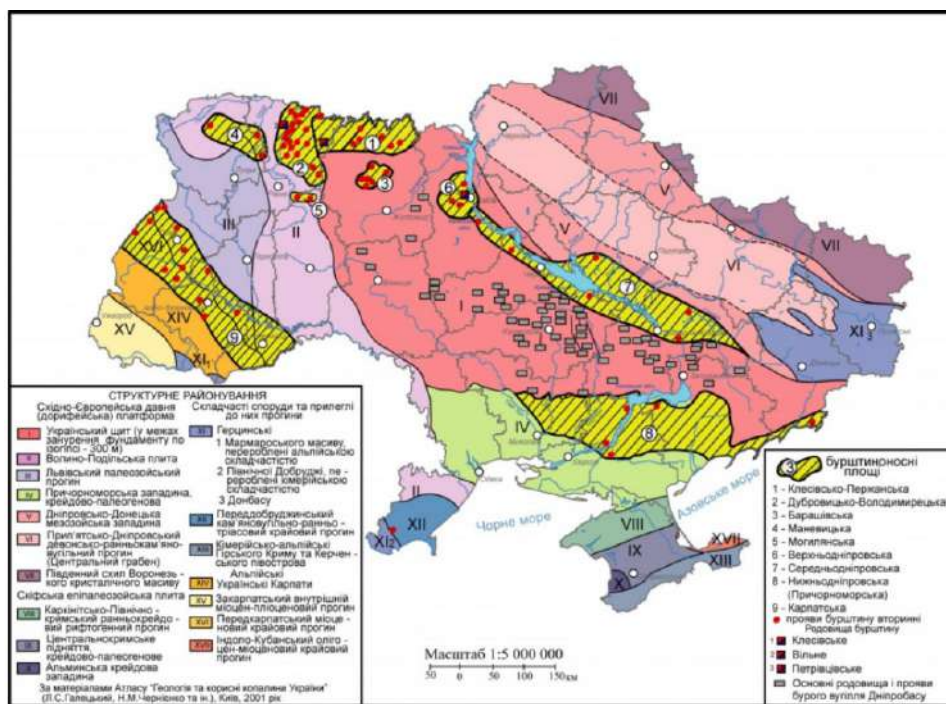


Рис. 1. Карта покладів бурштину

Житомирської і Київської областей. Також у межах Прип'ятського бурштиноносного басейну окремо виділено такі зони: Володимирецько-Дубровицьку, Клесівсько-Рокитнянську, Маневицько-Заріччянську, Вишгородську (з родовищем Петрівським), Барашівську (з родовищем Вікторівським), а також Могилянську й Пержанську зони. Клесівсько-Рокитнянська бурштиноносна зона Прип'ятського бурштиноносного басейну розміщена на сході й північному сході Рівненської області і представлена Клесівським бурштиноносним районом.

Як відомо, український бурштин посідає одне із провідних місць у світі через свої особливості. Згідно з даними Міжнародної асоціації бурштину (International Amber Association, IAA) близько 40% ринкового обсягу бурштину видобувається в Україні. Основна частка припадає на країни Прибалтики. Великою цінністю українського бурштину є його широкий спектр відтінків. Найчастіше можна знайти традиційні кольори: медово-жовтий, оранжево-жовтий, оранжево-червоний і рожевий, також відомий зелений бурштин. Варто також зазначити, що бурштин у різних регіонах України різний кольоровий діапазон. Саме тому український бурштин здебільшого використовують у ювелірній сфері. Особливістю українського бурштину є також підвищений вміст бурштинової кислоти – до 6,84%. У балтійському її зміст 3,20–5,28%, в білоруському бурштині – 3,25–9,44%. Проте, саме такі властивості і призводять до нелегального видобутку. Основними причинами можна також назвати: відсутність єдиної державної політики щодо урегулювання видобутку корисних копалин; монополія на видобуток бурштину; непрозора система видачі дозволів на видобуток бурштину; відсутність покарання за незаконний видобуток; відсутність контролю перевезення бурштину, в тому ж числі за кордон.

У грудні 2019 року Верховна Рада підтримала законопроект № 2240 про врегулювання видобутку бурштину. Даним законом встановлюється кримінальна відповідальність за незаконний видобуток бурштину.

Згідно з даними ДНВП «Геоінформ України», за останні 2 роки в Україні продано 85 спеціальних дозволів на користування бурштиноносними надрами. Саме такі дозволи видають на термін 5 років для проведення геологорозвідувальних і видобувних робіт. Також договором прописано про обов'язкове здійснення рекультивативної земель після його завершення. На жаль, такої процедури дотримуються не всі.

На рис. 2 представлені фрагменти території Рівненської області за період 1988–2022 рр. в межах населених пунктів с. Клесів та с. Гранітне. Саме Клесівське родовище, яке виявлене у 1980 р. на території Рівненської області вважається найбільшим в Україні. У геологічній будові цієї території беруть участь осадові породи палеогенового і антропогенного віку загальною потужністю яких скла-

дає до 20 м поверхні кристалічного фундаменту. Промислові поклади містяться у палеогенових піщано-глинистих глауконітових відкладах. Шари з промисловою концентрацією бурштину залягають на глибині 3–10 м, а їхня потужність становить 0,5–5 м.

Космоснімки взяті з ресурсу Google Earth. Координати 51°20'25" 26°57'42". Висота – 42,1 км. Як видно з представлених знімків, територія довкола с. Клесів за останні 30 років відчутно змінилась. Збільшилась кількість місць видобування бурштину, які чітко видно на картах. Починаючи з 80-х років минулого століття, площа території залучена під пошуки та видобуток покладів бурштину на даній частині території становила близько 5 км<sup>2</sup>. Станом на 2020 рік за даними ДЗЗ площа видобутку збільшилась фактично вдесятеро.

Якщо брати до уваги, що представлено тільки маленька частина одного з кар'єрів, то масштаби нищення лісів будуть значно вищі.

Розглядаючи масштаби знищеної території варто звернути увагу на методи видобування бурштину. Це дасть змогу цілком зрозуміти який вплив має такий видобуток на навколишнє середовище. Важливо зазначити, що основна частка бурштину в межах Рівненської області знаходиться в піщаних відкладах.

Існує два способи видобутку бурштину: механічний та гідравлічний [8].

Механічний спосіб виконується за допомогою екскаваторних робіт, де розбивається масив ґрунту у відкритому кар'єрі і після цього відбувається відділення бурштину від породи шляхом миття. Найбільші шматки породи вилучаються в кар'єрі ручним способом.

При гідравлічному видобутку одним із головних процесів є розмиття масиву ґрунту струменями під високим тиском, що в результаті дає винос бурштину на поверхню гідравлічними потоками. Даний метод частіше використовується на територіях, де визначений високий рівень ґрунтових вод або глибоке залягання бурштину.

Незаконний видобуток бурштину здійснюється в основному двома способами: кар'єрним і гідромеханічним способом. Дані методи дещо схожі зі згаданими вище, проте відрізняються меншими розмірами кар'єрів, оскільки видобуток ведеться переважно ручним способом. Гідромеханічний спосіб видобутку полягає в розмиванні водою під великим тиском ґрунту до 10 метрів у глибину. Оскільки бурштин легший за воду, він спливає на поверхню та вилучається вручну. Дані методи видобутку бурштину жодним чином не дотримуються норм з охорони праці, охорони водного та лісового господарства та не контролюються законодавством України.

Такі методи видобутку також мають загрозливий характер для навколишнього середовища. В першу чергу екологічний. Знищення лісових та чагарникових насаджень; замулення лугових ділянок; осу-

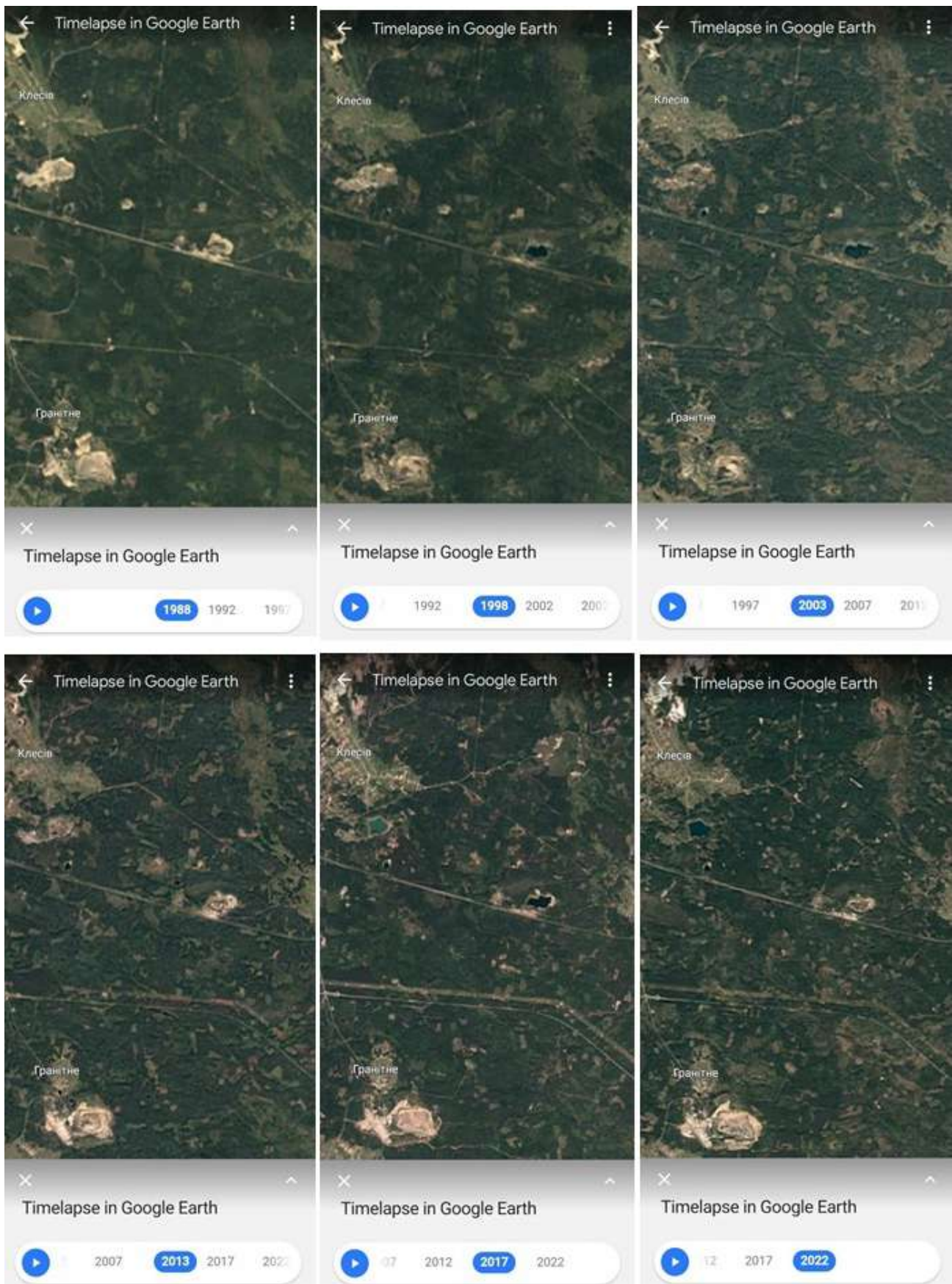


Рис. 2. Космознімки території Рівненської області 1988–2022 рр.

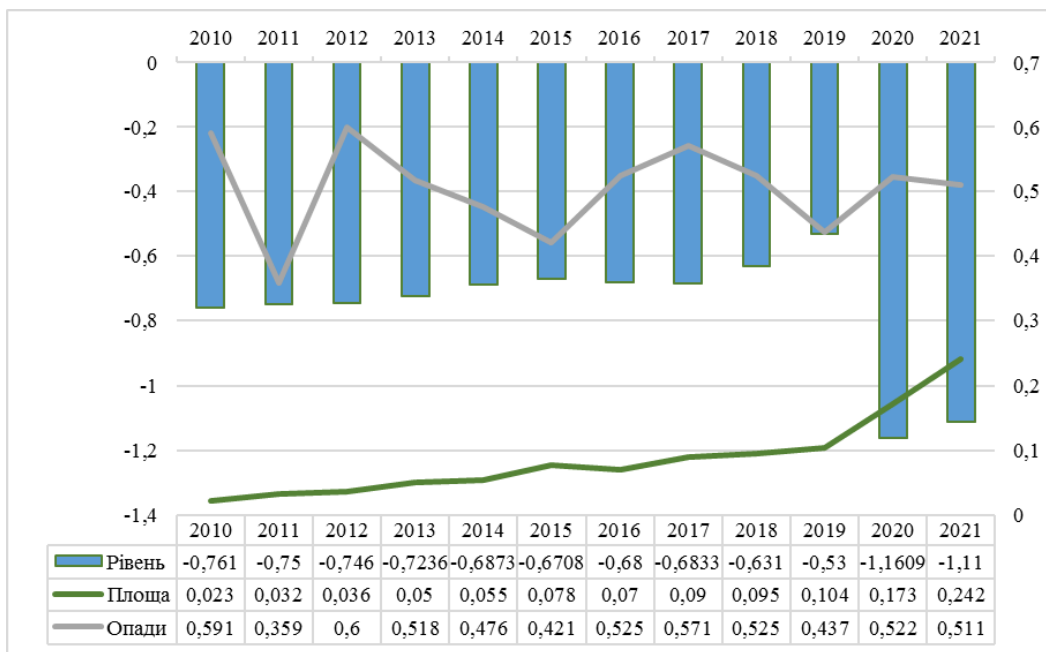


Рис. 3. Графік залежності рівня ґрунтових вод, опадів та площі видобутку бурштину

шення боліт та зміна рівня ґрунтових вод; активізація водної та вітрової ерозії; знищення трав'яного та родючого шару ґрунту; забруднення території механічними та немеханічними відходами призведе до катастрофічних наслідків, які в першу чергу відчужує сільське господарство. Велика частка розкопок проводиться на посівній території. Погіршиться рівень забрудненості повітря та ґрунтових вод, що своєю чергою тягне за собою важкі наслідки для населення вказаних областей [9].

На рис. 3 представлений графік залежності зміни рівня ґрунтових вод та збільшення площі видобутку бурштину. Дані спостереження проводились на свердловині № 25098567, де переважає порушений режим підземних вод. Графіки побудовано згідно з даними ДНВП «Геоінформ Україна» та даних з відкритих джерел моніторингу за погодними явищами. Оскільки в переважній більшості видобуток бурштину відбувається нелегально, встановити пряму залежність досить складно.

Проте, варто зауважити, що зі збільшенням площі видобутку змінюється і рівень ґрунтових вод. Це пов'язано в першу чергу із методами, про які згадувалось вище. Саме після використання мотопомп залишають величезні ями глибиною до 10 метрів, що впливають на зміни рівня ґрунтових вод.

**Висновки.** Проблема видобутку бурштину в Україні є досить комплексною та торкається багатьох сфер життя. Самовільне видобування бурштину

завдає збитків навколишньому середовищу, спричиняє порушення структури рельєфу, зміни екологічного стану ґрунтів та гідрологічного режиму, знищує лісові ресурси. Саме тому розв'язання даної проблеми також має бути комплексним. В першу чергу потрібно встановити контроль за видобутком бурштину в регіонах, де його найбільше та запровадити порядок проведення рекультивації земель, що найбільше постраждали, коштом штрафних виплат. Якщо не звернути увагу на цю проблему зараз, то в майбутньому дана проблема матиме не тільки екологічні, гідрогеологічні, а і соціальні та економічні наслідки.

Для ефективної роботи слід залучати фахівців, що можуть проводити моніторинг за станом земель, визначати об'єми рекультивації в реальному часі та фіксувати нові джерела видобутку бурштину за допомогою використання сучасних геоінформаційних систем, проводити дистанційне зондування Землі. Зокрема проводити оцінку масштабів незаконного видобутку та пропонувати варіанти природного відновлення лісового та рослинного покриву пошкодженої території, впроваджувати нові методи що зумовлять повернення до природного режиму ґрунтових вод.

Варто також розробити план заходів, що дозволить мінімізувати шкоду від нелегального видобутку бурштину до повного його припинення, включаючи й роботу з місцевим населенням. Адже саме людський фактор є одним із найбільш важливих.

**Література**

1. Черниш Р. Ф. Щодо окремих проблемних питань законотворчості у сфері легалізації видобутку корисних копалин (бурштину-сирцю). *Особливості нормотворчих процесів в умовах адаптації законодавства України до вимог Європейського союзу*: матеріали міжнар. наук.-практ. конф., 3–4 черв. 2016 р. Херсон : Гельветика, 2016. С. 124–127.

2. Легкий В. В., Ковалевський С. Б. Типологічне оцінювання лісових масивів Дубровицького лісництва, порушених унаслідок несанкціонованого видобутку бурштину. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018. № 28(8). С. 61–64.
3. Охорона та раціональне використання природних ресурсів і рекультивація земель: навч. посібник / П. П. Надточій, Т. М. Мислива, В. В. Морозов та ін. Житомир : Держ. агроєколог. ун-т, 2007. 420 с.
4. Надточій П. П., Мислива Т. М. Екологічні наслідки видобування бурштину на Житомирщині (практичний poradnik). Житомир: Вид-во ЖНАЕУ, 2015. 50 с.
5. Надточій П. П. Еколого-економічна оцінка впливу діяльності, пов'язаної з незаконним видобуванням бурштину на стан довкілля Житомирщини. *Вісник Житомирського національного агроєкологічного університету*. 2015. № 1(1). С. 28–50.
6. Філіпович, В. Є. Супутниковий моніторинг територій незаконного видобутку бурштину. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2015. № 6. С. 4–7.
7. Філіпович, В. Є. Оперативний контроль поширення нелегального видобутку бурштину та оцінка збитків, заподіяних державі, за матеріалами багатозональної космічної зйомки. *Екологічна безпека та природокористування*. 2015. № 4. С. 91–97.
8. Маланчук З.Р., Маланчук Є.З., Корніснко В.Я. Спеціальні технології видобутку корисних копалин : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2017. 266 с.
9. Тимочко, Т.В. Екологічні наслідки видобування бурштину та шляхи їхнього подолання. Інформаційні матеріали до засідання круглого столу: «Рекультивація територій, порушених внаслідок видобування бурштину», 4 вересня 2015 р. Рівне : Всеукраїнська екологічна ліга, 2015. № 9. С. 4–5.

---

# ЗМІНА КЛІМАТУ

---

УДК 551(3.053)(583.13):528.88

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.3-48.10>

## СПІВСТАВЛЕННЯ МЕТЕОКЛІМАТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ З АКТИВІЗАЦІЄЮ ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ У МЕЖАХ ІВАНО- ФРАНКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Касіянчук Д.В., Штогрин Л.В.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
вул. Карпатська, 15, 76019, м. Івано-Франківськ  
[dima\\_kasiyanchuk@ukr.net](mailto:dima_kasiyanchuk@ukr.net)

У статті вивчено основні метеокліматичні показники Івано-Франківської області, які впливають на розвиток та активізацію небезпечних екзогенних геологічних процесів. Проаналізовано просторове та часове поширення активізації зсувів. Виконано оцінку відхилення від норми температури повітря, атмосферного тиску, вологості та опадів за 1981–2020 роки. Проведено кореляційний, кроскореляційний аналіз. На їх основі представлений спектральний аналіз у вигляді періодик зміни кліматичних умов та їх взаємозв'язку з зсувною активністю. Для аналізу були обрані основні метеостанції, а саме: Івано-Франківськ, Коломия, Яремче, Пожижевська. Статистичну обробку проводили в програмах STATISTICA та MS Excel. За основу статистичного аналізу було взято 40-річний період з 1981 по 2020 рік. Просторова вибірка даних – температура повітря, атмосферний тиск, опади та вологість була виконана за допомогою даних дистанційного зондування Землі (QGIS). У результаті побудовано графічні моделі відхилення від середньорічної норми 1981–1990 рр. основних метеорологічних показників; виділено основні групи факторів, які тісно пов'язані між собою, а тому можуть бути використані для подальшого аналізу; на основі кореляційного та крос-кореляційного аналізу доведено необхідність включення до моделей прогнозу зсувів таких груп метеорологічних показників, як вологість та атмосферний тиск; як визначальний фактор зміни клімату можна запропонувати часову динаміку здатності атмосфери відбивати тепло – Альbedo, що узгоджується з існуючим основним часовим елементом прогнозу зсувів – числом Вольфа – 10–12 років. Формування комплексного підходу до аналізу метеорологічних показників, використання параметра відбивної здатності Альbedo створює нові передумови для вдосконалення методології прогнозу, а саме того, як глобальні зміни клімату можуть вплинути на розвиток та активізацію зсувів у межах Івано-Франківської області та Прикарпаття в цілому. *Ключові слова:* метеокліматичні показники, зсуви, статистичний аналіз, геоінформаційний аналіз.

### **Correlation of weather and climate indicators with the activation of landslide processes within the boundaries of the Ivano-Frankivsk region. Kasiyanchuk D., Shtohryn L.**

The article examines the main meteorological indicators that affect the development and activation of dangerous exogenous geological processes. In complex engineering and geological conditions, in areas of significant anthropogenic load, the reliability of the forecast of dangerous exogenous geological processes, such as landslides, is decisive for the assessment of risks from their negative effects. The main weather stations were selected for analysis, namely: Ivano-Frankivsk, Kolomyia, Yaremche, Pozhizhevska. Statistical analysis was performed in STATISTICA and MS Excel. The 40-year period from 1981 to 2020 was taken as the basis for the statistical analysis. Spatial sampling of data on air temperature, atmospheric pressure, precipitation, and humidity was performed using remote sensing of the earth (QGIS) data. As a result, graphic models of the deviation from the average annual norm of 1981–1990 of the main meteorological indicators were built; the main groups of factors are highlighted, which are closely related to each other, and therefore can be used for further analysis in time models; on the basis of correlation and cross-correlation analysis, it has been proven that such groups of meteorological indicators as humidity and atmospheric should be included in landslide forecast models; as a determining factor of climate change, it is possible to propose the time dynamics of the atmosphere's ability to reflect heat – Albedo, which is consistent with the existing main time element of landslide forecasting – the Wolff number – 10–12 years. The formation of a comprehensive approach to the analysis of meteorological indicators, the use of the Albedo reflectivity parameter, provides new prerequisites for improving the forecast methodology, namely how global climate changes can affect the development and activation of landslides within the borders of the Ivano-Frankivsk region and the Carpathian region as a whole. *Key words:* meteorological indicators, landslides, statistical analysis, geo-informational analysis.

Зростання середньострокової світової температури, фінансові та економічні збитки, загроза життю та здоров'ю людини від проявів небезпечних геологічних процесів змушує шукати нові способи упередження негативних наслідків. Важливим завданням, є не тільки дослідження часового циклу метеопараметрів, а й вивчення динаміки відхилення від норми того чи іншого

фактору. Усе це вимагає кращої деталізації досліджень змін клімату, особливо в регіонах, де геологічні умови сприяють цьому.

Беззаперечним фактом є зростання середньосвітової температури, як головного динамічного рушія зміни ландшафтів, особливо в зонах інтенсивного ведення господарської діяльності. Тому, важливим елементом якісного управління ймовірними нега-



тивними наслідками від активізації зсувів, є використання геоінформаційних систем.

**Актуальність дослідження.** Карпатський регіон є одним із найбільш складним з точки зору геології, клімату, гідрогеології частин України. Івано-Франківська область займає чи не основну роль у вивченні динаміки зсувних процесів, як одна із найбільш уражених (після Закарпатської) (рис. 1).

Досліджуючи зсувні процеси у вигляді просторово-часового прогнозу часто ігнорують вивчення динамічних змін головних метеокліматичних показників, залишаючи в аналізі кількість опадів і температуру повітря. Проте, такий підхід значно обмежує реальну зміну метеопараметрів, що можуть визначати циклічну складову часового прогнозу зсувонебезпеки.

У складних інженерно-геологічних умовах, районах значного антропогенного навантаження достовірність прогнозу небезпечних екзогенних геологічних процесів, як зсуви є визначальним про оцінці ризиків від їх негативної дії. Необхідність такого дослідження продиктовано значними руйнуваннями, які викликали зсуви в межах Івано-Франківської області, особливо в період їх попередньої активізації 2016–2018 рр. [1].

Виділення норми метеопоказників, розрахунок відхилення від їх середнього значення, дозволить оцінити загальну динаміку зміни клімату, як головного часового фактору при прогнозуванні зсувної активності.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботі [2, 3] автором зроблені висновки, що вибір

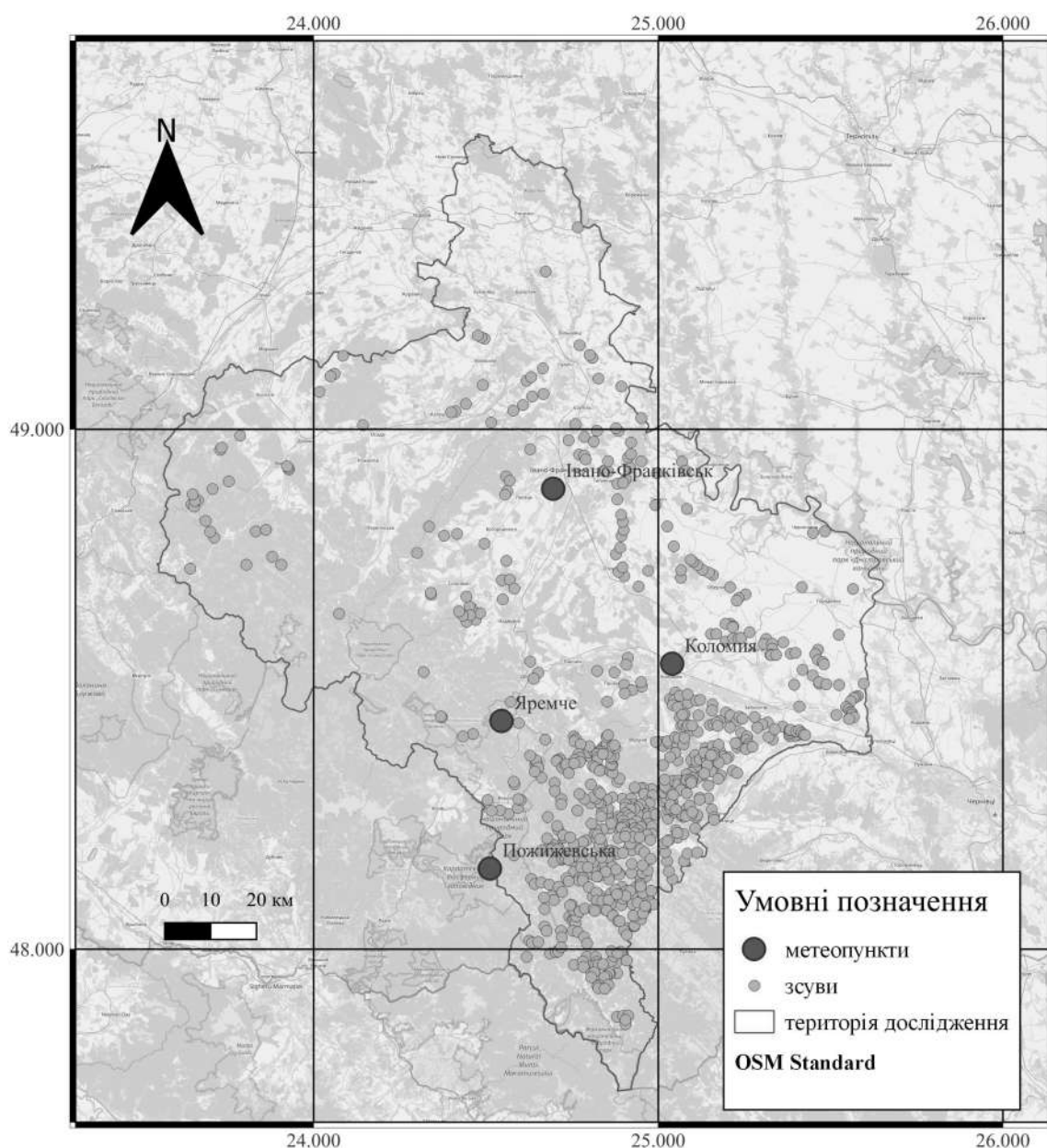


Рис. 1. Просторова ураженість зсувами у межах Івано-Франківської області

факторів для аналізу кліматичних показників не може обмежуватися самими значеннями температури; між температурою в межах Івано-Франківської області та середньосвітовою температурою є прямий зв'язок, а зміна середньорічної температури у межах області у 2,5 рази є вищою за світову; кореляційна матриця виділяє тісний прямий зв'язок між температурами у межах метеопункту та світовою, обернений між значенням температури та коефіцієнт відбивної здатності земної поверхні по всьому небу; усі характеристики температур є синфазними між собою та коефіцієнтом відбивної здатності; автокореляційні залежності групи Температура – Albedo можуть бути використані, як основа для моделі прогнозування температури та ЕГП.

Розглядаючи залежні від температури процеси, які потенційно мають відношення до стабільності схилів, зосереджуючись, зокрема, на глинистих схилах у помірних і теплих регіонах, автори [4] висловлюють гіпотезу, що температурні коливання та тенденції, викликані зміною клімату, можуть чинити, короткочасно чи довгостроково, гідромеханічний вплив на схили (змінюючи проникність, водоутримувальну здатність, щільність).

Авторами [5] зроблено висновок, що через зміну клімату схили, які можуть бути незначно стабільними за історичних та поточних подій з опадами, можуть не відповідати прогнозованим оцінкам опадів.

Система прогнозування зсувів у роботі [6] базується на використанні гідрологічної моделі Setemps у поєднанні з різними метеорологічними спостереженнями (мережа датчиків, метеорологічний радар або супутники) і прогнозами з моделей локальної території. Тоді небезпека зсувів надається на погодинній основі для всього регіону, а також для вибраних територій ризику.

Застосування розрахункових порогів опадів до щоденних майбутніх прогнозів опадів виявило збільшення в наступні десятиліття опадів, які можуть активізувати зсув, і, отже, підкреслило вплив зміни клімату [7].

Авторами [8] для обґрунтування методології просторово-часового аналізу використані дані щодо

активності зсувів, активності сонячних плям (число Вольфа), рівнів ґрунтових вод, середньорічної температури, сейсмічної активності (загальна енергія, що виділяється під час землетрусів), середньорічної кількості опадів у межах окремого інженерно-геологічного району.

**Матеріали та методи досліджень.** Тенденція зміни навколишнього середовища, активізація та розвиток небезпечних геологічних процесів, зростаюче антропогенне навантаження вимагає пошуку нових підходів до часового аналізу метеокліматичних умов. Розуміння того, що такі зміни є надто динамічними (рис. 2), що показано в роботі [1, 2].

Ураховуючи нерівномірність режимних спостережень, одним із найефективніших методів збору інформації є використання даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Базою для проведення статистичного аналізу часових рядів є дані (<https://data.giss.nasa.gov/>, <https://www.astro.oma.be/>, <https://power.larc.nasa.gov/>).

Методика досліджень [2]: 1) формування бази даних метеокліматичних показників; 2) визначення основних статистичних характеристик ряду та його нормування; 3) вибір статистичних параметрів розрахунку та побудова автокореляційних залежностей, як основи для прогнозу.

Зростання середніх показників температури для метеопункту Яремче складає 1.5 °С, для Пожижевської – 1.6 °С, Коломий – 1.4 °С, Івано-Франківська – 1.4 °С. Визначено, що більш негативно зміна клімату впливає на високогірні зони, – зони розміщення метеопунктів Пожижевська та Яремче [2].

**Статистичний аналіз та основні результати.** Одним із базових параметрів при вивченні часових динамічних змін клімату є поняття «норми» [2]. Ця статистична характеристика є середньорічним багаторічним значенням, яке узагальнює метеокліматичний параметр і може бути визначеном як точка відхилення для майбутніх розрахункових періодів.

Для аналізу обрано основні метеопункти, а саме: Івано-Франківськ, Коломия, Яремче, Пожижевська. Просторове розташування представлено на рис. 1. Статистичний аналіз виконаний у програмі STATISTICA та MS Excel.

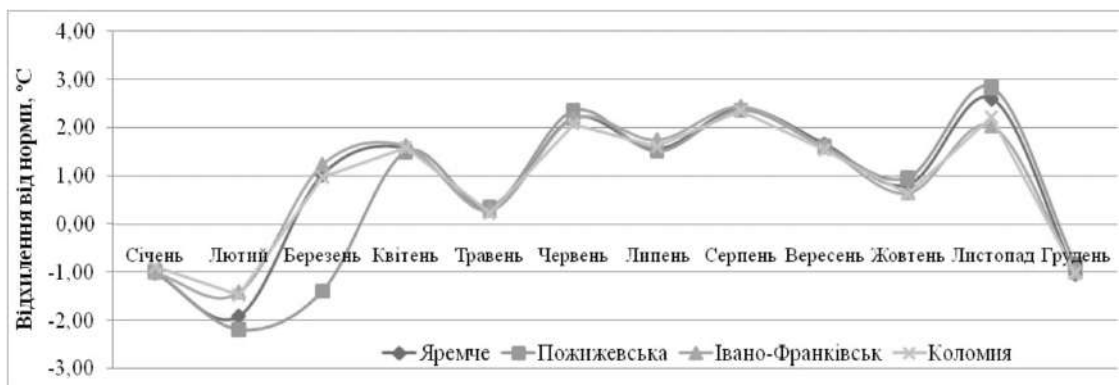


Рис. 2. Відхилення від норми середньомісячної температури

За основу, для статистичного аналізу, взято 40-річний період з 1981 по 2020 роки. З використанням даних ДЗЗ виконано просторову вибірку даних по температурі повітря, атмосферному тиску, опадів, вологості.

Дослідження норми метеопказників, є досить важливим, для загального розуміння, яким чином зміна одного параметру може викликати погіршення іншого. На рисунку 3 представлено графіки відхилення від норми метеоданих. Як онову від якої розраховане відхилення взята перша декада ряду.

У таблицях 1, 2 представлений комплексний аналіз, який демонструє зміну середньорічних значень показників метеопунктів Яремче, Пожижевська, Коломия, Івано-Франківськ. Важливим етапом дослідження є вивчення взаємозв'язку між факторами, що розглядаються.

Аналізуючи дані рисунку 3 слід відмітити стійку тенденцію до зростання середньорічної температури, особливо в 2011–2020 роках. Такі результати, абсолютно корелюють зі зростанням середньосвітової температури. Зміна клімату, головню через зростання середніх температур повітря, сприяє в подальшому незворотні зміни інших метеопказників.

Зокрема, чітко видно додатне відхилення від норми атмосферного тиску, що сприяє зменшенню кількості опадів. Простежується деяка закономірність, коли періоди великої активізації зсувів 1999–2001, 2016–2018 узгоджуються з даними опадів, атмосферного тиску, температури.

Як базовий фактор, що використовується при часовому прогнозі використані значення кількості сонячних плям (число Вольфа) [1], а також показника відбивної здатності земної поверхні (Albedo –

коефіцієнт відбивної здатності земної поверхні по всьому небу) [2].

На рисунку 4 представлений кроскореляційний аналіз між факторами Albedo та кількістю сонячних плям (число Вольфа).

Як видно з результату описової статистики (таблиця 1), значення вибірки чітко вписані в  $\pm 3\sigma$ -межі ( $3\text{Std.Dev}$ ), тобто абсолютна величина математичного очікування вибірки знаходиться в діапазоні потрошеного значення її середньоквадратичного відхилення, для нормально розподіленої вибірки. У даному випадку, розглядаються метеопказники, як природні процеси, що підпорядковані одно- або бімодальному нормальному закону розподілу при просторово-часовому аналізі зсувів [1].

Як відомо, кореляція Спірмена набагато краще оцінює наскільки добре можна описати відношення між двома змінними за допомогою монотонної функції. Кореляційна матриця, що представлена у таблиці 2, вказує на взаємозв'язок між обраними факторами. Температура повітря пов'язана із вологістю, вологість із опадами, атмосферний тиск в протифазі до опадів. Такі результати є абсолютно логічними, адже в першому випадку визначають рух антициклонів і циклонів, друга група суміжна за своїм змістом, третя характеризує зміну атмосферного тиску та ймовірності опадів.

Таким чином, можна говорити про формування трьох груп метеокліматичних показників, які найтісніше пов'язані між собою, а саме: температура – вологість; температура-вологість – опади; температура-вологість-опади – атмосферний тиск.

Автокореляційна функція між показниками Albedo та числом Вольфа, що представлена на рис. 4 демонструє чіткий зв'язок між ними. Спільні цикли

Таблиця 1

Описова статистика метеопказників (з виділенням меж достовірності вибірки)

Змінні	Описова статистика (Книга1)						
	Кількість значень	Середнє	Мін.	Макс.	Ст.відх.	Сер.- 3Ст. відх	Сер.+ 3Ст. відх
Вологість, г/кг	40	5,764	5,220	6,605	0,346	4,726	6,801
Температура, °C	40	6,650	4,928	8,320	0,881	4,006	9,293
Атмосферний тиск, кПа	40	94,270	94,066	94,373	0,059	94,092	94,448
Опади, мм/день	40	2,118	1,320	2,970	0,356	1,050	3,186

Таблиця 2

Кореляційний аналіз основних метеопказників (з виділенням значимих показників)

Змінні	Рангова кореляція Спірмена (Книга1) Відзначені кореляції значущі при $p < 0,05000$			
	Вологість, г/кг	Температура, °C	Атмосферний тиск, кПа	Опади, мм/день
Вологість, г/кг	1,00	0,51	-0,04	0,65
Температура, °C	0,51	1,00	0,06	0,01
Атмосферний тиск, кПа	-0,04	0,06	1,00	-0,24
Опади, мм/день	0,65	0,01	-0,24	1,00



Рис. 3. Середньорічні відхилення метеопказників від норми 1981–1990 рр.

для кожного параметру становлять 10–12 років, що власне узгоджується із періодами активізації зсувів у минулому.

Формування комплексного підходу до аналізу метеокліматичних показників, використання параметру відбивної здатності Albedo, дає нові передумови до удосконалення методики прогнозу, а саме яким чином глобальні зміни клімату можуть впливати на розви-

ток і активізації зсувів у межах Івано-Франківської області та Карпатського регіону в цілому.

**Висновки.** Виходячи із проведеного аналізу, можна підсумувати наступне:

– дістав подальшого розвитку аналіз основних метеокліматичних показників, які можуть бути використані при побудові просторово-часової моделі зсувної активності;

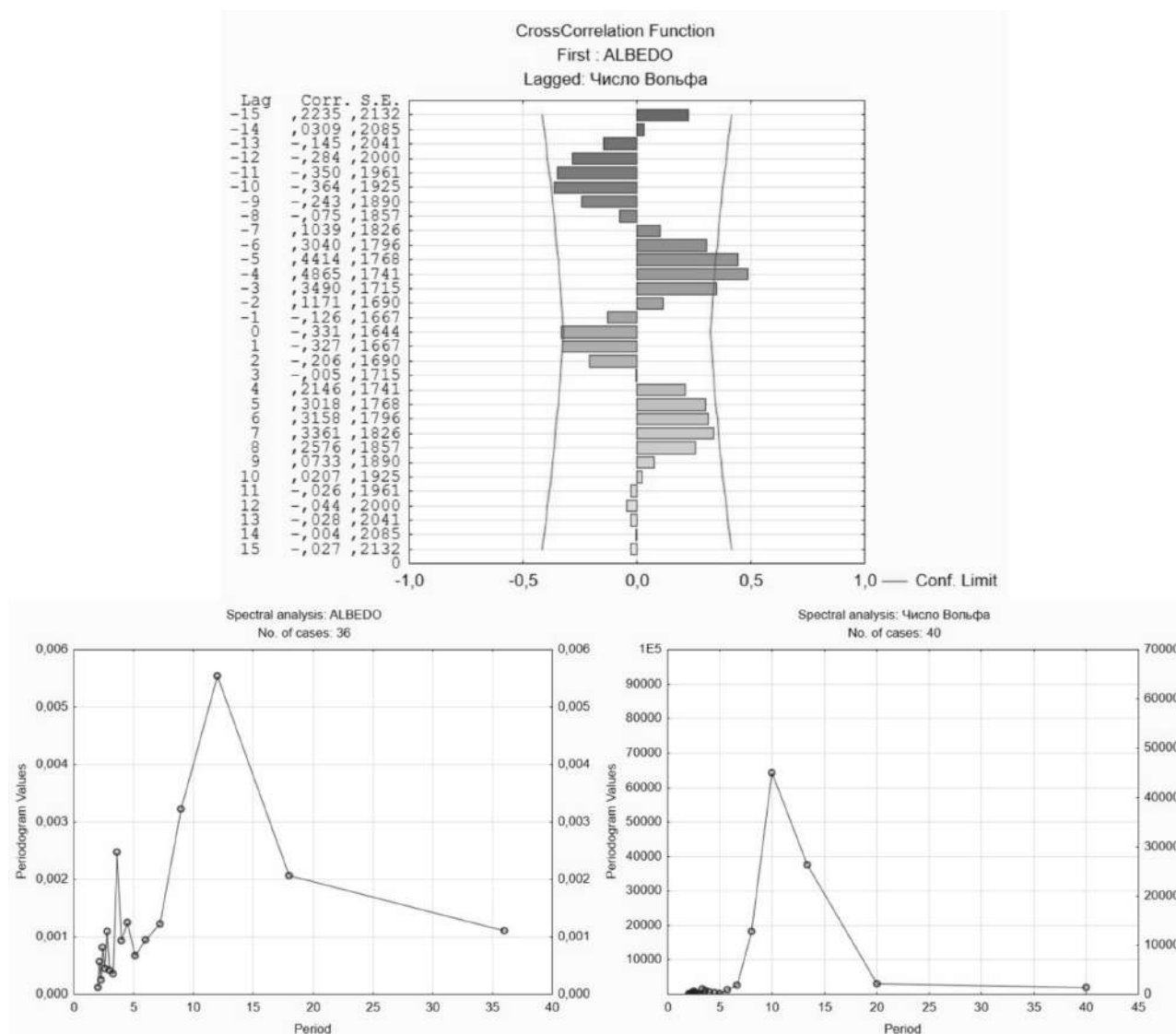


Рис. 4. Автокореляційний та спектральний аналіз

– виконано збір, систематизацію даних основних метеокліматичних показників, як температура, опади, атмосферний тиск, вологість за період з 1981 по 2020 роки;

– побудовано графічні моделі відхилення від середньорічної норми 1981–1990 років основних метеокліматичних показників;

– виділено основні групи факторів, які мають тісний взаємозв'язок між собою, а тому можуть бути використані для подальшого аналізу в часових моделях;

– на основі кореляційного та кроскореляційного аналізу доведено, що такі групи метеокліматичних показників як вологість, та атмосферний слід ввести в моделі прогнозу зсувів;

– як визначальним фактором змін клімату, можна запропонувати часову динаміку здатності атмосфери до відбивання тепла – Albedo, що узгоджується з існуючим головним часовим елементом прогнозування зсувів – числом Вольфа –10–12 років.

### Література

1. Кузьменко Е. Д., Білінов П. В., Вдовина О. П. та ін. Прогнозування зсувів: монографія /за ред. Е. Д. Кузьменка. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2016, 601 с.
2. Касіянчук Д. В. Вивчення часових змін клімату у межах Карпатського регіону та їх взаємозв'язок з глобальними коливаннями температур. Екологічні науки: науково-практичний журнал, 2022. № 3(42). С. 131–135. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.3-42.21>
3. Касіянчук Д.В., Тимків М.М. До питання вивчення взаємозв'язку між активізацією зсувів, рівнями поверхневих вод і кліматом на території Івано-Франківської області// «Екологічна безпека Карпатського Євросередині». Збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції (м. Ужгород, 13–15 травня 2020 р). УжНУ: «Говерла», 2020. С. 24.

4. Gianvito Scaringi, Marco Loche. A thermo-hydro-mechanical approach to soil slope stability under climate change. *Geomorphology*, 2022. Volume 401. 108108 p. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2022.108108>.
5. Dhanai P., Singh V.P. & Soni P. Rainfall Triggered Slope Instability Analysis with Changing Climate. *Indian Geotech*, 2022. J 52. P. 477–492. <https://doi.org/10.1007/s40098-021-00581-0>
6. Tomassetti B., Colaiuda V., Boscaino G., Tuccella P., Lidori R., Di Antonio L., Rossi F. L., Memmo A., Liberatore S., and Lombardi A: Hydro-geological risk prediction: the operational activity in Abruzzo Region for the rainfall-induced landslides forecasting., *17th Plinius Conference on Mediterranean Risks*, Frascati, Rome, Italy, 18–21 Oct 2022, Plinius17-61, <https://doi.org/10.5194/egusphere-plinius17-61>.
7. Nefros C., Tsagkas D.S., Kitsara G., Loupasakis C., Giannakopoulos C. Landslide Susceptibility Mapping under the Climate Change Impact in the Chania Regional Unit, West Crete, Greece. *Land*, 2023. 12, 154 p. <https://doi.org/10.3390/land12010154>
8. Shtohryn L., Kasiyanchuk D., Kuzmenko E. The problem of long-term prediction of landslide processes within the Transcarpatian inner depression of the Carpatian region of Ukraine. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, February 2020. Vol. 15. No. 1. P. 157–166. DOI: 10.26471/cjees/2020/015/118

## АГРОКЛІМАТИЧНА ОЦІНКА БІОКЛІМАТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ВІННИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ В УМОВАХ ЗМІН КЛІМАТУ

Кирнасівська Н.В.<sup>1</sup>, Шелестюк О.Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Одеський державний екологічний університет  
вул. Львівська, 15, 65016, м. Одеса

<sup>2</sup>Вінницькій обласний центр з гідрометеорології  
вул. Руданського, 14 / І. Богуна, 127, 21010, м. Вінниця  
[nkirnasivska@gmail.com](mailto:nkirnasivska@gmail.com), [olga.Shelestiuk@gmail.com](mailto:olga.Shelestiuk@gmail.com)

Оцінка біокліматичного потенціалу (БКП) в сучасних умовах ставить проблему моніторингу показника в одну із пріоритетних, так як в останні десятиліття спостерігаються помітні зміни клімату, як слідство, змінюються і агрокліматичні ресурси. Використовуючи модель розрахунку біологічної продуктивності земель Д.І. Шашко виконані розрахунки БКП у відносних величинах і балах для території Вінницької області базуючись на даних метеорологічних та агрометеорологічних станцій і постів. З метою прослідити динаміку змін біокліматичного потенціалу розрахунки проведені для різних часових періодів: I – 1966–1980; II – 1986–2005; III – 2006–2019 рр. Для другого періоду за методикою З.А. Міщенко та Н.В. Кирнасівської проведено уточнення значень БКП з урахуванням теплових ресурсів ґрунтів території. Проаналізовано величини різниць значень БКП за різні періоди, а саме показані відмінності між значеннями БКП за період сучасного потепління клімату (II) та значеннями БКП за даними Д. І. Шашко (I), а також – відмінності значень БКП між періодом останніх 13 років (III) та періодом, що йому передував (II). Встановлено, що біокліматичний потенціал території Вінницької області значно змінився протягом останніх десятиліть. Різниця між значеннями БКП за Д. І. Шашко та БКП, розрахованими для періоду сучасного потепління клімату (1986–2005 рр.), становить 2–3 бали, і її величина збільшується при просуванні з півдня на північ. Якщо розглядати період останніх 13 років (2006–2019 рр.) та період, що передував (1986–2005 рр.), то різниця між середніми значеннями БКП по шести раніше розглянутих станціях становитиме 8–10 балів. Це свідчить про те, що в останні роки спостерігається значне покращення умов вирощування сільськогосподарських культур. Потепління клімату внесло деякі зміни до характеру розподілу значень різниць БКП на території області: найбільш помітне підвищення значень БКП спостерігається у північних районах та центрально-західних. Введення поправки на температуру ґрунту призвело до помітного підвищення значень потенціалу. *Ключові слова:* біокліматичний потенціал, агрокліматичні ресурси, мікроклімат ґрунтів, зміна клімату.

**Agroclimatic assessment of the bioclimatic potential of the Vinnytsia region under conditions of climate change. Kyrnasivska N., Shelestiuk O.**

The assessment of bioclimatic potential (BCP) in modern conditions poses the indicator monitoring problem in one of the priorities, since in recent decades noticeable climate changes have been observed, as a result, agroclimatic resources are also changing. Using the model for calculating the biological productivity of lands D.I. Shashko made calculations of BCP in relative values and points for the territory of Vinnytsia region based on the data of meteorological and agrometeorological stations and posts. In order to monitor the dynamics of changes in the bioclimatic potential, calculations were made for different time periods: I – 1966–1980; II – 1986–2005; III – 2006–2019. For the second period according to the methodology of Z.A. Mishchenko and N.V. Kyrnasivska, the values of BCP were clarified taking into account the thermal resources of the soils of the territory. The values of the differences in BCP values for different periods were analyzed, namely the differences between the BCP values during the period of modern climate warming (II) and the BCP values according to the data of D. I. Shashko (I), as well as the differences in the BCP values between the period of the last 13 years (III) and the period preceding it (II). It was established that the bioclimatic potential of the territory of Vinnytsia region has changed significantly during the last decades. The difference between the BCP values according to D. I. Shashko and the BCP calculated for the period of modern climate warming (1986–2005) is 2–3 points, and its value increases when moving from south to north. If we consider the period of the last 13 years (2006–2019) and the preceding period (1986–2005), the difference between the BCP average values at the six previously considered stations will be 8–10 points. This indicates that in recent years there has been a significant improvement in the conditions for growing agricultural crops. Climate warming has made some changes to the nature of the BCP distribution differences in the territory of the region: the most noticeable increase in BCP values is observed in the northern and central-western regions. The introduction of correction for soil temperature led to a noticeable increase in potential values. *Key words:* bioclimatic potential, agroclimatic resources, soil microclimate, climate change.

**Постановка проблеми.** Кліматичні ресурси території можна характеризувати біокліматичним потенціалом (БКП). З БКП пов'язані можливий набір сільськогосподарських культур, біологічна продуктивність, ефективність затрат, територіальна спеціалізація, заходи по охороні та покращенню навколишнього середовища. Значна частина природ-

них ресурсів, у тому числі агрокліматичних, в даний час використовуються недостатньо. Це пов'язано, насамперед, з малою вивченістю клімату та місцевого клімату на регіональному рівні з точки зору використання його в сільському господарстві. Тому бонітування клімату, на території конкретної країни і навіть адміністративної області належить до ряду

актуальних питань, які пов'язані з оцінкою біологічної продуктивності природних ресурсів, особливо в сучасних умовах змін клімату.

**Актуальність дослідження.** Біокліматичний потенціал характеризується комплексом кліматичних факторів, які визначають можливу біологічну продуктивність земель для даної території. Повне бонітування клімату має декілька складових. По перше надається оцінка загального сільськогосподарського потенціалу природних умов за ресурсами клімату на основі загальних показників тепло- та вологозабезпеченості. Результати оцінки можуть бути надані як у вигляді сукупних балів бонітету за всіма видами ресурсів, так і за окремими бонітувальними показниками. На цьому етапі визначається ступінь забезпеченості сільськогосподарського виробництва різними видами агрокліматичних ресурсів в цілому. В практичному плані результати такої оцінки можуть мати інтерес при використанні землі в якості товару при ринкових відносинах, при розробці стратегії і тактики сільськогосподарської політики в тому чи іншому регіоні країни, заходи оптимізації умов середовища при оцінці необхідності агроекологічного обмовлення ведення сільського господарства в сучасних кліматичних умовах.

На далі надається оцінка сільськогосподарського потенціалу природного середовища за ресурсами клімату стосовно до окремих сільськогосподарських культур та їх груп, і система бонітувальних показників формується з урахуванням рослин до клімату. На цьому етапі виявляється ступінь забезпеченості агрокліматичними ресурсами росту, розвитку та формування врожаю конкретних сільськогосподарських культур, що в подальшому полегшує аграріям розуміння щодо вибору та розміщення видів і сортів культурних рослин за для отримання високих і стабільних врожаїв.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Тема даної роботи пов'язана одним із напрямків наукової школи кафедри агрометеорології та агроекології Одеського державного екологічного університету, та виконана в рамках спільної практичної роботи з Вінницьким обласним центром з гідрометеорології.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вчення про біокліматичний потенціал одержало значний розвиток в агрокліматичних дослідженнях наприкінці минулого сторіччя. Дослідники прагнули не тільки якісно, а і кількісно оцінити біологічну продуктивність земель на основі БКП. Ряд досліджень включає детальну оцінку біокліматичного потенціалу окремих регіонів, оцінку БКП за допомогою чисельних моделей продуктивності сільськогосподарських культур, а також оцінку сприятливості окремих агрокліматичних характеристик для зростання та розвитку рослин. З'явилися узагальнюючі роботи з урахуванням переоцінки БКП в умовах сучасного потепління клімату [1, 2, 3].

На території України фактично оцінкою біологічної продуктивності клімату займається наукова школа Міщенко З.А., кафедри агрометеорології та агроекології Одеського державного екологічного університету. Так, на початку 2000-их років Міщенко З.А. і Кирнасівською Н.В. проведено фундаментальне дослідження з регіональної оцінки біокліматичного потенціалу території України та побудовані комплексні карти БКП і його показників для умов природного та оптимального зволоження з виділенням макрорайонів за основним показником – *Бк*, який виражено у балах для умов відкритого рівного місця. Запропонована також методика мікрокліматичної оцінки БКП з урахуванням теплових ресурсів ґрунтів та неоднорідностей підстильної поверхні, яка отримала свій розвиток в подальших наукових роботах [4, 5, 6, 7]. Регіональний підхід до оцінки біологічної продуктивності клімату на прикладі України авторам дозволив суттєво деталізувати карто-схему розподілення БКП на території СНГ, яку склав Д.І. Шашко.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** За останнє десятиліття робіт по оцінці біокліматичного потенціалу територій не так вже й багато. При безсумнівній цінності виконаних раніше наукових досліджень є потреба їх подальшого розвитку, насамперед, в напрямку регіоналізації показників сільськогосподарського бонітету клімату в межах окремих країн, адміністративних областей. Крім того, необхідно удосконалення розглянутих фізико-статистичних моделей продуктивності клімату з тим, щоб крім загальної оцінки БКП можна було б виконувати оцінку вже з урахуванням мікрокліматичних особливостей тієї чи іншої території. В сукупності з тим, що спостерігається значне потепління клімату, стає також актуальним питання проведення нових розрахункових робіт з метою прогнозування змін БКП тієї чи іншої території в сучасних кліматичних умовах.

**Новизна.** Вперше для території адміністративної області, в даній роботі на прикладі Вінницької, виконано агрокліматичну оцінку мінливості біокліматичного потенціалу в сучасних умовах. Наведено порівняльний аналіз динаміки змін біокліматичного потенціалу для різних часових періодів: I – 1966–1980; II – 1986–2005; III – 2006–2019 рр.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Для порівняльної міжрегіональної оцінки земель необхідно встановити міру їх можливої біологічної продуктивності. В якості такої міри можуть служити відносні значення біокліматичного потенціалу, які синтезують вплив на біологічну продуктивність основних факторів клімату – тепла і вологи. Цей показник може бути прийнятий за міру біокліматичного потенціалу як у вузькому так і широкому сенсі, так як можливою біологічною продуктивністю земель за природно-кліматичними умовами визнача-



ються і зонально-адміністративні особливості сільськогосподарства. Тут і оцінка виробничих сил земель та ефективності затрат на основі біокліматичного потенціалу; оцінка ступеню використання біокліматичного потенціалу при різних рівнях сільськогосподарського виробництва; урахування прояву БКП у визначених природно-виробничих комплексах з характерною спеціалізацією, системами ведення сільськогосподарства та ін.

**Викладення основного матеріалу.** Розрахунки БКП проводилися за фізико-статистичною моделлю Д.І. Шашко та уточнювали за методикою З.А. Міщенко, Н.В. Кирнасівської [6] за даними метеорологічних та агрометеорологічних станцій і постів Вінницької області – Білопілья, Козятин, Уладовка-Нове, Хмільник, Липовець, Вінниця, Жмеринка, Гайсин, Немирів, Могилів-Подільський, Крижопіль [8].

Фізико-статистична модель розрахунку біокліматичного потенціалу базується на врахуванні ресурсів тепла і вологи в міжсезонних розрізах. Для порівняльної оцінки біокліматичної продуктивності великої території застосовується формула для визначення відносних значень біокліматичного потенціалу (БКП):

$$BKП = K_p \cdot \frac{\sum T_c > 10^0 C}{\sum T_{баз}^0 C}, \quad (1)$$

де  $\sum T_c > 10^0 C$  – сума середніх добових температур повітря за період активної вегетації в даному місці;  $^0 C$  – базисна сума температур повітря для порівняння з продуктивністю на межі можливого польового землеробства;  $K_p$  – коефіцієнт росту.

Для порівняльної оцінки (у балах) біологічної продуктивності ( $B_k$ ) відносно середньої для країни продуктивності застосовується формула:

$$B_k = K_p \cdot \frac{\sum T_c \cdot 100}{1900^0 C} = 55 \cdot BKП, \quad (2)$$

де  $1900^0 C$  – базисна сума середніх добових температур повітря для порівняння із середньою по країні продуктивністю клімату; 55 – коефіцієнт пропорційності, розрахований по співвідношенню базисних сум температур повітря  $1000^0 C$  та  $1900^0 C$  і виражений у відсотках.

Майже повсюдно на території України, в тому числі і у Вінницькій області, має місце велика строкатість ґрунтів, що розрізняються на малих площах за механічним складом, тепловими та водними ресурсами. В зв'язку з цим З.А. Міщенко, Н.В. Кирнасівською запропонована подальша регіоналізація розрахункової схеми оцінки БКП в межах обмежених територій (адміністративна область, невеликий район, окреме господарство) з урахуванням мікроклімату ґрунтів. Для отримання БКП і  $B_k$  на ґрунтах піщаних, супіщаних, важкосуглинистих і глинистих доцільно ввести в формулу (1) перехідні коефіцієнти ( $K_z$ ) у вигляді:

$$K_{nz} = \frac{\sum T_{nz}}{\sum T_{zc}}; \quad K_{cz} = \frac{\sum T_{cz}}{\sum T_{zc}}; \quad K_{вс} = \frac{\sum T_{вс}}{\sum T_{zc}}, \quad (3)$$

де  $\sum T_{zc}$  – сума температур ґрунту на глибині 10, 20 см за період з  $T_c$  вище  $10^0 C$  (середній суглинок, прийнятий за нормальне місцерозташування);  $\sum T_{nz}$ ,  $\sum T_{cz}$ ,  $\sum T_{вс}$  – ті ж суми температур відповідно для піщаних, супіщаних і важкосуглинистих ґрунтів.

На рис. 1 представлено розподіл по території області значення БКП та супутніх показників за методикою Д.І. Шашко, за середньобаторічними даними періоду 1966–1980 рр., які відповідають кліматичним умовам, типовим для третьої чверті ХХ століття. Значення БКП розраховані для умов

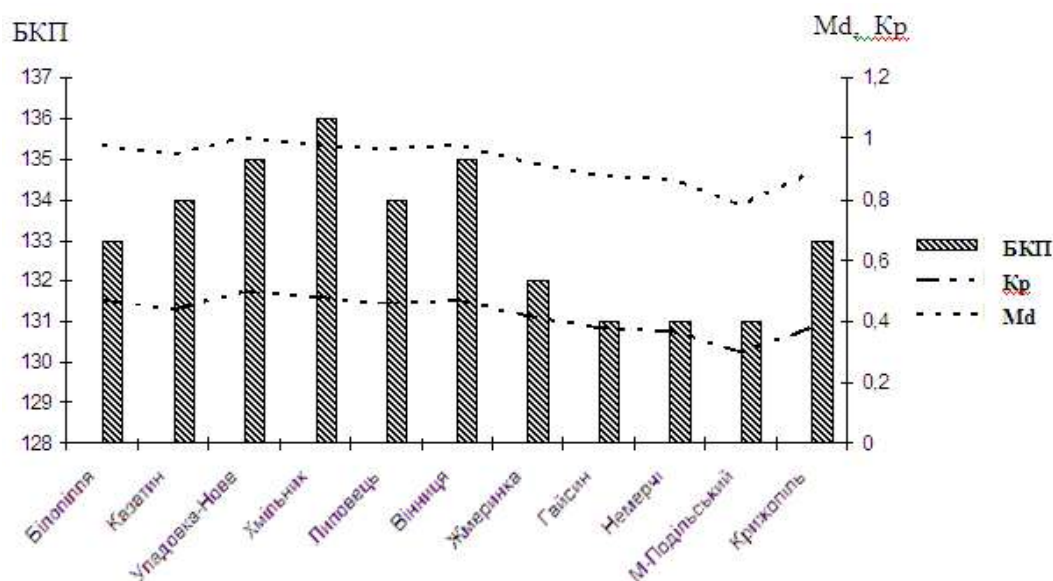


Рис. 1. Значення біокліматичного потенціалу ( $B_k$ , бали) та супутніх показників ( $Md$ ,  $K_p$ ) для території Вінницької області за період 1966–1980 рр.

відкритого рівного місця та в цілому дозволяють побачити загальні закономірності в зміні біокліматичного потенціалу в даному періоді.

В даному часовому періоді по області сума середньодобових температур повітря за теплий період складала 2465–3060 °С та в середньорічному випадку 545–626 мм опадів (рис. 2). Як слідство, показник зволоження складав 0,30–0,50 (зона зволоження – напівволога), а коефіцієнт росту 0,78–1,0. Біокліматичний потенціал при даному співвідношенні волого-теплових ресурсів досягав 131–136 балів, що відповідає підвищеній біологічній продуктивності клімату за шкалою Д.І. Шашко.

Результати оцінки біологічної продуктивності клімату за II період 1986–2005 рр. представлені у табл. 1 та на рис. 2. В даному часовому періоді по території області в середньобагаторічному спостерігається збільшення показників тепло та вологозабезпеченості в порівнянні з I періодом (рис. 2). Коефіцієнт зростання складає 0,89. Як слідство, *B<sub>к</sub>* на 3 бали вище в порівнянні з I періодом, що вказує на зростання продуктивності клімату. Деякі станції

відрізняються нехарактерними значеннями БКП. Так, на ст. Липовець середнє

значення *B<sub>к</sub>* на 9 балів більше середніх значень по області. Це пов'язано з тим, що тут річна кількість опадів на 14–74 мм вища, ніж на сусідніх станціях Хмільник та Вінниця. На ст. Могилів-Подільський, навпаки значення *B<sub>к</sub>* зменшилося на 8 балів. Низькі значення *B<sub>к</sub>* тут, порівняно зі станціями Гайсин та Жмеринка, пов'язані з нижчою кількістю опадів, а також підвищеним температурним режимом, тобто засушливістю. Коефіцієнт зволоження 0,31, найнижчий по території.

Якщо звернутися до карти агрокліматичного районування БКП для умов природного зволоження території України [6], то видно, що одержані бали *B<sub>к</sub>* відповідають, на більшій частині території області, підвищеній продуктивності клімату. Виключення складають території ст. Хмільник, де має місце помірно-висока продуктивність клімату, та ст. Могилів-Подільський – середня продуктивність клімату.

Для уточнення біологічної продуктивності клімату у другому періоді за рахунок теплових ресурсів

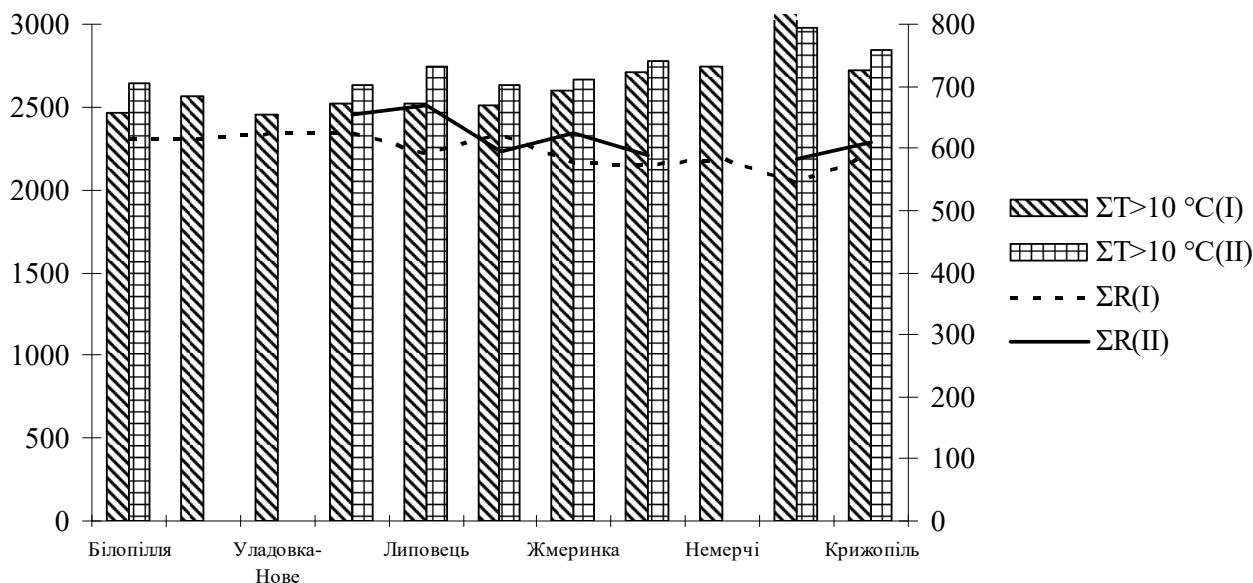


Рис. 2. Порівняльна діаграма сум позитивних температур повітря вище 10 °C та річних сум опадів за періоди: I – 1966–1980 рр.; II – 1986–2005 рр.

Примітка: ст. Білопілья; ст. Казатин; ст. Уладовка-Нове; ст. Хмільник; ст. Липовець; ст. Вінниця; ст. Жмеринка; ст. Гайсин; ст. Немерчі; ст. Могилів-Подільський; ст. Крижопіль

Таблиця 1

Оцінка біокліматичного потенціалу території Вінницької області за період 1986–2005 рр.

Станція	ΣT <sub>акт.</sub> , °C	ΣR, мм	Σd, мм	Md	K <sub>p</sub>	БКП	B <sub>к</sub> , бали	B <sub>к(оп)</sub>
Білопілья	2646	590	1441	0,41	0,91	2,42	133	83
Хмільник	2634	654	1413	0,46	0,96	2,53	139	86
Липовець	2740	668	1478	0,45	0,95	2,61	144	86
Вінниця	2636	594	1480	0,40	0,9	2,38	134	83
Жмеринка	2669	624	1513	0,41	0,91	2,44	132	83
Гайсин	2782	588	1613	0,36	0,86	2,39	129	82
М.-Подільський	2974	584	1881	0,31	0,79	2,35	134	79

грунтів, для початку нами виконано кількісну оцінку мікрокліматичної мінливості теплових ресурсів ґрунту на глибині 10 см з урахуванням різного механічного складу. Для цієї мети за формулою

$$\Delta T_{2m} = (\Sigma T_{2m} - \Sigma \bar{T}_2), \quad (4)$$

де  $\Sigma T_{2m}$  – сума температур ґрунту різного механічного складу;  $\Sigma \bar{T}_2$  – фонові суми температур ґрунту вище 10 °С на глибині 10 см для середньосуглинстого ґрунту, яка знаходилася шляхом визначення відхилення сум температур середньосуглинстого ґрунту ( $\Sigma T_2$ ), знятих з ізоліній на карті, виконаній Міщенко З.А. та Кирнасівською Н.В. для території України, від сум температур ґрунту різного механічного складу ( $\Sigma T_{2m}$ ).

У більшості районів Вінницької області переважають середньосуглинні ґрунти, виняток становить район ст. Могилів-Подільський, де переважають легкоглиністі ґрунти (табл. 2). Встановлено, що в області ґрунти середньосуглинні, з урахуванням місцевих умов та періоду дослідження, тепліші на 112–221 °С в порівнянні з фоновими значеннями сум температур ґрунту на глибині 10 см, які виділені ізолініями на карті [6]. Легкоглиністі ґрунти, що мають місце в південних та південно-західних районах області виявилися теплішими на 505 °С в порівнянні з фоновими значеннями.

Отже, для перерахунку  $B_k$  на ґрунти різного механічного складу, ми запровадили перехідний коефіцієнт  $K_z$  (формула 3), який по території області становить для середньосуглинних ґрунтів 1,0–1,08. На легкосуглинних ґрунтах збільшується до 1,17.

На основі загальної агрокліматичної оцінки зміни  $B_k$  за природного зволоження, а також за отриманими даними щодо мікрокліматичної мінливості теплових ресурсів ґрунтів різного механічного складу, нами уточнено біокліматичний потенціал II -го періоду. Отримані результати надано на рис. 3. Як видно з рис. 3 при введенні поправки на температуру ґрунтів загальні закономірності розподілу величини  $B_k$  зберігаються, а самі значення біокліматичного потенціалу підвищуються. Єдиним винятком є ст. Жмеринка, де спостерігається незмінна величина біологічної продуктивності клімату з урахуванням мікроклімату ґрунтів.

Ймовірно, причина цього у фізичних властивостях ґрунтів, які повністю відповідають середньому суглинку та не піддаються впливу місцевому рельєфу. Різке зростання  $B_{kT}$  на станції Могилів-Подільський пов'язане з тим, що в даному районі переважають мочаристі легкоглиністі ґрунти, що призводить до отеплюючого ефекту. Різниця значна та складає 18 балів.

Третій період охоплює сучасні дані останніх 13 років (2006–2013). Розрахунки  $B_k$  базуються

Таблиця 2

Відхилення сум температур ґрунту вище 10 °С на глибині 10 см ( $\Delta \Sigma T_2$ ) від фонових  $\Sigma \bar{T}_2$  і коефіцієнт  $K_z$

№	Станція	Тип ґрунту	$\Sigma T_{2m}, ^\circ\text{C}$	$\Delta \Sigma T_{2m}$	$\Delta \Sigma T_2$	$K_z$
1	Білопілля	сс	2780	2979	199	1,07
2	Хмільник	сс	2780	3001	221	1,08
3	Вінниця	сс	2860	2972	112	1,04
4	Жмеринка	сс	2900	2909	9	1,00
5	Гайсин	сс	3020	3202	182	1,06
6	М.-Подільський	лгл	3050	3555	505	1,17

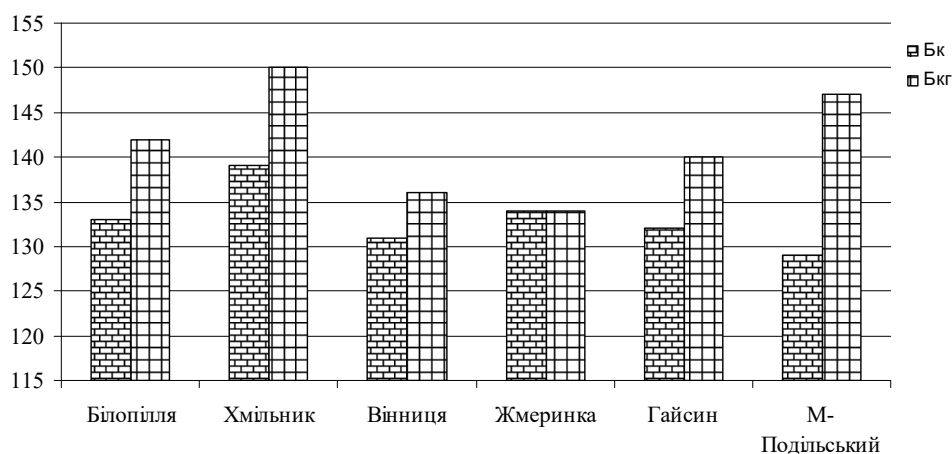


Рис. 3. Значення біокліматичного потенціалу для умов відкритого рівного місяця ( $B_k$ , бали) та з урахуванням мікроклімату ґрунтів ( $B_{kT}$ , бали) на території Вінницької області

на щорічних даних ТСГ-1 і охоплюють 6 станцій Вінницької області (ст. Білопілля, Хмільник, Вінниця, Жмеринка, Гайсин, Могилів-Подільський). Осереднені значення показників біологічної продуктивності клімату за цей період наведені в табл. 3.

Чітко видно зменшення коефіцієнту зволоження в порівнянні з II періодом на 0,06-0,07. Сума активних температур за теплий період в середньообагаченому коливається від 2976 до 3355 °С і є вищою ніж в попередньому періоді. В даних умовах тепло-вологозабезпеченості відносний показник біологічної продуктивності дорівнює 2,43–2,59, що відповідає 134–143 балам, що на 3–10 балів більше в порівнянні з II періодом. В сучасних умовах формується помірно-висока та підвищена біологічна продуктивність клімату.

На рис. 4 показані відмінності між значеннями БКП за період сучасного потепління клімату (II) та значеннями БКП за даними Д.І. Шашко (I), а також – відмінності значень БКП між періодом останніх 13 років (III) та періодом, що йому передував (II).

**Головні висновки.** Отримані результати наочно свідчать, що біокліматичний потенціал території Вінницької області значно змінився протягом останніх десятиліть. Різниця між значеннями  $B_k$  за Д.І. Шашко та  $B_k$ , розрахованими для період сучасного потепління клімату (1986–2005 рр.), становить 2–3 бали, і її величина збільшується при просуванні з півдня на північ. Якщо розглядати період останніх 13 років (2006–2019 рр.) та період, що передував (1986–2005 рр.), то різниця між середніми значен-

Таблиця 3

**Агрокліматична оцінка біокліматичного потенціалу при природному зволоженні на території Вінницької області за період 2006–2013 рр.**

Роки	$\Sigma R$	$\Sigma d$	Коефіцієнт зволоження		$\Sigma T_{\text{акт.}}$	БКП	$B_k$ , бали
			$M_d$	$K_p$			
<b>ст. Білопілля</b>							
середнє	577	1568	0,37	0,85	3028	2,58	142
<b>ст. Хмільник</b>							
середнє	596	1511	0,40	0,89	2976	2,58	142
<b>ст. Вінниця</b>							
середнє	540	1645	0,33	0,81	3002	2,43	134
<b>ст. Жмеринка</b>							
середнє	595	1639	0,37	0,85	3042	2,58	142
<b>ст. Гайсин</b>							
середнє	582	1729	0,34	0,82	3168	2,59	143
<b>ст. Могилів-Подільський</b>							
середнє	566	1940	0,30	0,68	3355	2,52	139

$B_k$ , бали

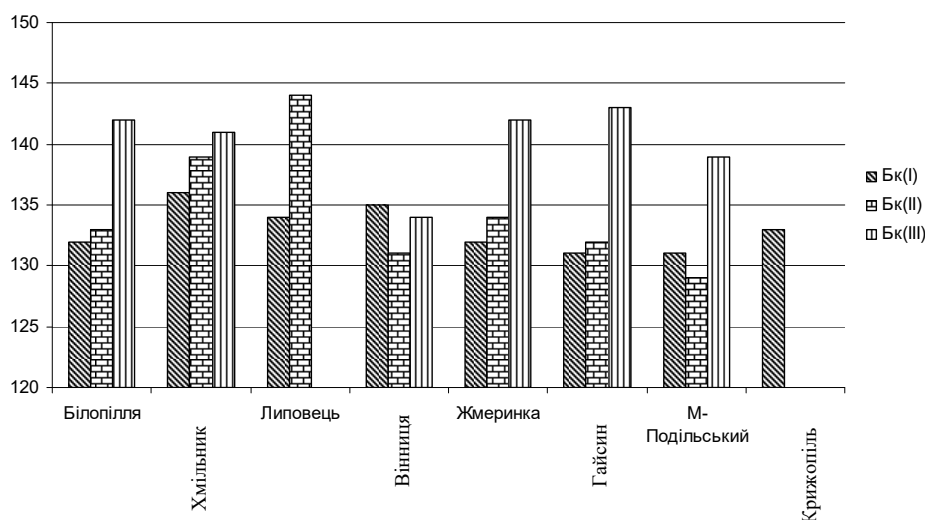


Рис. 4. Порівняльна оцінка значень біокліматичного потенціалу ( $B_k$ , бали) для території Вінницької області за періоди: I – 1966–1980 рр.; II – 1986–2005 рр.; III – 2006–2019 рр.

нями *B<sub>k</sub>* по шести розглянутих станціях становитиме 8–10 балів. Це свідчить про те, що в останні роки спостерігається значне покращення умов вирощування сільськогосподарських культур. Потепління клімату внесло деякі зміни до характеру розподілу значень різниць *B<sub>k</sub>* на території області: найбільш помітне підвищення значень *B<sub>k</sub>* спостерігається у північних районах та центрально-західних.

Мінімальні значення *B<sub>k</sub>* за розглянуті періоди були характерними для ст. Могилів-Подільський, найбільші – для ст. Хмільник. Цікаво, що після введення поправок на температуру ґрунту на глибині, максимумами та мінімумами відзначаються на різних станціях. Так мінімальне значення *B<sub>k</sub>* на ст. Могилів-Подільський збільшується до 147 балів, та переви-

щує значення показника для станцій в центральній частині області та зберігається закономірність найвищого показника *B<sub>k</sub>* для ст. Хмільник.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Зміни клімату, які спостерігаються в останні десятиріччя ставлять проблему моніторингу біокліматичного потенціалу в одну із пріоритетних. Отримані результати можуть бути використані при обґрунтуванні розробки заходів для забезпечення стійкого і перспективного розвитку сільського господарства в районі дослідження, а також для кількісної оцінки ступеню ефективності використання біокліматичного потенціалу території Вінницької області основними сільськогосподарськими культурами в сучасних умовах.

### Література

1. Climate change 2007: the physical science basis / ed.: S. Solomon [et al.]. New York. Cambridge: Cambridge Univ. Press. 2007. 996 p.
2. Kazandjiev V., Moteva M., Georgiev V. Climate change, agroclimatic resources and agroclimatic zoning of agriculture in Bulgaria. *Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*. Vol. 113, No. 1–2. January–June 2009. pp. 23–37.
3. Zmudzka E., 2004. The climatic background of agricultural production in Poland (1951–2000). *Miscellanea Geographica*, Warszawa. 2004. vol. 11. pp. 127–137.
4. Кирнасівська Н.В. Порівняльна агрокліматична оцінка біокліматичного потенціалу території Київської та Запорізької областей з урахуванням мікроклімату. *Український гідрометеорологічний журнал*. Вип. 3. 2008. С. 117–124.
5. Кирнасівська Н.В. Агрокліматична оцінка загальної біологічної продуктивності клімату на території центральної України для вирощування кукурудзи. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. Вип. 7. 2009. С. 120–133.
6. Міщенко З.А., Кирнасівська Н.В. Агрокліматичні ресурси України і урожай: монографія. Одеса: Екологія, 2011. 296 с.
7. Кирнасівська Н.В. Агрокліматична оцінка та районування біокліматичного потенціалу території Одеської області. *Наукові праці українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту*. Вип. 269. 2016. С. 158–166.
8. Агрокліматичний довідник по Вінницькій області: (1986–2005 рр.). / Під ред. М.М. Кошавки, Т.І. Адаменко. Вінниця: Астропринт, 2010. С. 209.

УДК 551.582.1:551.583.1

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.3-48.12>

## ОСОБЛИВОСТІ ПОГОДНИХ УМОВ В ЦЕНТРАЛЬНОМУ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ ВПРОДОВЖ 2019–2022 РОКІВ

Пикало С.В., Демидов О.А., Юрченко Т.В., Харченко М.В.  
Миронівський інститут пшениці імені В.М. Ремесла  
Національної академії аграрних наук України  
вул. Центральна, 68, 08853, с. Центральне  
pykserg@ukr.net

Важливим завданням сьогодення є забезпечення продовольчої безпеки країни. Зважаючи на це, одним з пріоритетних напрямків сільськогосподарського виробництва є стабілізація виробництва високоякісного продовольчого зерна. Зміни клімату – надзвичайно актуальна проблема як для аграрної науки, так і для сільськогосподарського виробництва України в цілому. Формування продуктивності озимих зернових культур значною мірою залежить від погодних умов, що складаються упродовж періоду їх вегетації. Проведений аналіз погодних умов за 2019/20–2021/22 вегетаційні роки свідчить про значні зміни гідротермічного режиму центральної частини Лісостепу України за цей період. Встановлено, що умови 2019/20 і 2021/22 років характеризувалися недостатньою кількістю опадів (відповідно 63,6 та 79,4 % від середнього багаторічного показника), та підвищеними на 0,4–1,6 °C температурами повітря. За рівнем гідротермічного коефіцієнту умови вирощування відносилися до середньопосушливих (2019/20 р.), слабопосушливих (2021/22 р.) та достатньо зволжених (2020/21 р.). Метеорологічні умови років досліджень значно відрізнялись за температурним режимом та вологозабезпеченістю як в цілому за вегетаційний період, так і за окремими фазами розвитку рослин озимих культур. Загалом, динаміка параметрів метеорологічних умов на рівні середніх багаторічних значень за роки досліджень для центральної частини Лісостепу України відповідає біологічному оптимуму озимих зернових культур. Разом з тим, недостатня та надмірна кількість опадів є ризикованим чинником для отримання високої врожайності та показників якості зерна озимини. Представлені дослідження можуть бути використані при інтерпретації результатів польових та селекційних експериментів, що дозволить рекомендувати вирощування високопродуктивних сортів озимих зернових культур для зони центрального Лісостепу України. Урахування особливостей погодних умов даного регіону дасть можливість отримати достовірні дані щодо їх відповідності вимогам вирощування озимих зернових культур, рівня їх практичності для реалізації потенційних можливостей та ідентифікувати сорти з високою екологічною пластичністю, які здатні меншою мірою реагувати на коливання умов зовнішнього середовища. *Ключові слова:* погодні умови, температура, кількість опадів, озимі зернові культури, вегетаційний рік.

**Peculiarities of weather conditions in the Central Forest-Steppe of Ukraine during 2019–2022. Pykalo S., Demydov O., Yurchenko T., Kharchenko M.**

An important task of today's day is to ensure the country's food security. Due to this, one of the priority areas of agricultural production is the stabilization of the production of high-quality food grain. Climate change is an extremely urgent problem both for agricultural science and for agricultural production in Ukraine as a whole. Formation of the productivity of winter grain crops largely depends on the weather conditions that occur during their growing season. The analysis of weather conditions for the 2019/20–2021/22 vegetation years indicates significant changes in the hydrothermal regime of the central part of the Forest-Steppe of Ukraine during this period. It was established that the terms of 2019/20 and 2021/22 were characterized by an insufficient amount of precipitation (respectively, 63.6 and 79.4 % of the long-term average) and air temperatures increased by 0.4–1.6 °C. According to the level of the hydrothermal coefficient, the growing conditions were classified as moderately arid (2019/20), slightly arid (2021/22), and moderately humid (2020/21). The meteorological conditions of the research years differed significantly in terms of temperature regime and moisture availability both in general during the growing season and in individual phases of plant development of winter crops. In general, the dynamics of meteorological parameters at the level of average long-term values for the years of research for the central part of the Forest-Steppe of Ukraine corresponds to the biological optimum of winter grain crops. At the same time, excessive and insufficient precipitation is a risk factor for obtaining high yield and grain quality indicators of winter crop. The presented studies can be used in interpreting the results of field and breeding experiments, which will make it possible to recommend the cultivation of highly productive varieties of winter crops for the zone of Central Forest-Steppe of Ukraine. Accounting for the peculiarities of weather conditions of this region will allow to obtain reliable data on their compliance with the requirements for the cultivation of winter grain crops, the level of their practicality for the realization of potential opportunities, and to identify varieties with high ecological plasticity, capable of reacting to fluctuations in environmental conditions to a lesser extent. *Key words:* weather conditions, temperature, amount of precipitation, winter cereals, growing season.

**Постановка проблеми.** Сільське господарство нині є найбільш вразливою галуззю економіки України до коливань та змін клімату [1]. Сучасні сорти зернових колосових культур володіють високим потенціалом продуктивності, реалізація якого значною мірою залежить від умов вирощування [2; 3]. Зокрема, основним лімітуючим чинником є погодні умови року – його частка у формуванні

продуктивності складає 82 % [4]. Клімат останніх років характеризується стрімкими змінами погодних умов із значними коливаннями кількості опадів та температури [5]. У роботах Польового А.М., Дмитренко В.П., Адаменко Т.І., Кульбіди М.І., Балабух В.О. [6–8] встановлено істотне підвищення температури повітря, збільшення тривалості та теплозабезпеченості вегетативного періоду, пред-

ставлено оцінювання зміни агрокліматичних умов росту, розвитку й формування урожайності сільськогосподарських культур та їх особливості у різних ґрунтово-кліматичних зонах України. За оцінками міжнародних експертів, 65–70 % втрат, пов'язаних із несприятливими погодними і кліматичними умовами, припадає власне на сільське господарство [9].

Ступінь і характер змін клімату і погодних умов може суттєво впливати на продуктивність озимих зернових культур, оскільки мінливість погоди зумовлює значні (до 40–60 %) коливання урожайності [10]. Найнебезпечнішими явищами є посухи в осінній, весняний періоди, а взимку – комплекс несприятливих чинників, що можуть викликати часткову, а інколи й повну загибель посівів [9]. Відмічено тенденцію підвищення середньодобової температури повітря впродовж вегетації озимих культур та недостатню кількість опадів у передпосівний період [11]. Наслідки дії таких негативних чинників здатні проявлятися до середини весняного, або ж навіть початку літнього періодів [9]. За численними гідрометеорологічними ознаками і показниками, вітчизняні фахівці-кліматологи прийшли до висновку, що в Україні за останні 10–25 років сформувався новий клімат [3; 12].

Враховуючи інерційний характер сільського господарства та залежність його ефективності від погодних умов, уже зараз необхідне прийняття своєчасних та адекватних рішень щодо складних проблем, обумовлених змінами клімату [1]. У зв'язку з очікуваним підвищенням температури повітря, продовольча безпека України значною мірою залежатиме від ефективності адаптації сільського господарства до майбутніх змін клімату. Вищезгадані зміни основних агрокліматичних характеристик ставлять задачу перед селекціонерами щодо створення сортів, які б відповідали новим екологічним вимогам. На сьогоднішньому етапі необхідно вести селекцію за створенням сортів, які поєднують в одному генотипі високий рівень урожайності зі стійкістю до несприятливих чинників довкілля, пристосованих до конкретних агроекологічних умов [5; 13].

Температура повітря та атмосферні опади є одними з основних природних ресурсів, що значною мірою впливають на ріст і розвиток рослин [14]. Найважливіший фактор для одержання високого врожаю пшениці озимої та інших культур в Україні з її природною обмеженою кількістю опадів – це достатнє зволоження ґрунту [15]. Дефіцит ґрунтової вологи у вегетаційний період – головний чинник, що зменшує врожайність. Мінливість погодних умов року має значний вплив на виробництво рослинної сільськогосподарської продукції, що залежить від забезпечення вологою і теплом, тобто від кількості дощів, періодів їх випадання та температури повітря [16].

**Метою роботи** було проаналізувати погодні умови вегетаційних періодів озимих зернових куль-

тур для умов центрального Лісостепу України впродовж 2019–2022 років.

**Виклад основного матеріалу.** Аналіз гідротермічних умов за 2019/20–2021/22 рр. проводили, порівнюючи до середньобагаторічного показника (середнє значення місячної суми опадів та середньодобової температури за 1992/93–2021/22 рр.). З цією метою використали показники агрометеорологічної станції Миронівка, що розташована неподалік Миронівського інституту пшениці імені В.М. Ремесла. Гідротермічні умови 2019/20–2021/22 рр. суттєво варіювали як за температурним режимом, так і за кількістю опадів у вегетаційні періоди росту й розвитку озимих зернових культур порівняно до середніх значень умов цих періодів за попередні роки.

**Погодні умови вегетаційного періоду озимих зернових культур у 2019/20 р.** Сівба пшениці озимої проводилась за досить посушливих умов. Так, сума опадів за вересень становила 12,0 мм, що на 44,6 мм менше за середній багаторічний показник (табл. 1). Нестача опадів у жовтні та листопаді становила 33,3 мм та 22,8 мм.

У 2019 р. температура повітря за період вересень та жовтень перевищувала середні багаторічні значення на 1,3 та 2,3 °С. Температурний максимум (34,6 °С) спостерігався у вересні.

Перше припинення вегетації рослин озимини в 2019 р. було відмічено 21 листопада за середньодобової температури повітря -0,8 °С з наступним різким її зниженням: -6,8 °С (22.12); -6,5 °С (23.12) (рис. 1). 15 грудня за чергової зміни погодних умов відбулось відновлення вегетації озимих культур, а 26 грудня – остаточне припинення, що на 50 діб пізніше, ніж у 2018 році (6 листопада). Середньодобовий перехід через 0 °С у бік зниження відбувся 21 листопада та 26 грудня.

Абсолютний мінімум температури повітря був відмічений 8 січня (-5,7 °С) та 8 лютого (-9,6 °С) 2020 р. Температура на глибині залягання вузла кушніння становила -2,0 °С. Зимовий період 2019/2020 р. за температурним режимом був досить м'яким. Але різкі перепади температури повітря не дали можливість рослинам озимини пройти необхідні для перезимівлі фази загартування та накопичити у вузлах кушніння достатню кількість цукрів. Її величина була на рівні 20 % і нижче, що є недостатнім для протидії негативним факторам зимівлі. Окрім того, впродовж зими випадало мало снігу, який за плюсових температур майже відразу танув – максимальна висота снігового покриву ледь сягала 5 см. Усі вище перелічені чинники призвели до повної або часткової загибелі рослин озимини. Проте такі погодні умови створили природний фон для добору форм озимих зернових з високою адаптивною здатністю.

2 березня 2020 р. було відмічено відновлення весняної вегетації озимини. У травні середня температура повітря була на 2,9 °С нижче за середній багаторічний показник, а в червні перевищувала його на

Таблиця 1

## Середньомісячні показники температури повітря та кількості опадів за 2019/2020 р.

Місяць	Температура повітря, °С			Кількість опадів, мм			ГТК
	фактична	середньо-багаторічна	± до середньо-багаторічної	фактична	середньо-багаторічна	± до середньо-багаторічної	
Серпень	20,4	20,4	0	9,7	53,9	-44,2	0,15
Вересень	15,8	14,5	+1,3	12,0	56,6	-44,6	0,27
Жовтень	11,0	8,7	+2,3	7,0	40,3	-33,3	0,26
Листопад	4,8	2,1	+2,7	17,3	40,1	-22,8	0,47
Грудень	2,8	-1,6	+4,4	35,9	42,3	-6,4	0,10
Січень	0,8	-3,4	+4,2	20,3	36,9	-16,6	-
Лютий	2,4	-2,2	+4,6	39,7	31,8	+7,9	-
Березень	6,6	2,3	+4,3	14,9	34,2	-19,3	0,06
Квітень	9,5	9,8	-0,3	47,5	44,9	+2,6	0,35
Травень	12,8	15,7	-2,9	91,6	51,4	+40,2	2,37
Червень	21,7	19,3	+2,4	57,1	84,8	-27,7	0,88
Липень	21,7	21,1	+0,6	21,4	71,7	-50,3	0,32
Середнє	10,9	8,9	+2,0	31,2	49,1	-17,9	-
Сума опадів за весь період	-			374,4	588,9	-214,5	-
max	21,7	21,1	+0,6	91,6	84,8	+6,8	-
min	0,8	-3,4	+4,2	7,0	31,8	-24,8	-
ГТК за рік	-						0,62

Примітка: ГТК – гідротермічний коефіцієнт

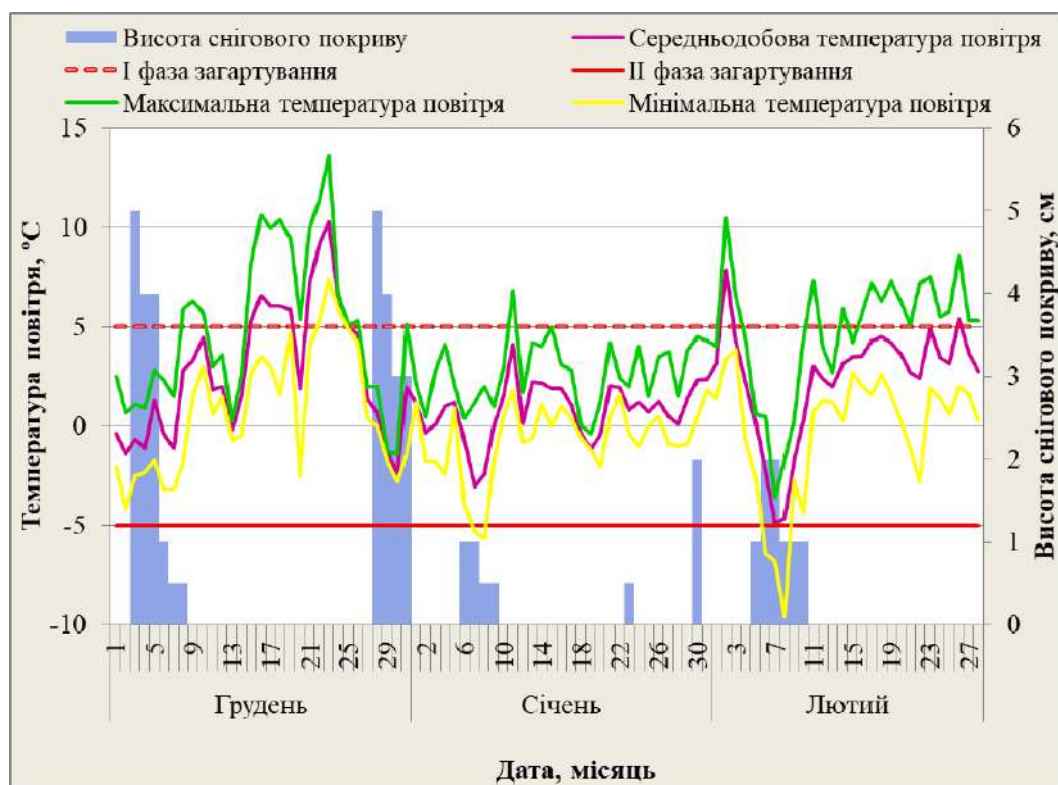


Рис. 1. Гідротермічні умови зимового періоду 2019/2020 р.



2,4 °С. На фоні недостатнього вологозабезпечення березня дефіцит опадів становив понад 19,3 мм.

За період від часу відновлення весняної вегетації до кінця липня сума опадів становила 232,5 мм, або 89,1 % від середнього багаторічного показника (260,9 мм). Сума опадів за рік складала 374,4 мм, що на 214,5 мм менше за середній багаторічний показник (588,9 мм). Максимальну (91,6 мм) кількість опадів відмічали в травні 2020 р., мінімальну (7,0 мм) – в жовтні 2019 р. Середня кількість опадів за місяць становила 31,2 мм.

**Погодні умови вегетаційного періоду озимих зернових культур у 2020/21 р.** Варто підкреслити, що погодні умови осені 2020 р. у зв'язку з посухою були надзвичайно складними для вчасної посівної кампанії. Сума опадів за вересень становила 21,3 мм, що на 35,3 мм менше за середній багаторічний показник (табл. 2). Сумарна кількість опадів у серпні – вересні, період коли відбувається накопичення ґрунтової вологи під урожай наступного року, була найменшою за весь період метеорологічних спостережень і досягла лише 10–20 % багаторічної норми.

Повітряно-ґрунтова посуха припинилася наприкінці вересня внаслідок ефективних дощів, які розпочалися в останні вересневі дні та періодично зволожували ґрунт у першій половині жовтня. Хоча нестача опадів порівняно з середньобагаторічною нормою ста-

новила 18,4 мм, запаси вологи у ґрунті все ж поповнилися до задовільної кількості. Загалом погодні умови жовтня виявилися цілком сприятливими для осіннього розвитку озимини.

Припинення вегетації рослин у 2020 р. було відмічене 11 листопада за середньодобової температури +4,4 °С, з наступним поступовим її зниженням: +3,2 °С (12.11); +2,7 °С (13.11). Середньодобовий перехід через 0 °С у бік зниження відмічали 17.11, 30.11, 11.12 та 27.12.

Зима характеризувалась перепадами погодних умов. Спостерігали кілька періодів дуже холодної погоди (рис. 2).

Взагалі січень вирізнявся надзвичайним варіюванням середніх добових температур – від 6–15 °С нижчих та 6–14 °С вищих значень за середню багаторічну норму.

Абсолютні мінімуми температури повітря були відмічені 17 січня 2021 р. – -21,8 °С та 19 лютого 2021 р. – -18,6 °С, з температурою на глибині залягання вузла кушніння -3,5 °С.

Загалом зима 2020/2021 р. була помірною, лише в лютому відмічена середня температура повітря -4,7 °С, що нижче за багаторічну на 2,5 °С. Середні показники грудня та січня перевищували ці значення на 1,3 °С і 1,1 °С відповідно. Мінімальний сніговий покрив встановився вже 1 грудня, але стабільна його наявність зафіксована з 28 січня і тривала до кінця

Таблиця 2

Середньомісячні показники температури повітря та кількості опадів за 2020/2021 р.

Місяць	Температура повітря, °С			Кількість опадів, мм			ГТК
	фактична	середньо-багаторічна	± до середньо-багаторічної	фактична	середньо-багаторічна	± до середньо-багаторічної	
Серпень	21,1	20,4	+0,7	7,8	53,9	-46,1	0,12
Вересень	18,6	14,5	+4,1	21,3	56,6	-35,3	0,38
Жовтень	13,3	8,7	+4,6	21,9	40,3	-18,4	0,80
Листопад	3,8	2,1	+1,7	27,5	40,1	-12,6	-
Грудень	-0,3	-1,6	+1,3	38,3	42,3	-4,0	-
Січень	-2,3	-3,4	+1,1	56,6	36,9	+19,7	-
Лютий	-4,7	-2,2	-2,5	49,3	31,8	+17,5	-
Березень	2,3	2,3	0	28,3	34,2	-5,9	-
Квітень	7,7	9,8	-2,1	47,2	44,9	+2,3	0,16
Травень	14,5	15,7	-1,2	87,0	51,4	+35,6	1,82
Червень	20,2	19,3	+0,9	100,4	84,8	+15,6	1,66
Липень	23,3	21,1	+2,2	111,2	71,7	+39,5	1,54
Середнє	9,8	8,9	+0,9	49,7	49,1	+0,6	-
Сума за весь період	–			596,8	588,9	+7,9	-
max	23,3	21,1	+2,2	111,2	84,8	+26,4	-
min	-4,7	-3,4	-1,3	7,8	31,8	-24	-
ГТК за рік	–						1,03

Примітка: ГТК – гідротермічний коефіцієнт

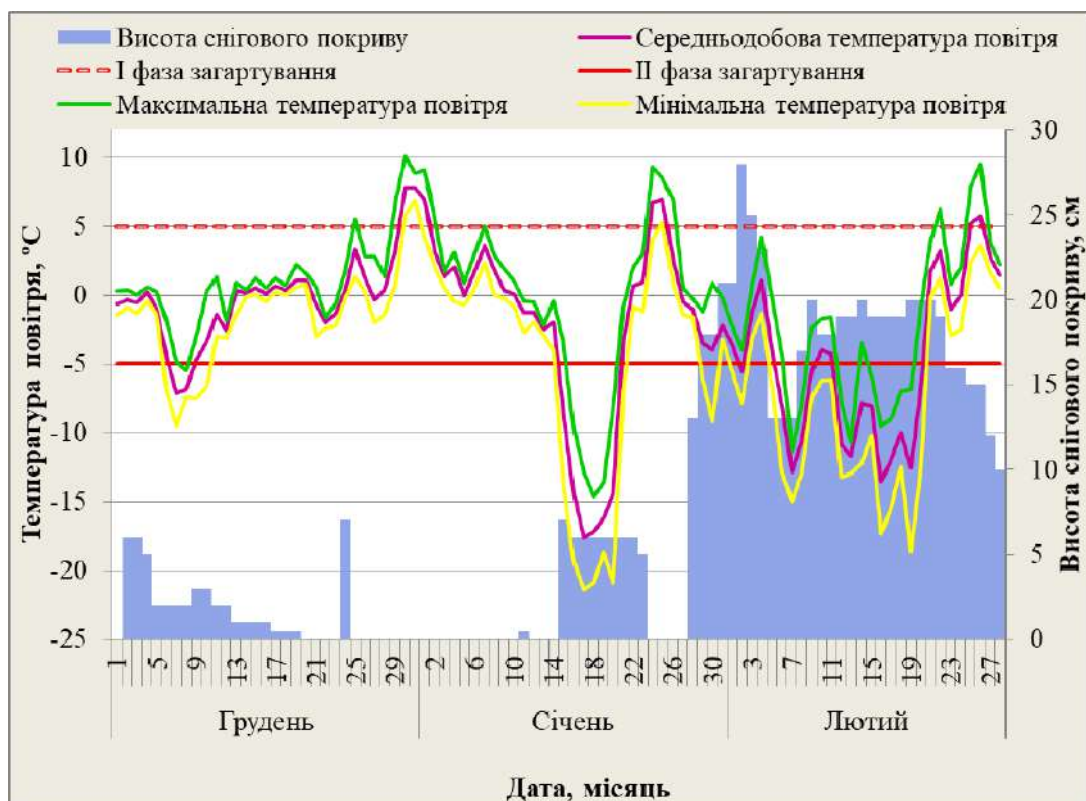


Рис. 2. Гідротермічні умови зимового періоду 2020/2021 р.

зими. Максимальна висота снігового покриву впродовж зимового періоду сягала 28 см (2 лютого).

26 березня 2021 р. було відмічено відновлення вегетації озимини, яке спостерігали за оптимального вологозабезпечення ґрунту при температурі, недалекої до оптимуму. Це забезпечило повноцінне відростання після зими та гарне укорінення. Березень та квітень даного року виявилися нестабільними. Для них було характерне чергування теплих, з відлигою, дощами або яскравим сонцем днів, та холодних, навіть морозних ночей. Останніми роками такі перепади температур не рідкість навіть у травні. У квітні середня температура повітря була на 1,8 °C нижче за середній багаторічний показник, а в липні – на 2,4 °C перевищувала його. У травні відмічали надмірне вологозабезпечення, перевищення кількості опадів від норми становило 35,6 мм.

Влітку відмічали складні погодні умови у вигляді локальних небезпечних метеорологічних явищ – сильних дощів, злив, граду та шквалів, які позначалися на пошкодженні та виляганні пшениці. За період від відновлення вегетації до кінця липня сума опадів становила 346,1 мм, або 132,7 % від середнього багаторічного показника (260,9 мм). Температурний максимум (33,5 °C) спостерігали 24 червня. Сума опадів за рік становила 596,8 мм, що на 7,9 мм вище за середній багаторічний показник (588,9 мм). Максимальна (111,2 мм) кількість опадів припала на липень 2021 р., найменша (7,8 мм) – на серпень 2020 р. У середньому сума опадів за місяць становила 51,1 мм.

**Погодні умови вегетаційного періоду озимих зернових культур у 2021/22 р.** Посів пшениці озимої восени 2021 р. відбувався за досить посушливих умов. Так, сума опадів за вересень становила 18,7 мм, що на 37,9 мм менше за середній багаторічний показник. (табл. 3).

Температура повітря в період з серпня по жовтень несуттєво відрізнялася від середньобагаторічних значень. Тому, незважаючи на те, що погодні умови осені були досить посушливими, температурний режим сприяв нормальному розвитку озимини. У листопаді середньомісячна температура повітря становила 4,8 °C, що на 2,7 °C вище середньобагаторічної. Нестача вологи в жовтні та листопаді становила 22,5 мм і 14,6 мм відповідно. Перше припинення вегетації рослин озимини в 2021 р. було відмічено 9 листопада за середньодобової температури повітря +4,1 °C з наступним поступовим її зниженням: -0,8 °C (16.11); -2,5 °C (17.11). 20 листопада за чергової зміни погодних умов відбулось відновлення вегетації озимих культур, а 23 листопада – остаточне її припинення. Середньодобовий перехід через 0 °C у бік зниження відмічали 16.11, 1.12, 4.12, 20.12. Підвищений температурний режим спостерігали у січні та лютому 2022 р.: -1,2 °C та 1,7 °C при середньому багаторічному значенні за останні 30 років -3,4 °C та -2,2 °C відповідно (рис. 3).

Максимальне значення температури за зимовий період становило 9,6 °C (5.01.2022 р.) та 9,9 °C

Таблиця 3

Середньомісячні показники температури повітря та кількості опадів за 2021/2022 р.

Місяць	Температура повітря, °С			Кількість опадів, мм			ГТК
	фактична	середньо-багаторічна	± до середньо-багаторічної	фактична	середньо-багаторічна	± до середньо-багаторічної	
Серпень	20,5	20,4	+0,1	88,1	53,9	+34,2	1,39
Вересень	13,2	14,5	-1,3	18,7	56,6	-37,9	0,16
Жовтень	7,6	8,7	-1,1	17,8	40,3	-22,5	–
Листопад	4,8	2,1	+2,7	25,5	40,1	-14,6	–
Грудень	-1,1	-1,6	+0,5	63,3	42,3	+21,0	–
Січень	-1,2	-3,4	+2,2	22,8	36,9	-14,1	–
Лютий	1,7	-2,2	+3,9	9,2	31,8	-22,6	–
Березень	2,3	2,3	0	10,1	34,2	-24,1	–
Квітень	8,4	9,8	-1,4	86,0	44,9	+41,1	0,28
Травень	14,6	15,7	-1,1	29,3	51,4	-22,1	0,65
Червень	20,7	19,3	+1,4	41,7	84,8	-43,1	0,67
Липень	20,4	21,1	-0,7	55,1	71,7	-16,6	0,87
Середнє	9,3	8,9	+0,4	39,0	49,1	-10,1	–
Сума за весь період		–		467,6	588,9	-121,3	–
max	20,7	21,1	-0,4	88,1	84,8	+3,3	–
min	-1,2	-3,4	+2,2	9,2	31,8	-22,6	–
ГТК за рік				–			0,80

Примітка: ГТК – гідротермічний коефіцієнт



Рис. 3. Гідротермічні умови зимового періоду 2021/2022 р.

(21.02.2022). Абсолютні мінімуми температури повітря були відмічені 23 грудня 2021 р. –  $-12,7^{\circ}\text{C}$  та 13 січня 2022 р. –  $-16,8^{\circ}\text{C}$  з температурою на глибині залягання вузла кущіння  $-4,5^{\circ}\text{C}$ . Максимальна висота снігового покриву, який впродовж зимового періоду був нестабільним, становила 5 см (29 грудня). Слід відмітити, що друга і третя декада лютого характеризувалися повною відсутністю снігового покриву. Максимальна глибина промерзання ґрунту в період низьких температур становила 16 см.

Загалом зима 2021/2022 р. була помірною – в січні та лютому середньомісячні температури повітря були вищими відповідно на  $2,2^{\circ}\text{C}$  і  $3,9^{\circ}\text{C}$  порівняно з середньобагаторічними показниками.

21 березня 2022 р. було відмічене відновлення вегетації озимини. У квітні та травні середня температура повітря була нижчою за середній багаторічний показник на  $1,4^{\circ}\text{C}$  та  $1,1^{\circ}\text{C}$  відповідно, а в червні перевищувала його на  $1,4^{\circ}\text{C}$ . У квітні відмічали надмірне вологозабезпечення, перевищення кількості опадів від норми становило 41,1 мм. Проте надалі впродовж періоду з травня по липень спостерігали досить гострий дефіцит опадів, особливо це відчутно було у червні – лише 41,7 мм (середньобагаторічний показник – 84,8 мм).

За період від відновлення вегетації до кінця липня сума опадів становила 213,1 мм, або  $81,7\%$  від середнього багаторічного показника (260,9 мм). Температурний максимум ( $34,3^{\circ}\text{C}$ ) спостерігали 6 липня. Сума опадів за рік становила 467,6 мм, що на 121,3 мм менше за середній багаторічний показник (588,9 мм). У середньому сума опадів за місяць становила 39,0 мм.

Роки дослідження були контрастними за температурою повітря зі значним варіюванням кількості

опадів за місяцями та їх нерівномірністю випадання протягом року (табл. 4). За три вегетаційні роки досліджень максимальну середньомісячну температуру повітря відмічали у червні та липні 2020 р., липні 2021 р. і в червні 2022 р. ( $21,7$ ;  $23,3$ ;  $20,7^{\circ}\text{C}$  відповідно), а мінімальну – в січні 2020 р. і 2022 р. і в лютому 2021 р. ( $0,8$ ;  $-4,7$ ;  $-1,2^{\circ}\text{C}$  відповідно).

За вегетаційний 2019/20 р. спостерігали максимальну кількість опадів у травні (91,6 мм), за 2020/21 р. – у серпні (111,2 мм), за 2021/22 р. – у серпні (88,1 мм), а найменшу – в жовтні 2019/20 р., в серпні 2020/21 р. та в лютому 2021/22 р. ( $7,0$ ;  $7,8$ ;  $9,2$  мм відповідно).

Найбільший ( $7,1^{\circ}\text{C}$ ) розмах варіювання (R) середньомісячних температур за роками спостерігали в лютому. Також виявлено найбільше варіювання місячних сум опадів за роками у грудні (R = 89,8 мм) та серпні (R = 80,3 мм). Згідно з гідротермічним коефіцієнтом (ГТК) 2019/20 вегетаційний рік був середньо посушливим (ГТК = 0,62), 2020/21 – достатньо вологим (ГТК = 1,03), 2021/22 – слабо посушливими (ГТК = 0,80).

**Головні висновки.** Таким чином, метеорологічні умови років досліджень значно відрізнялись за температурним режимом та вологозабезпеченістю як в цілому за вегетаційний період, так і за окремими фазами розвитку рослин озимих культур. Проведений аналіз погодних умов за 2019/20–2021/22 вегетаційні роки свідчить про значні зміни гідротермічного режиму центральної частини Лісостепу України за цей період. Встановлено, що умови 2019/20 і 2021/22 рр. характеризувалися недостатньою кількістю опадів (відповідно  $63,6$  та  $79,4\%$  від середньобагаторічного показника), та підвищеними на  $0,4$ – $1,6^{\circ}\text{C}$  температурами повітря. За рівнем гідро-

Таблиця 4  
Середньомісячні значення температури повітря та кількості опадів за період 2019/20–2021/22 рр.

Рік	Місяць												$\bar{x}$
	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	
Температура повітря, $^{\circ}\text{C}$													
2019/20	20,4	15,8	11,0	4,8	2,8	0,8	2,4	6,6	9,5	12,8	21,7	21,7	10,9
2020/21	21,1	18,6	13,3	3,8	-0,3	-2,3	-4,7	2,3	7,7	14,5	20,2	23,3	9,8
2021/22	20,5	13,2	7,6	4,8	-1,1	-1,2	1,7	2,3	8,4	14,6	20,7	20,4	9,3
$\bar{x}$	20,7	15,9	10,6	4,5	0,5	-0,9	-0,2	3,7	8,5	14,0	20,9	21,8	10,0
R	0,7	5,4	5,7	1	3,9	3,1	7,1	4,3	1,8	1,8	1,5	2,9	1,6
Середньобагаторічна	20,4	14,5	8,7	2,1	-1,6	-3,4	-2,2	2,3	9,8	15,7	19,3	21,1	8,9
Кількість опадів, мм													
2019/20	9,7	12,0	7,0	17,3	35,9	20,3	39,7	14,9	47,5	91,6	57,1	21,4	31,2
2020/21	7,8	21,3	21,9	27,5	38,3	56,6	49,3	28,3	47,2	87,0	100,4	111,2	49,7
2021/22	88,1	18,7	17,8	25,5	63,3	22,8	9,2	10,1	86,0	29,3	41,7	55,1	39,0
$\bar{x}$	35,2	17,3	15,6	23,4	45,8	33,2	32,7	17,8	60,2	69,3	66,4	62,6	40,0
R	80,3	9,3	14,9	10,2	27,4	36,3	40,1	18,2	38,8	62,3	58,7	89,8	18,5
Середньобагаторічна	53,9	56,6	40,3	40,1	42,3	36,9	31,8	34,2	44,9	51,4	84,8	71,7	49,1

Примітки:  $\bar{x}$ , R – відповідно середнє значення та розмах варіювання за 2019/20–2021/22 рр.

термічного коефіцієнту умови вирощування відносилися до середньопосушливих (2019/20 р.), достатньо зволених (2020/21 р.) та слабкопосушливих (2021/22 р.). Загалом, динаміка параметрів метеорологічних умов на рівні середньобагаторічних значень за роки досліджень для центральної частини Лісостепу відповідає біологічному оптимуму озимих зернових культур. Разом з тим, недостатня та надмірна кількість опадів є ризикованим чинником для отримання високої врожайності та показників якості зерна озимини.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Представлені дослідження можуть

бути використані при інтерпретації результатів польових та селекційних експериментів, що дозволить рекомендувати вирощування високопродуктивних сортів озимих зернових культур для зони центрального Лісостепу України. Урахування особливостей погодних умов даного регіону дасть можливість отримати достовірні дані щодо їх відповідності вимогам вирощування озимих зернових культур, рівня їх практичності для реалізації потенційних можливостей культур та ідентифікувати сорти з високою екологічною пластичністю, які здатні меншою мірою реагувати на коливання умов зовнішнього середовища.

### Література

1. Польовий А.М., Кульбіда М.І., Адаменко Т.І., Трофімова І.В. Моделювання впливу зміни клімату на агрокліматичні умови вирощування та фотосинтетичну продуктивність озимої пшениці в Україні. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2007. №2. С. 76–91.
2. Siroshstan A., Kavunets V., Derhachov O., Pykalo S., Ilchenko L. Yield and sowing qualities of soft winter wheat seeds depending on the predecessors and sowing dates in the Forest-Steppe of Ukraine. *American Journal of Agriculture and Forestry*. 2021. Vol. 2. Iss. 9. P. 76–82.
3. Лукашук Л.Я. Вплив зміни клімату на продуктивність пшениці озимої залежно від строків сівби. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія»*. 2012. Вип. 9 (24). С. 91–94.
4. Каленська С.М. Чубко О.П., Федчук В.Ф. Використання земельних угідь на основі провадження адаптивних технологій вирощування зернових культур. *Збірник наукових праць Інституту землеробства УААН. Спецвипуск*. 2005. С. 180–190.
5. Кочмарський В.С., Кириленко В.В., Басанець Г.С., Хоменко С.О., Гуменюк О.В., Маринка С.М., Харченко А.В. Зміна кліматичних умов та адаптивні властивості сучасних сортів пшениці озимої в зоні діяльності Миронівського інституту пшениці. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2010. Т. 8. С. 154–161.
6. Польовий А.М., Божко Л.Ю., Дронова О.О. Аналіз тенденції зміни термічних показників агрокліматичних ресурсів в Україні за період до 2030–2040 рр. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2011. № 9. С. 90–99.
7. Дмитренко В.П. Погода, клімат і урожай польових культур: монографія. Київ : Ніка-Центр, 2010. 620 с.
8. Балабух В.О. Однолеток Л.П., Кривошеїн О. Вплив зміни клімату на продуктивність озимої пшениці в Україні у періоди вегетаційного циклу. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2017. № 3 (46). С. 72–85.
9. 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.
10. Адаменко Т. Перспективи виробництва зерна озимої пшениці в умовах потепління клімату. *Агроном*. 2008. № 3. С. 12–14.
11. Кириленко В.В., Волощук С.І., Дубовик Н.С., Близнюк Б.В. Ретроспективний аналіз погодних умов у зоні діяльності Миронівського інституту пшениці. *Миронівський вісник*. 2016. Вип. 2. С. 87–97.
12. Бойченко С.Г., Волощук В.М., Дорошенко І.А. Глобальне потепління та його наслідки на території України. *Український географічний журнал*. 2000. №2. С. 59–68.
13. Польовий А.М. Сільськогосподарська метеорологія. Одеса : ТЕС, 2012. 632 с.
14. Близнюк Б.В., Демидов О.А., Кириленко В.В., Гуменюк О.В., Каліцінська О.Б. Вплив агроекологічних чинників і сортових особливостей на врожайність та якість зерна пшениці м'якої озимої. *Агроекологічний журнал*. 2019. № 1. С. 62–73.
15. Близнюк Б.В., Лось Р.М., Демидов О.А., Кириленко В.В., Гуменюк О.В. Вплив погодних умов на тривалість періодів вегетації та врожайність пшениці м'якої озимої у Лісостепу й Поліссі. *Миронівський вісник*. 2019. Вип. 8. С. 73–90
16. Kurylenko 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<sub>1</sub> crossing varieties with 1AL.1RS and 1BL.1RS translocations. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. Vol. 11. Iss. 2. P. 99–105.
17. Адаменко Т. Агromетеорологічні особливості весняно-літнього періоду та їх вплив на сільськогосподарські культури. *Агроном*. 2017. № 3. С. 14–15.

# ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОРІЗНОМАНІТТЯ

УДК 581.524.2:581.9:502.72 (477.63)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.3-48.13>

## ЕКСПАНСІЯ *PTEROTHECA SANCTA* (L.) K. KOCH. У СІНАНТРОПНІ БІОТОПИ КРИВБАСУ

Красова О.О., Шоль Г.Н., Павленко А.О., Шкута С.І.

Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України  
вул. Маршака, 50, 50089, м. Кривий Ріг  
[kras.kbs.17@gmail.com](mailto:kras.kbs.17@gmail.com)

У статті обговорено доробок низки авторів із проблеми експансивного поширення вищих судинних рослин, яке розглядається як два процеси: експансія екологічна та експансія хорологічна або територіальна. Розглянуто особливості поширення в північному напрямку *Pterotheca sancta* (L.) K. Koch. – виду з родини *Asteraceae* Dumort., який вважається автохтонним для флори Дніпропетровської області. Визначені параметри ценопопуляцій *P. sancta* в угрупованнях, які становлять фітоценотичну основу трьох біотопів п'ятого рівня класу I (біотопи, сформовані господарською діяльністю людини). Виявлено, що просування *P. sancta* з південної частини Дніпропетровської області в північному напрямку, тобто експансія хорологічна, найімовірніше, є свідченням кліматичних змін, оскільки цей процес у багатьох видів рослин має масовий характер. У складі трав'яних угруповань у межах досліджених синантропних біотопів на момент аспекту квітання цей вид виявляє себе переважно як сезонний субдомінант або співдомінант: його частка в проективному покритті досліджених фітоценозів складає 15–20 % при загальному покритті 50–85 %. Результати оцінки висоти рослин у трьох ценопопуляціях свідчать, що середні арифметичні значення цієї характеристики для перших трьох класів розмірності в різних фітоценозах достовірно розрізняються за критерієм Ст'юдента ( $t$ ) при ймовірності 0,95. Із трьох ценопопуляцій *P. sancta* дві належать до категорії врівноважених та одна – до процвітаючих. Причини експансії *P. sancta* саме в рудеральні, а не в природні біотопи, очевидно, слід розглядати під кутом зору відомої в екології «гіпотези порожньої ніші» (гіпотеза базується на положенні, що в багатих за видовим складом рослинних угрупованнях ресурси середовища використовуються повніше та ефективніше, ніж у маловидових рослинних спільнотах). **Ключові слова:** автохтонний вид, віталітетна структура, експансія, синантропні біотопи, ценопопуляція.

### Expansion of *Pterotheca sancta* (L.) K. Koch. in synanthropic biotopes of Kryvbas. Krasova O., Shol H., Pavlenko A., Shkuta S.

The article discusses the work of a number of authors on the problem of expansive distribution of higher vascular plants, which is considered as two processes: ecological expansion and chorological or territorial expansion. We examined the peculiarities of distribution in the northern direction of *Pterotheca sancta* (L.) K. Koch – a species from the family *Asteraceae* Dumort., which is considered to be indigenous for the flora of the Dnipropetrovsk region. The parameters of the coenopopulations of *P. sancta* in the communities that constitute the phytocenotic basis of three biotopes of the fifth level of class I (biotopes formed by human economic activity) were determined. It was found that the progression of *P. sancta* from the southern part of the Dnipropetrovsk region in the northern direction, i.e. chorological expansion, is most likely evidence of climatic changes, since this process in many plant species has a mass character. In the composition of grass communities within the studied synanthropic biotopes at the moment of flowering, this species manifests itself mainly as a seasonal subdominant or co-dominant: its share in the projected coverage of the studied phytocenoses is 15–20%, with a total coverage of 50–85%. The results of the assessment of plant height in three coenopopulations indicate that the average arithmetic values of this characteristic for the first three size classes in different phytocenoses differ reliably according to the Student's test ( $t$ ) at a probability of 0.95. Of the three coenopopulations of *P. sancta*, two belong to the balanced category and one to the prosperous category. The reasons for the expansion of *P. sancta* in ruderal biotopes rather than natural ones should obviously be considered from the point of view of the “empty niche hypothesis” known in ecology (the hypothesis is based on the proposition that in species-rich plant communities, environmental resources are used more fully and efficiently, than in low-species plant communities). **Key words:** indigenous species, vitality structure, expansion, synanthropic biotopes, coenopopulation.

**Постановка проблеми та актуальність дослідження.** У регіонах України, де видобування корисних копалин, будівництво, металургійна, коксохімічна промисловість тощо є пріоритетними напрямками розвитку економіки, синантропізація рослинності сягає величезних масштабів [1]. Моніторинг цього процесу є одним із першочергових завдань у техногенно перетворених регіонах, зокрема, в Криворізькому залізничному басейні (Кривбасі), оскільки дозволяє розв'язати низку фітоекологічних проблем.

Особливе місце в трансформації екосистем займають види, поширення яких має характер ек-

пансії. Цей процес у окремих видів відрізняється за тривалістю, темпами поширення, характером розвитку [2]. Слід зазначити, що явище біологічної експансії розглядається як два процеси: перший – експансія екологічна, тобто поширення аборигенного виду в інші типи біотопів, переважно антропогенні, в природному ареалі; другий – експансія хорологічна або територіальна, тобто проникнення виду за межі природного ареалу [3, 4].

Явище хорологічної експансії більшість дослідників розглядають у ракурсі інвазійної спроможності видів адвентивних рослин. В Україні протя-

гом останніх 150 років характеру експансії набуло поширення 29 видів адвентивних рослин [2]. Узагальнені відомості свідчать, що найбільше праць присвячено флористичним аспектам проблеми, а також хорології, біології, екології та контролю поширення інвазійних видів, які становлять основний матеріал для створення наукової бази [5]. Значно менше уваги приділено висвітленню випадків експансії екологічної.

Актуальність дослідження цього феномену в теоретичному плані полягає в необхідності прогнозування результатів змін екосистем, які мають надто складну структуру; їх стан змінюється стрибкоподібно, причинно-наслідкові зв'язки є непрямими, мають імовірнісний характер [6]. Ці питання не можуть бути об'єктивно вирішеними без проведення спостережень на регіональному рівні.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Дослідження виконувались у відділах оптимізації техногенних ландшафтів і природної та культурної флори в рамках науково-дослідних робіт «Експансія інвазійних та прогресуючих видів як дестабілізуючий чинник функціонування степових екосистем на тлі кліматичних змін», державний номер реєстрації 0122U000709, та «Флористичне та ценотичне різноманіття біотопів різного ступеня порушеності в умовах техногенно трансформованого регіону (на прикладі Криворіжжя)», державний номер реєстрації 0120U100508.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема експансії аборигенних видів набула гостроти насамперед у зв'язку з активним поширенням чагарників на степових ділянках. Суттєвого виразу це явище набуло в степових заповідниках, зокрема «Стрільцівському степу», «Михайлівській цілині», «Сланецькому степу» [7, 8, 9] в кінці ХХ – на початку ХХІ століття. Я. П. Дідух розглядає це явище з позицій синергетики, оцінюючи форми крон рослин деревних видів, які заселяють степові біотопи, як такі, що характеризуються максимальним ростом при найнижчому енергетичному потенціалі [6].

Утім, експансія деревно-чагарникової рослинності відбувається і на інших степових територіях, незалежно від охоронного режиму або його відсутності. При обстеженні шести степових балок у межах Кам'янського (раніше П'ятихатського) та Криворізького (раніше Широкивського) районів Дніпропетровської області було виявлено суттєве збільшення чисельності кущів, які є представниками місцевої флори (*Crataegus fallacina* Klokov, *Rosa corymbifera* Borkh., *Prunus stepposa* Kotov) на ділянках, де здійснювався моніторинг [10].

Значних пошкоджень деревостанам у більшості областей України завдає *Viscum album* L. – автохтонний напівпаразит деревно-чагарникових рослин. У зв'язку із потеплінням клімату територія оптимальних умов для росту й розвитку цього вічнозеленого кущика поступово збільшується, а звідси

й можливість як інвазивного, так і експансивного його поширення [11].

Прояви експансії автохтонних злаків *Molinia caerulea* (L.) Moench та *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth відзначаються в зоні Natura 2000 на території Польщі [12].

Щодо хорології *P. sancta*, то цей однорічник із родини *Asteraceae* Dumort. має загальне поширення в Східній Європі та на Кавказі; в Україні – у Лівобережному та Донецькому Лісостепу, в Степу, в південній частині Криму [13]. На сьогодні спостерігається різноманіття наукових думок стосовно належності цього виду до автохтонної чи адвентивної фракції в регіональних флорах України. Аборигенним представником регіональної флори його визнає В. В. Тарасов, який досліджував поширення виду в Дніпропетровській та Запорізькій областях [14]. Більше того, *P. sancta* включено до Червоної книги Дніпропетровської області [15]. І. І. Мойсієнко наводить відомості про досить часте трапляння *P. sancta* в центральній та східній частині Північного Причорномор'я по степових схилах, глинистих та лесових відслоненнях, солонцях [16], тобто в природних біотопах. Проте, для Старобільських степів вид наводиться як чужорідний [17, 18]. Д. А. Давидов вважає його видом-ефемерофітом, який періодично проникає на Полтавщину зі степової зони України; ним же наводяться вказівки на знахідки поодиноких екземплярів у Харківській області [19].

Відомості в опрацьованих нами літературних джерелах свідчать про малу чисельність популяцій *P. sancta* в антропогенних біотопах.

**Мета дослідження** – з'ясувати чинники екологічної експансії *P. sancta* на Криворіжжі та виявити специфіку морфометричних та біомасових параметрів, віталітетну структуру ценопопуляцій у різних типах синантропних біотопів регіону.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Оскільки випадки експансивного поширення *P. sancta* в регіонах України до цього часу не фіксувалися, цей аспект процесу синантропізації рослинності потребує детального вивчення.

**Матеріали та методи досліджень.** З'ясування особливостей поширення *P. sancta* в регіоні здійснено з використанням гербарних матеріалів KRW (Криворізького ботанічного саду НАН України (КБС)). Польові дослідження проводились у травні 2022 та 2023 років (погодні умови весняних періодів цих років були досить подібними за температурними режимами та кількістю опадів, що випали). Структура ценопопуляцій виду вивчалася на трьох ділянках:

1 – площина з травостоєм газонного типу, прилегла до автошляху біля дробильної фабрики № 3 (ДФ-3) Північного гірничо-збагачувального комбінату (ГЗК);

2 – схил промислового майданчика дробильної фабрики № 3 Північного ГЗК (східна експозиція);

3 – схил східної експозиції залізничного відвалу Новокириворізького ГЗК.

Характеристики рослинних угруповань на ділянках відповідають трьом типам синантропних біотопів, ідентифікованих згідно з монографією «Біотопи степової зони України» [20].

Для дослідження морфометричних та біомасових характеристик у ценопопуляціях рослини відбирали з п'яти облікових квадратів 0,5×0,5 м. З'ясування віталітетної структури ценопопуляцій здійснювали згідно з методичними вказівками Ю. А. Злобіна [21]. Для цього в особин з одного квадрату на кожній ділянці визначались такі ознаки як довжина найвищого генеративного пагону, надземна фітомаса, кількість суцвіть на рослині. Вибірка на першій ділянці становила 177 особин, на другій – 149, на третій – 69.

За кількісним співвідношенням у ценопопуляціях особин різного рівня віталітету визначали індекс якості ценопопуляцій Q:

$$Q = 1/2 (a+b),$$

де Q – індекс якості ценопопуляції; a – частка особин найвищого віталітету (у частках одиниці); b – частка особин середнього віталітету (у частках одиниці). Статистичну обробку морфометричних та біомасових показників виконували за посібником Д. І. Барановського, О. М. Гетманця та А. М. Хохлова [22].

**Виклад основного матеріалу.** За гербарними зразками *P. sancta*, зібраними в кінці ХХ–на початку ХХІ століть у Дніпропетровській області (околиці м. Покровськ (Орджонікідзе), 1997 та селища Шолохове, 1999 [14]; схили Каховського водосховища між селами Новокам'янка та Вищетарасівка, вапнякові відслонення, 3.07.2001 р., Кучеревський, Красова, Провоженко, Василенко) ми встановили, що на той час найближчі до Кривого Рогу локалітети зростання цього виду знаходились за 50–100 км у південно-східному напрямку. Уперше в Кривбасі досліджений вид відмічений у 2009 році на Бурщицькому відвалі поблизу залізничного мосту через р. Інгулець. Пізніше вид був знайдений у багатьох місцях при обстеженні паркових насаджень Кривого Рогу. Зокрема, є збори (KRW) з Центрально-Міського району: сквер біля авіаколеджу, 12.05.2011 р., Шоль, Провоженко; із Металургійного району: парк Героїв, 15.07.2011 р., ті ж, парк ім. Б. Хмельницького, 07.06.2011 р., ті ж; із Інгулецького району: парк Інгулецький, 22.05.2012 р., ті ж, сквер ім. 7-ої річниці Незалежності України, 22.05.2012 р., ті ж; Тернівського району: територія КБС, 27.05.2011 р., Кучеревський. Нині вид активно поширюється в синантропних біотопах – на промислових відвалах (переважно на суглинистих субстратах), по дачних ділянках на оброблюваних чорноземах (окол. с. Червоні Поди), на техноземах уздовж залізнич-

них шляхів (біля станції Вечірній Кут), у паркових насадженнях [23].

Просування *P. sancta* з південної частини області у північному напрямку, тобто експансія хорологічна, найімовірніше, є свідченням кліматичних змін, що, як відомо, має масовий характер у південних рослин [24]. Особливістю цього процесу є те, що вид практично не вселяється в придатні для його існування природні біотопи в балкових системах басейнів Саксагані та Інгульця, а розповсюджується в біотопах, сформованих господарською діяльністю людини, розширюючи свій екологічний ареал.

У складі трав'яних угруповань у межах досліджених синантропних біотопів на момент аспекту квітання цей вид виявляє себе переважно як сезонний субдомінант або співдомінант.

На першій ділянці зі спонтанно сформованим травостоєм, який періодично викошується, ґрунтовий покрив представлений комплексом урбаноземів та ристоземів – штучно створених у процесі формування міського середовища ґрунтів [25]; (у даному випадку, це суміш чорноземів, суглинків, гранітного та кварцитового щебеню). З точки зору класифікації біотопів, ділянка відповідає біотопу I:3.131 – газони, щільно вкриті злаками. В окремих локалітетах ділянки проективно покриття (ПП) *P. sancta* становило 15–50 % при загальному ПП 80–85 % (рис. 1 а, б).

У фітоценозі, що був обраний для дослідження ценопопуляційних характеристик *P. sancta*, на частку цього виду припадає 20 % ПП; злакову основу утворює *Elytrigia repens* (25 % ПП). Суттєву участь у формуванні угруповання беруть *Poa angustifolia* L., *P. bulbosa* L., *Achillea submillefolium* Klokov et Krytzka, *Cardaria draba* (L.) Desv., *Medicago lupulina* L., *Plantago lanceolata* L. (по 7–12 % ПП).

Друга ділянка розташована на крутому суглинному схилі заввишки близько 8 м, відсіпаному близько 20 років тому, де ґрунтовий покрив наразі не сформувався. Рослинність тут відповідає біотопу I:2.112 – угруповання рудеральних малорічників на бідних ґрунтах. Екотопічні умови досить жорсткі й не відрізняються від тих, які існують на сухих схилах залізничних відвалів.

На ділянці проводилась біологічна рекультивация за оригінальною біотехнологією [26], проте, рослинний покрив, аналогічний степовому, формується фрагментарно – у вигляді невеликих «латок» із видів роду *Stipa* L. та, подекуди, *Crambe pontica* Steven ex Rupr. Загальне ПП травостою тут не перевищує 50–65 %; на покриття *P. sancta* припадає 15–20 %. Співдомінантом у дослідженому угрупованні виступає *Senecio vernalis* Valdst. et Kit., у якого ритми розвитку значною мірою співпадають із попереднім видом. Після плодоношення рослини обох видів засихають, завершуючи життєвий цикл. Серед інших видів, які визначають фізіономічність рудерального травостою – *Anisantha tec-*





Рис. 1. *Pterotheca sancta* в складі трав'яних угруповань: а), б) в окремих локалітетах серед травостою газонного типу біля дробильної фабрики № 3 Північного ГЗК; в) на рекультивованому схилі промислового майданчика дробильної фабрики; г) на схилі відвалу Новокриворізького ГЗК

*torum* (L.) Nevski, *Artemisia absinthium* L., *Cardaria draba*, *Galium aparine* L., *Euphorbia agraria* Vieb. (рис. 1 в).

Третя ділянка розміщена на схилі східної експозиції одного з відвалів Новокриворізького ГЗК, відсіпка якого припинена майже 50 років тому. Відвал складений переважно пухкими четвертинними породами – суглинками та глинами. На вершинному плато відвалу сформувалися примітивні ґрунти; в результаті їх змиву частина дрібнозему затримується у верхній частині схилу, внаслідок чого субстратні умови для розвитку рослинності є сприятливішими, ніж на перших двох ділянках. Найвний тут біотоп ми ідентифікуємо як І:2.123 – ксероме-

зофітні рудеральні трав'яні угруповання термофільного типу (рис. 1 г). При загальному ПП травостою 80 % частка *P. sancta* складає тут 15–20 %. Таку ж або дещо меншу участь у складі фітоценозу мають *Achillea nobilis* L., *Elytrigia repens*, *Poa angustifolia*, *Cardaria draba*.

Всі три описані рослинні угруповання, незважаючи на розбіжності біотопічних умов, у яких вони існують, мають подібний видовий склад і являють собою проміжні стадії сукцесійного процесу.

Результати оцінки такої розмірної величини, як висота рослин (табл. 1) свідчать, що середні арифметичні значення цієї характеристики для перших трьох класів розмірності в різних фітоценозах досто-

Таблиця 1

#### Висота рослин у ценопопуляціях *Pterotheca sancta*

Ценопопуляція	Висота рослин у межах класів розмірності, см			
	1 клас (10,0–26,0)	2 клас (26,1–41,5)	3 клас (41,6–57,0)	4 клас (57,1–72,5)
1	$19,8 \pm 0,32$ 20,4	$32,7 \pm 0,26$ 12,2	$44,1 \pm 0,38$ 5,0	–
2	$20,1 \pm 0,43$ 21,3	$34,1 \pm 0,26$ 12,2	$45,6 \pm 0,35$ 7,3	–
3	$24,6 \pm 0,79$ 6,5	$35,7 \pm 0,52$ 11,6	$49,6 \pm 0,34$ 9,0	$61,8 \pm 0,66$ 7,7

\* Нумерація ценопопуляцій відповідає нумерації ділянок у тексті; у чисельнику – середнє арифметичне значення параметру з похибкою, у знаменнику – коефіцієнт варіації у відсотках

Таблиця 2

Біомасові характеристики рослин у ценопопуляціях *Pterotheca sancta*

Ценопопуляція	Біомаса рослин (абсолютно суха) відповідно до класів розмірності та загальна, г/0,25 м <sup>2</sup>				Загалом
	1 клас	2 клас	3 клас	4 клас	Σ
1	$\frac{5,4 \pm 1,30}{75,8}$	$\frac{8,4 \pm 1,43}{54,2}$	$\frac{11,6 \pm 1,47}{40,0}$	–	$\frac{25,4 \pm 3,32}{41,3}$
2	$\frac{5,1 \pm 1,12}{69,6}$	$\frac{8,8 \pm 1,29}{46,4}$	$\frac{8,7 \pm 1,22}{44,3}$	–	$\frac{22,6 \pm 2,30}{32,2}$
3	$\frac{0,4 \pm 0,02}{11,2}$	$\frac{3,0 \pm 0,42}{31,7}$	$\frac{10,0 \pm 2,37}{53,1}$	$\frac{18,3 \pm 3,08}{37,5}$	$\frac{31,3 \pm 5,57}{39,8}$

\* Зміст примітки той же, що і в табл. 1

Таблиця 3

Віталітетна структура ценопопуляцій *Pterotheca sancta*

Ценопопуляція	Частка особин за класами віталітету			Ступінь процвітання Iq	Значення індексу якості Q	Віталітетний тип популяції
	a (найвищий)	b (проміжний)	c (найнижчий)			
1	0,39	0,14	0,47	0,56	0,265	Врівноважена
2	0,32	0,18	0,50	0,50	0,250	Врівноважена
3	0,37	0,49	0,14	3,07	0,43	Процвітаюча

\* Нумерація ценопопуляцій відповідає нумерації ділянок у тексті

вірно розрізняються за критерієм Ст'юдента (t) при ймовірності 0,95.

Порівняння висоти рослин у четвертому класі розмірності не проводилося через його відсутність у ценопопуляціях, досліджених на ДФ-3. Варто відзначити, що висота рослин 4-го розмірного класу, які ростуть лише на третій ділянці, суттєво перевищує максимальний показник, наведений у «Флорі УРСР» – 55 см [13].

Параметри біомаси рослин у всіх трьох ценопопуляціях за критерієм Ст'юдента (t) при ймовірності 0,95 не мають достовірної відмінності (табл. 2). Це підтверджує положення, сформульоване М. Vegon, J. Harper, C. Townsend [30], що хоча чисельність та розмірний розподіл особин у популяції регулюються лише приблизно, загальна біомаса регулюється значно точніше.

Віталітетна структура перших двох ценопопуляцій майже ідентична: індекси Iq та Q відрізняються незначно (табл. 3). Згідно з обчисленим індексом Iq обидві ценопопуляції належать до депресивного типу, тоді як за індексом Q – до врівноваженого. Оскільки Ю. А. лобін [21] вказує, що індекс Iq менш точно відображує реальні відмінності між популяціями, ми вважаємо за краще віднести обидві ценопопуляції до врівноваженого типу. Третя ценопопуляція безсумнівно є процвітаючою.

Причини експансії *P. sancta* саме в рудеральні, а не в природні біотопи, очевидно, слід розглядати під кутом зору «гіпотези порожньої ніші», «спорідненої» із «гіпотезою видового багатства». Адже, в екології рослин наразі існує думка про те, що в багатих за видовим складом рослинних угрупованнях ресурси середовища використовуються досить повно та ефективно, отже, ці угруповання є більш резистентними до інвазій адвентивних видів, ніж збіднені та антропогенно трансформовані угруповання [27, 28, 29].

**Головні висновки.** На підставі проведених досліджень можна визнати, що просування *P. sancta* з південної частини Дніпропетровської області в північному напрямку, тобто експансія хорологічна, найімовірніше, є свідченням кліматичних змін, оскільки цей процес у багатьох видів рослин має масовий характер. Експансія екологічна, тобто поширення виду саме в синантропні біотопи у межах ареалу, очевидно, пояснюється тим, що антропогенно трансформовані угруповання є менш резистентними до вселення нових видів, ніж багаті за видовим складом природні. Дві з досліджених нами ценопопуляцій *P. sancta* належать до врівноваженого типу; третя – є процвітаючою.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Отримані результати можуть бути використані для подальшого моніторингу стану екосистем у техногенно дестабілізованому регіоні.

## Література

1. Глухов О.З., Хархота Г.І., Прохорова С.І., Агурова І.В. Проблеми та перспективи дослідження синантропних рослин у техногенних екосистемах. *Синантропізація рослинного покриву України: Тези наукових доповідей*. Київ – Переяслав-Хмельницький, 2012. С. 20–21.
2. Протопопова В.В., Мосякін С.Л., Шевера М.В. Фітоінвазії в Україні як загроза біорізноманіттю: сучасний стан і завдання на майбутнє. Київ: Інститут ботаніки НАН України, 2002. 32 с.
3. Jackowiak V. Modele ekspansji roślin synantropijnych i transgeniczných. *Phytocoenosis*. 1999. Vol. 11 (N.S.) *Seminarium geobotanicum* 6. 24 s.
4. Протопопова В.В., Шевера М.В. Фітоінвазії. II. Аналіз основних класифікацій, схем і моделей. *Промышленная ботаника*. 2012, 12. С. 88–95.
5. Чужорідні види флори України: роки і автори. Бібліографічний покажчик. Вип. 10. Упорядники: Р.І. Бурда, В.В. Протопопова, М.В. Шевера, С.М. Конякін, О.О. Кучер. Київ: [б.в.], 2023. 253 с.
6. Дідух Я.П. Синергетичні підходи до оцінки структури, розвитку і стійкості біотопів та проблеми прогнозування їх змін. *Вісник НАН України*, 2014, № 12. С. 29–38.
7. Боровик Л.П. Природні та антропогенні фактори демутації перелогів на території Стрільцівського степу (відділення Луганського природного заповідника). *Чорноморський ботанічний журнал*. 2008. Т.4, № 1. С. 98–106.
8. Ткаченко В.С., Бойченко С.Г. Структурні зміни степових фітосистем України в другій половині XX та на початку XXI століть як відображення глобальних змін довкілля. *Вісті Біосферного заповідника «Асканія-Нова»*. 2015. Т. 17. С. 4–17.
9. Конайкова В.О. Структура та динаміка рослинності природного заповідника «Сланецький степ»: дис. на здобуття наук. ступеня доктора філософії 091 Біологія, 09: спец. 03.00.05 «Ботаніка». Київ, 2021. 191 с.
10. Коршиков І.І., Петрушкевич Ю.М., Шевчук Н.Ю. Експансія деревно- чагарникових видів рослин у малопорушені степові фітоценози: *Охорона біорізноманіття та історико-культурної спадщини у ботанічних садах та дендропарках, присвяч. 225-річчю заснування Національного дендрологічного парку «Софіївка» НАН України: Матеріали міжнародної наукової конференції*, 2021. С. 160–165.
11. Івченко А.І. Особливості інвазивного та експансивного поширення омели білої. *Колесніковські читання: Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції, присвяч. пам'яті О.І. Колеснікова (м. Харків, 25 листопада 2020 р.)*. Харків: «ЦП КОМПРИНТ», 2020. С. 121–123.
12. Marcinkowska-Ochtyra A., Jarocińska A., Bzdęga K., Tokarska-Guzik B. Classification of Expansive Grassland Species in Different Growth Stages Based on Hyperspectral and LiDAR Data. *Remote Sensing*. 2019, 10. Режим доступу до ресурсу: <http://www.mdpi.com/journal/remotesensing>
13. Флора УРСР. Т. XII. Ред. О.Д. Вісюліна. Київ: Наукова думка, 1965. С. 267.
14. Тарасов В.В. Флора Дніпропетровської і Запорізької областей. Видання друге, доповнене та виправлене. Дніпропетровськ: «Ліра», 2012. 296 с.
15. Червона книга Дніпропетровської області (рослинний світ) / За ред. А.П. Травлєєва. Дніпропетровськ : ВВК Баланс-Клуб, 2010. 500 с.
16. Мойсієнко І.І. Флора Північного Причорномор'я (структурний аналіз, синантропізація, охорона). Додатки : дис. на здобуття наук. ступеня докт. біол. наук : спец. 03.00.05 «Ботаніка». Київ, Київський національний університет ім. Т. Шевченка, 2011. 362 с. (рукопис).
17. Кучер О.О. Адвентивна фракція флори Старобільського злаково-лучного степу та її інвазійний потенціал: автореф. дис. на здобуття канд. біол. наук. 03.00.05 – ботаніка. Київ, 2017. 22 с.
18. Боровик Л.П. Роль чужорідних видів в сукцесіях на перелогах у Старобільських степах. *Geo&Bio*, 2019. Т. 17. С. 26–38.
19. Давидов Д.А. Знахідки деяких чужорідних судинних рослин у Полтавській області. *Природничий альманах. Серія: біологічні науки*, № 32. С. 5–19.
20. Біотопи степової зони України / Ред. акад. НАН України Я.П. Дідух. Київ – Чернівці : ДрукАРТ, 2020. 392с.
21. Злобін Ю.А. Алгоритм оцінки віталітету особин рослин і віталітетної структури фітопопуляцій. *Чорноморський ботанічний журнал*. 2018. Т. 14, № 3. С. 213–226.
22. Барановський Д.І., Гетманець О.М., Хохлов А.М. Біометрія в програмному середовищі MS Excel: навчальний посібник. Харків: СПД Бровін О.В., 2017. 90 с.
23. Красова О.О., Шоль Г.Н., Павленко А.О. *Anisantha sterilis* (L.) Nevski та *Pterotheca sancta* (L.) K. Koch у синантропній флорі Кривбасу. *Синантропізація рослинного покриву України: збірка наукових публікацій*. Київ, 2019. С. 90–93.
24. Дідух Я.П. Наукові засади фітобіотичної стратегії збереження навколишнього середовища в сучасних умовах. *Вісник НАН України*, 2021, № 12. С. 90–98.
25. Долина О.О., Сметана О.М. Територіальна структура та класифікація ґрунтів Криворізького залізородного басейну. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія, екологія*, 2014. 22(2). С. 161–168.
26. Мазур А.Ю., Кучеревський В. В., Шоль Г. Н., Баранець М.О., Сіренко Т.В., Красноштан О.В. Біотехнологія рекультиватії залізородних відвалів шляхом створення стійких трав'янистих рослинних угруповань. *Наука та інновації*. 2015. Т. 11, № 4. С. 41–54.
27. Elton C.S. The ecology of invasions by animals and plants. London: Methuen, 1958. 181 p.
28. Малиновський А.К. Основні напрями та результати досліджень фітоінвазій. *Наукові записки Державного природознавчого музею*. Вип. 34. Львів, 2018. С. 55–68.
29. Мосякін А.С. Огляд основних гіпотез інвазійності рослин. *Український ботанічний журнал*. 2009. Т. 66, № 4. С. 466–476.
30. Begon M., Harper J.L., Townsend C.R. Ecology: individuals, populations and communities. Blackwell Science Ltd., Oxford, 1996. 660 p.

## ФОРМУВАННЯ КОЛЕКЦІЇ *ELAEAGNUS UMBELLATA* THUNB. В ХОРОЛЬСЬКОМУ БОТАНІЧНОМУ САДУ

Красовський В.В.<sup>1</sup>, Федько Р.М.<sup>2</sup>, Черняк Т.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Хорольський ботанічний сад

вул. Кременчуцька, 1/79, 37800, м. Хорол

<sup>2</sup>Дослідна станція лікарських рослин Інституту агроекології і природокористування  
Національної академії аграрних наук України  
вул. Покровська, 16А, 37535, с. Березоточа  
horolbotsad@gmail.com, ukrvilar@ukr.net

Доведено доцільність формування колекції маловідомого виду *E. umbellata* в Хорольському ботанічному саду (м. Хорол Полтавська обл.). Викладені результати дослідження біоекологічних та морфологічних особливостей форм виду, що представлені в колекції. Обґрунтовано перспективність поширення *E. umbellata* як нової плодової та декоративної культури для Лісостепу України.

Наведено результати вивчення морфометричних ознак різних форм *E. umbellata*. Так, у віці 17-ти років, *E. umbellata*. f. 1-2-12 має висоту 250 см, кількість стебел – 7, діаметр стебел – від 15 до 65 мм; *E. umbellata*. f. 1-3-12 має висоту 300 см, кількість стебел – 4, діаметр стебел – від 12 до 35 мм; для *E. umbellata*. f. 1-4-12 характерна висота 250 см, кількість стебел – 10, діаметр стебел – 20–43 мм. В умовах колекції Хорольського ботанічного саду молоді пагони рослин гнучкі, мають сріблясте забарвлення кори з світло-коричневими лусочками, що надає їй крапчастого вигляду. Гілки мають довгі, від 2 до 5 см колючки. Листки досліджуваних рослин чергові, прості, короткочерешкові, від еліптичних до ланцетних, цілокраї, забарвлення листкових пластинок: зверху від яскраво-зеленого до сірувато-зеленого, зісподу – сріблясте. Терміни проходження фенологічних фаз розвитку рослин залежать від погодних умов. У *E. umbellata*. f. 1-2-12 початок вегетації починається значно раніше від інших досліджуваних форм.

За результатами фенологічних спостережень встановлено, що *E. umbellata* щороку проходить всі фази розвитку і плодоносить. Стиглості плоди набувають з другої декади вересня по другу-третю декаду жовтня.

Багаторічні спостереження доводять, що для зони Лісостепу України *E. umbellata* є перспективним посухостійким видом. Рослини ростуть і розвиваються і за відсутності опадів та додаткового поливу, не страждають від нестачі повітряної чи ґрунтової вологи. Не виявлено і пошкоджень рослин морозами, коли температура у зимовий період знижувалась до –28,6 °С. Пошкоджених шкідниками, уражених вірусними і грибними захворюваннями органів рослин також не було виявлено.

Результати проведених досліджень дозволяють рекомендувати *E. umbellata*. f. 1-3-12 як перспективну плодову культуру для присадибного вирощування, а *E. umbellata*. f. 1-2-12 та f. 1-4-12 як декоративні форми рослин для потреб озеленення, зокрема для надання міським насадженням яскравих акцентів. *Ключові слова*: *Elaeagnus umbellata* Thunb., Хорольський ботанічний сад, колекція, фази розвитку, плодоношення, поширення.

### Formation of the *Elaeagnus umbellata* Thunb. collection in the Khorol Botanical Garden. Krasovsky V., Fedko R., Chernyak T.

The expediency of forming the collection of the little-known species *E. umbellata* in the Khorol Botanical Garden (Khorol, Poltava region) has been proven. The results of the study of the bioecological and morphological features of the forms of the species are presented in the collection. The prospect of spreading *E. umbellata* as a new fruit and decorative crop for the Forest-Steppe of Ukraine is substantiated.

The results of the study of the morphometric features of the different forms of *E. umbellata* are given. So, at the age of 17, *E. umbellata*. f. 1-2-12 has a height of 250 cm, the number of stems is 7, the diameter of the stems is from 15 to 65 mm; *E. umbellata*. f. 1-3-12 has a height of 300 cm, the number of stems is 4, the diameter of the stems is from 12 to 35 mm; for *E. umbellata*. f. 1-4-12 characteristic height is 250 cm, the number of stems is 10, the diameter of the stems is 20-43 mm. In the conditions of the collection of the Khorolsky Botanical Garden, the young shoots of the plants are flexible, have a silver color of the bark with light brown scales, which gives it a speckled appearance. The branches have long, from 2 to 5 cm thorns. The leaves of the studied plants are alternate, simple, short-petiolate, from elliptic to lanceolate, entire, the color of the leaf plates: from above, from bright green to grayish-green, from below – silvery. The term of the phenological phases of the plant development depends on the weather conditions. In *E. umbellata*. f. 1-2-12, the beginning of the vegetation begins much earlier than other studied forms.

According to the results of phenological observations, it was established that *E. umbellata* goes through all the phases of the development and bears fruit every year. Fruits ripen from the second decade of September to the second or third decade of October.

The long-term observations prove that *E. umbellata* is a promising drought-resistant species for the Forest-Steppe zone of Ukraine. Plants grow and develop even in the absence of the precipitation and the additional watering, and do not suffer from a lack of the air or soil moisture. No frost damage to the plants was found when the temperature in the winter period dropped to –28.6 °С. The plant organs damaged by pests, affected by viral and fungal diseases were also not detected.

The results of the conducted research allow us to recommend *E. umbellata*. f. 1-3-12 as a promising fruit crop for the home cultivation, and *E. umbellata*. f. 1-2-12 and f. 1-4-12 as the decorative forms of the plants for the needs of landscaping, in particular for the providing bright accents to the urban plantings. *Key words*: *Elaeagnus umbellata* Thunb., the Khorol Botanical Garden, collection, development phases, fruiting, distribution.

**Постановка проблеми.** Демонстрація багатства видів та форм рослинності в наукових установах досягається шляхом застосування різних принципів підбору асортименту, відповідного розміщення рослин на окремих наукових та експозиційних ділянках. Хорольський ботанічний сад, основна діяльність якого спрямована на створення та збереження колекцій рослин з різних фізико-географічних регіонів, проводить комплексні дослідження по збагаченню місцевого флористичного різноманіття та з демонстрації зразків ландшафтів фітобіоти України і світу. Задля цього, на території ботанічного саду, загальна площа якого складає 18 га, створюються різноманітні за призначенням ділянки. В залежності від мети, яка переслідується та задач окремої ділянки, застосовуються систематичний, ботаніко-географічний, екологічний та біоценологічний принцип їх формування та надається відповідне найменування [1, 2, 3].

Основним напрямом наукових досліджень установи є інтродукція та акліматизація субтропічних плодкових рослин, розроблення прикладних аспектів оптимізації інтродукційного процесу [4]. Нині до колекційного фонду субтропічних плодкових рослин входить 27 видів, з них: дерев і кущів – 26, багаторічних трав'янистих – 1.

В установі окрему групу субтропічних видів передбачено дослідити не лише як інтродукцію нових плодкових культур з корисними властивостями, а й екологізацію садівництва за рахунок збагачення видового складу екосистем новими нетрадиційними та малопоширеними інтродукованими рослинами для досягнення рівноваги у довкіллі [5, 6, 7, 8]. На виконання поставлених завдань, проводяться дослідження біоекологічних та морфологічних особливостей маловідомого в Лісостеповій зоні України виду – *маслинка зонтичної* (*Elaeagnus umbellata* Thunb.) з родини Маслинкові (*Elaeagnaceae* Juss).

**Мета дослідження.** Відібрати перспективні форми *E. umbellata* на основі оцінки росту, розвитку, плодоношення, посухо- та зимостійкості рослин в умовах Лісостепової зони України. Сформувати колекцію перспективних форм з подальшим їх поширенням для використання в господарських та декоративних цілях.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Загалом, враховуючи запрограмовані еволюцією біоекологічні особливості субтропічних видів, їх інтродукцію в Лісостеп України, слід розглядати як невід'ємну частку розвитку людського суспільства та постійний процес залучення господарсько-цінних видів рослин у нові місця зростання. Це в цілому вирішує проблему збагачення біорізноманіття, оптимізацію сучасного садівництва і екологізацію довкілля [9].

Дослідний проект Хорольського ботанічного саду «Інтродукція субтропічних плодкових культур в Лісостеп України» (рішення Науково-технічної ради Хорольського ботанічного саду № 1 від

17.08.2012 р.) власне і є подальшим втіленням інтродукційної діяльності на Полтавщині, а Хорольський ботанічний сад позиціонується як база наукових досліджень з інтродукції субтропічних рослин за відкритого ґрунту [10].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Родина *Elaeagnaceae* налічує три роди і близько 55 видів, що зростають в Євразії та Північній Америці [11]. В Україні культивуються рослини трьох родів: *Elaeagnus* L., *Hippophae* L. і *Shepherdia* Nutt. Рід *Elaeagnus* представлений сьома видами, рід *Hippophae* одним, рід *Shepherdia* двома видами [12].

Рослини родини *Elaeagnaceae* – дерева і кущі, вічнозелені чи листопадні, з характерним опушенням гілок із зірчастих трихом і щиткоподібних лусок. Листки цілісні, цілокраї, почергові чи супротивні, короткочерешкові. У видів родини на коренях розвиваються бульбочки з азотофіксуючими бактеріями, завдяки чому вони можуть рости на досить бідних ґрунтах і є рослинами, що здатні покращувати умови для інших видів рослин [13]. У рослин роду *Elaeagnus* квітки двостатеві чи полігамні, у *Hippophae* і *Shepherdia* – одностатеві (рослини дводомні), рідко двостатеві. Квітки видів родини пазушні, поодинокі, зібрані в малоквіткові пучки чи короткі китиці. Оцвітина проста, чашечкоподібна, 4-членна, у *Hippophae* двочленна, тичинок – 4, у *Shepherdia* – 8. Нектарний диск має золотисто забарвлені вирости. У *Hippophae* він формується лише у чоловічих квіток. Квітки *Elaeagnus* і *Shepherdia* запилюються комахами, а у *Hippophae* вони, ймовірно, вітрозапильні. Гінецей складається з одного плодолистка. Зав'язь нижня. Плід представників родини схожий на кістянку горішок, занурений в м'ясисту розрослу трубку чашечки. Проте ботаніки вважають його псевдокістянкою (ми ж описуємо плід як маслинкоплідник [14]). Насінина з прямим зародком. Ендосперм слабозвинений чи відсутній. Плоди поширюються птахами та тваринами, а у *Hippophae* – і водою [11].

Рід *Elaeagnus* є найчисельнішим в родині. Він налічує 40–50 видів, які зростають, здебільшого, у Східній, Південно-Східній та Середній Азії, Південній Європі, Північній Америці. Рослини роду *Elaeagnus* – невисокі дерева чи кущі, вічнозелені, з шкірястими листками, рідше листопадні, часто з колючками. Вічнозелені види переважно цвітуть восени, плодоносять весною, а листопадні – навпаки.

В Україні культивуються сім видів роду: маслинка срібляста (*Elaeagnus argentea* Pursh.), маслинка вузьколиста (*Elaeagnus angustifolia* L.), маслинка східна (*Elaeagnus orientalis* L.), маслинка зонтична (*Elaeagnus umbellata* Thunb.), маслинка багатоквітова (*Elaeagnus multiflora* Thunb.), маслинка великолиста (*Elaeagnus macrophylla* Thunb.), маслинка колюча (*Elaeagnus pungens* Thunb.). Найпоширеніші з них *E. argentea* та *E. angustifolia*.

*E. argentea* – кущ до 2–4 м заввишки без колючок, з пагонами, покритими червоно-коричнево-сріблястими лусками, що виконують захисну функцію.

*E. angustifolia* – кущ чи невелике деревце до 6–8 (10) м заввишки з гострими колючками та характерним для молодих гілочок, листків і плодів, сріблястим опушенням із зірчастих трихом і щиткоподібних лусок.

На основі результатів досліджень біоекологічних особливостей *E. multiflora* обґрунтовано доцільність та доведено успішність інтродукції цього виду в Лісостеп України. Акліматизаційне число *E. multiflora* становить 90–100 і свідчить про повну акліматизацію її в даному регіоні. Впродовж інтродукційних досліджень з колекційного фонду Національного ботанічного саду ім. М.М. Гришка НАН України було відібрано 6 перспективних форм *E. multiflora* з високим вмістом біологічно активних речовин, що сприяло збільшенню виробництва плодів в культурі [15].

В країнах Східної Азії – Китаї, Японії і Кореї *E. umbellata* культивують як плодову рослину [11, 12]. В Україні *E. umbellata* нині культивується у багатьох ботанічних садах і парках Києва, Ужгорода, Чернівців, Рівного, Асканії-Нової, Винниці, Білої Церкви, НБС-ННЦ НААН. Перші спогади про культивування виду у Никітському ботанічному саду датовані 1816 роком. Росте задовільно, в окремі роки підмерзає, в умовах Києва рослини витримували зниження температури повітря до –25 і –28 °С. Після підмерзання добре регенерує. Розмножується насінням і зеленими живцями [12].

**Вклад основного матеріалу.** Формування колекції виду *E. umbellata* в м. Хорол розпочато з 2008 року шляхом висаджування однорічних сіянців у розсадник майбутнього Хорольського ботанічного саду (прим. Хорольський ботанічний сад було створено у 2009 році). Садивний матеріал було отримано з ДП «ДГ «Новокаховське» НБС-ННЦ НААН (с. Плодове Херсонська область), нині підпорядкованого Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН.

При перенесенні у 2014 році 8-ми річних плодоносних саджанців *E. umbellata* на постійне місце зростання – колекційну ділянку «Сад субтропічних плодових культур», було виділено зразки, які відрізняються між собою за величиною та масою плоду. Польовий номер кожного зразка відповідає наскрізній нумерації інтродукційного журналу установи.

В умовах Хорольського ботанічного саду *E. umbellata* зростає за достатнього освітлення, на чорноземних ґрунтах з природним їх зволоженням.

Морфометричні показники 17-річних рослин, що мають життєву форму багатостеблових кущів висотою 2,5–3,0 м з ширококорозлогою кроною наведено в таблиці 1. Гілки куща містять довгі (від 2 до 5 см) колючки. Молоді пагони гнучкі, сріблястого кольору

з світло-коричневими лусками, що надає їм крапчастого вигляду (рис. 1).

Таблиця 1  
Морфометричні показники рослин *E. umbellata* колекції Хорольського ботанічного саду

Форма	Висота куща, см	Кількість стебел, шт.	Діаметр стебел, мм
1-2-12	250	7	15–65
1-3-12	300	4	12–35
1-4-12	250	10	20–43

За ботанічним описом досліджувані рослини мають чергові, прості, короткочерешкові листки від еліптичної до ланцетної форми з цілісними краями (рис. 2). Забарвлення листових пластинок: зверху від яскраво-зеленого до сірувато-зеленого, зісподу – сріблясте. Формування листків залежало від погодних умов і припадало на квітень-початок травня, листопад розпочинався пізньої осені. У зразку (ф. 1-2-12) листки починають розпускатися раніше за інші – у третій декаді березня (рис. 3).

Цвіте *E. umbellata* з травня по червень, квітки утворюються на пагонах минулорічного приросту. Квітки двостатеві, дрібні, до 1 см, забарвлення від блідо-жовтого до білого. Вони розміщені у пазухах листків, зібрані у китиці до 7 штук. Оцвітина проста чотиричленна, дзвоникоподібна, містить 4 тичинки і маточку з ниткоподібним стовпчиком (рис. 4).

Недостиглі плоди зеленувато-сріблясті, в період повного досягання, що проходить з вересня по жовтень, набувають рубіново-червоного забарвлення з дрібним крапленням коричневого кольору. Плоди не великі, в середині містять одну веретеноподібну кісточку жовтого кольору, навколо якої зосереджена досить смачний



Рис. 1. Кущ *E. umbellata* (форма 1-2-12), Хорольський ботанічний сад, 13.04.2023 р.



Рис. 2. Листки *E. umbellata*, Хорольський ботанічний сад, серпень 2022 р.

борошністий м'якуш (рис. 5). Морфометричні показники плодів *E. umbellata* наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

### Морфометричні показники плодів *E. umbellata*

Форма	Розміри плоду, мм		Маса плоду, г	Розміри кісточки, мм	
	довжина	ширина		довжина	товщина
1-2-12	8	8	0,22	5	3
1-3-12	7	8	0,20	5	3
1-4-12	7	7	0,19	4	3

Плоди досягають з другої декади вересня по другу-третю декаду жовтня, у зв'язку з чим збір врожаю проводиться у декілька прийомів (рис. 6).

Для Лісостепової зони України вид *E. umbellata* є достатньо посухостійким, адже за відсутності опадів та додаткового поливу у вегетаційний період, навіть у спекотні дні червня-серпня, рослини не страждали від нестачі повітряної чи ґрунтової вологи. Також, за період метеоспостережень з 2008 по 2022 роки, на рослинах не виявлено пошкоджень морозами, в тому числі при зниженні температура повітря у зимовий період до  $-28,6^{\circ}\text{C}$  (період спостережень 01.12.2011 – 01.03.2012).

З 2023 року у Хорольському ботанічному саду колекція *E. umbellata* доповнена сортами 'Saint Peters' та 'Amber' (з плодами жовтого кольору).



Рис. 3. Початок вегетації *E. umbellata* (f. 1-2-12), Хорольський ботанічний сад, 04.04.2023 р.



Рис. 4. Квітування *E. umbellata*, Хорольський ботанічний сад, 24.05.2022 р.



Рис. 5. Плоди та насіння *E. umbellata* (форма 1-3-12), Хорольський ботанічний сад, 28.10.2022 р.



Рис. 6. Плодоношення *E. umbellata* (форма 1-3-12), Хорольський ботанічний сад, 07.10.2022 р.

В спеціалізованих наукових виданнях не знайдено інформації щодо лікувальних властивостей *E. umbellata*, проте у науково-популярних та даних інтернет-ресурсу зазначається, що у плодах *E. umbellata* містяться білки і вуглеводи, дубильні і фарбувальні речовини, органічні кислоти, солі фосфору і калію. В листках присутні вітаміни Е і С, в квітках – ефірна олія. У народній медицині рослину використовують в якості в'язучого, противірусного та антибактеріального засобу при запальних процесах в організмі. З листя готують відвари і настої, які сприяють зниженню температури тіла при лихоманці та застуді, їх застосовують зовнішньо при радикуліті, ревматизмі, подагрі. Плоди *E. umbellata* поліпшують пам'ять і полегшують протікання малярії, вони також мають відхаркувальний і сечогінний ефект. Крім того, ягоди *E. umbellata* використовують як тонізуючий і загальнозміцнюючий засіб. Показаннями до їх застосування є захворювання серцево-судинної системи. Відвар сухих плодів застосовують при колітах і проносах. Також в народній медицині препарати з квіток призначають при набряках, колітах, бронхі-

тах, хворобах серця, а також як ранозагоювальний і гельмінтогінний засіб. Вони ефективні при ревматизмі, подагрі, гіпертонії та високій температурі.

**Головні висновки.** За результатами багаторічних досліджень встановлено, що впродовж 2008–2023 років рослини виду *E. umbellata* в умовах Хорольського ботанічного саду щороку проходять всі, характерні для вікового стану рослин, фази розвитку, квітуть з травня по червень та плодоносять. Плоди досягають з другої декади вересня по другу-третю декади жовтня. Для зони Лісостепу України вид *E. umbellata* є достатньо посухо- та морозостійким, пошкоджень шкідниками та уражень вірусними та грибними хворобами не виявляли. Пошкоджених шкідниками, уражених вірусними і грибними захворюваннями органів рослин також не було виявлено.

Результати проведених досліджень дозволяють рекомендувати *E. umbellata* f. 1-3-12 як перспективну плодову культуру для присадибного вирощування, а *E. umbellata* f. 1-2-12 та f. 1-4-12 як декоративні форми рослин для потреб озеленення, зокрема для надання міським насадженням яскравих акцентів.

### Література

1. Байрак О. М., Красовський В. В. Принципи формування колекції рідкісних видів рослин у Хорольському ботанічному саду. *Інтродукція, збереження та моніторинг рослинного різноманіття* : матеріали Міжнар. наук. конф. Київ : ПАЛІВОДА А. В., 2014. С. 124–125.
2. Заповідні території України. Ботанічні сади та дендропарки : науково-довідкове видання / за ред. Т. М. Червченко, С. С. Волков. Київ : ТОВ «РСК «МАКСИМУС», 2010. 296 с.
3. Красовський В. В., Черняк Т. В., Столяров М. В., Зубенко О. В. Концепція та видовий склад проєктованих ділянок Хорольського ботанічного саду. *Теоретичні та прикладні аспекти вивчення, збереження та збагачення фіторізноманіття у науково-дослідних установах та навчальних закладах України* : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. Хорол : ФОП Гаража М.Ф., 2018. С. 3–15.
4. Булах П. Є. Теоретичні основи оптимізації інтродукційного процесу : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук : 03.00.05. Київ, 2006. 30 с.
5. Красовський В. В., Панченко О. О. Перспективи інтродукції субтропічних плодкових культур у Лісостепу України в контексті глобальних та регіональних змін клімату. *Екологічні науки*. Київ, 2017. № 3–4 (18–19). С. 55–63.
6. Красовський В. В. Інтродукція субтропічних плодкових культур як шлях до екологізації садівництва у Лісостеповій зоні України. *Екологія – філософія існування людства* : матеріали II Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених. Київ, 2013. С. 159–161.
7. Красовський В. В. Субтропічні плодкові культури *Zizyphus jujuba* Mill., *Diospyros virginiana* L., *Asimina triloba* L. як невикористаний резерв примноження біорізноманіття лісостепової зони. *Роль ботанічних садів і дендропарків у збереженні та збагаченні біологічного різноманіття урбанізованих територій* : матеріали Міжнар. наук. конф. Київ, 2013. С. 93–94.
8. Красовський В. В. Субтропічні плодкові культури у розбудові Хорольського ботанічного саду. *Екологія – основа збалансованого природокористування в агропромисловому виробництві* : матеріали Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. Полтава, 2013. 5 с.
9. Клименко С. В. Нові види плодкових рослин в інтродукційних дослідженнях Національного ботанічного саду ім. М.М. Гришка НАН України. *Досягнення та концептуальні напрями вирощування малопоширених плодово-ягідних культур та переробки їх сировини* : матеріали Першої Всеукр. наук.-практ. конф. с. Новосілки, 18–19 груд. 2018 р. Київ, 2019. С. 9–12.
10. Красовський В. В., Козлов А. В. Інтродукція субтропічних плодкових культур у Лісостеп України як оригінальний підхід до використання вигоди від глобального потепління клімату. *Євроінтеграція екологічної політики України* : матеріали Всеукр. наук. конф. (Одеса, 29–31 трав. 2019 р.). Одеса, 2019. С. 170–174.
11. Заячук В. Я. Дендрологія : підручник. Львів : СПЛОМ. 2014. 676 с.
12. Дендрофлора України. Дикорослі й культивовані дерева і кущі. Покритонасінні. Частина II : Довідник / Кохно М. А. та ін.; за ред. М. А. Кохна, Н. М. Трофименко. Київ : Фітосоціоцентр, 2005. 716 с.
13. Надкернична О. В. Азотфіксуєчі мікробно-рослинні симбіози. *Сільськогосподарська мікробіологія*. Чернівці, 2005. Вип. 1–2. С. 105–127.
14. Красовський В. В., Черняк Т. В., Федько Р. М., Тимошенко Л. М. Господарсько-біологічна класифікація субтропічних плодкових культур колекції Хорольського ботанічного саду. *Агроекологічний журнал*. Київ, 2022, № 2. С. 64–73.
15. Васюк Є. А. Маслинка багатоквіткова (*Elaeagnus multiflora* Thunb.) в Лісостепу України (ріст, розвиток, розмноження) : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук : 03.00.05. Київ, 2004. 20 с.



## АНАЛІЗ ПОЛІМОРФІЗМУ ГЕНОТИПІВ ПОПУЛЯЦІЇ ЛЕБЕДИНСЬКОЇ ПОРОДИ ВРХ ЗА ГЕНАМИ *DGAT1* ТА *CAPN1*

Мохначова Н.Б.

Інститут розведення і генетики тварин імені М.В. Зубця  
Національної академії аграрних наук України  
вул. Погребняка, 1, 08321, с. Чубинське  
[nataliia.mokhnachova82@gmail.com](mailto:nataliia.mokhnachova82@gmail.com)

У статті представлені результати дослідження структурних генів в популяції української аборигенної лебединської породи корів, які асоціюються з молочною та м'ясною продуктивністю: діацилгліцерол-О-ацилтрансфераза 1 (*DGAT1*) та кальпаїн (*CAPN1*). Ці гени впливають на якість, склад молока корів та його кількість, а також на післязайбні якості м'ясних продуктів (асоціюється з ніжнішим м'ясом). Вивчення генетичної структури аборигенних порід ВРХ є важливим для збереження різноманіття генофонду цих тварин. Генетичні дослідження дозволяють виявити рідкісні генетичні ресурси та відбирати таких тварин для розведення, що сприяє поліпшенню якості та кількості молока та м'яса.

Всього було досліджено поліморфізм 2 генів (*DGAT1* та *CAPN1*). Для дослідження використали 32 зразки ДНК, виділеної із венозної крові корів лебединської породи за допомогою набору «ДНК Сорб-Б» (AmpliSens). Генотипування проводили використовуючи аналіз поліморфізму довжин рестрикційних фрагментів на основі полімеразної ланцюгової реакції (ПЛР-ПДРФ). Ампліфікований фрагмент *DGAT1* (411 п.н.) обробляли ферментом рестрикції *CfrI*. Особливістю алейного спектру гену діацилгліцерол-О-ацилтрансферази 1 у вивчених тварин є значне переважання алей *K* (0,75). Тварин з генотипом *AA* виявлено не було. Для гена *CAPN1* ампліфікований фрагмент розміром 341 п.н. обробляли рестриктазою *PvuI*. Встановлено значне переважання тварин з гетерозиготним генотипом *CAPN1<sup>AG</sup>* та рівнозначну частоту виявлених алей *A* та *G* (0,5).

Виявлені особливості алейного спектру генів *DGAT1* та *CAPN1*, які характерні для дослідженої популяції української аборигенної лебединської породи корів. Результати дослідження є цінними у зв'язку з різким скороченням чисельності місцевих аборигенних популяцій і виникнення загрози зникнення власних генетичних ресурсів сільськогосподарських видів. **Ключові слова:** корови, аборигенна порода корів, лебединська порода, поліморфізм, гени, генотип, алей, діацилгліцерол-О-ацилтрансфераза 1, кальпаїн.

### Analysis of polymorphism of genotypes of the lebedyn cattle population by the *DGAT1* and *CAPN1* genes. Mokhnachova N.

The article presents the results of the study of structural genes in the population of the Ukrainian indigenous Lebedyn breed of cows, which are associated with milk and meat productivity: diacylglycerol-O-acyltransferase 1 (*DGAT1*) and calpain (*CAPN1*). These genes affect the quality, composition and quantity of cows' milk, as well as post-slaughter qualities of meat products (associated with more tender meat). Studying the genetic structure of indigenous breeds of cattle is important for preserving the diversity of the gene pool of these animals. Genetic research makes it possible to identify rare genetic resources and select such animals for breeding, which contributes to improving the quality and quantity of milk and meat.

A total of 2 gene polymorphisms (*DGAT1* and *CAPN1*) were investigated. For the research, 32 samples of DNA isolated from the venous blood of Lebedyn breed cows using the "DNA Sorb-B" kit (AmpliSens) were used. Genotyping was performed using polymerase chain reaction (RFLP-PCR) polymorphism analysis of restriction fragment lengths. The amplified fragment of *DGAT1* (411 bp) was treated with the restriction enzyme *CfrI*. A feature of the allelic spectrum of the diacylglycerol-O-acyltransferase 1 gene in the studied animals is a significant predominance of the *K* allele (0.75). No animals with the *AA* genotype were found. For the *CAPN1* gene, an amplified fragment of 341 bp. were treated with *PvuI* restriction enzyme. A significant predominance of animals with the heterozygous *CAPN1<sup>AG</sup>* genotype and an equal frequency of detected alleles *A* and *G* (0.5) were established.

Features of the allelic spectrum of the *DGAT1* and *CAPN1* genes, which are characteristic of the studied population of the Ukrainian indigenous Lebedyn breed of cows, were revealed. The results of the study are valuable in connection with the sharp reduction in the number of local aboriginal populations and the threat of extinction of the own genetic resources of agricultural species. **Key words:** cows, indigenous breed of cows, Lebedyn breed, polymorphism, genes, genotype, allele, diacylglycerol-O-acyltransferase 1, calpain.

**Постановка проблеми.** Сільське господарство, на сьогодні, одна з найприбутковіших галузей України. Країна має значні ресурси для розвитку тваринництва, яке включає в себе вирощування великої рогатої худоби, свиней, птиці та овець. Одним із основних напрямків селекційної роботи в м'ясному скотарстві є підвищення м'ясної продуктивності різних порід великої рогатої худоби. Для вирішення цього завдання використовується маркер-асоційований відбір сільськогосподарських тварин [1, 2].

**Актуальність дослідження.** Основною заслугою генетичних маркерів є те, що вони незмінні за своїм складом, незалежні від умов навколишнього середовища і мають кодовий тип успадкування, а отже, і чіткий генетичний контроль [3, 4]. Використання генетичних маркерів у скотарстві забезпечить збільшення ефективності селекційно-племінної роботи за рахунок підвищення точності оцінки генетичного потенціалу продуктивності та скорочення генераційного інтервалу. На сьогоднішній день визначено низку генів, асоційованих з деякими господарсько

корисними ознаками великої рогатої худоби. Одним із таких важливих ДНК-маркерів є гени: діацилгліцерин О-ацилтрансферазу (DGAT1) та кальпаїн 1 (CAPN1).

Діацилгліцерол-О-ацилтрансфераза 1 (DGAT1) – один з ключових ферментів метаболізму тригліцеридів, що каталізує заключну стадію їхнього біосинтезу. DGAT1 відіграє важливу роль у ряді фізіологічних процесів у вищих еукаріотів, таких як регуляція концентрації триацилгліцеролів у крові, формування жирової тканини, дозрівання ооцитів та ін. [5, 6]. Дефіцит DGAT1 призводить до порушення синтезу жирних кислот у жировій тканині, скелетних м'язах [7], а також у молочній залозі аж до повної відсутності лактації [8].

Ген, що кодує DGAT1 у *Bos taurus*, розташований у центромірній ділянці хромосоми 14 разом з іншими генами, що визначають молочну продуктивність і якість молока і формують так званий локус кількісних ознак QTL (Quantitative trait loci) [9, 10].

Серед відомих алельних варіантів гена DGAT130 великої рогатої худоби у 2002 році Grisart et al. була ідентифікована казуальна мутація GC-AA в позиції 10433/10434 (відповідно до нумерації послідовності GenBankno. AJ318490), що призводить до негомологічної заміни 232-го амінокислотного залишку (A ^ K)[11]. У ряді робіт показано, що алель K асоційований з відсотковим вмістом молочного жиру, а алель A – з високими удоями. Деякі дослідження підтверджують кодомінантний тип спадкування за геном DGAT1 [12].

Ген CAPN1 кодує протеїназу кальпаїн 1 типу, яка активується після смерті тварини і запускає процес руйнування міофібрилярних білків (м'язові волокна). Три описані мутації в цьому гені (CAPN1\_316, CAPN1\_4751, CAPN1\_530) призводять до більш інтенсивного руйнування міофібрилярних білків, що відбивається на післязубійних якостях м'ясних продуктів і асоціюється з ніжнішим м'ясом.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Робота виконувалась у відділі генетики та біотехнології тварин Інституту розведення і генетики тварин ім. М.В. Зубця НААН відповідно до програми науково-дослідних робіт «Генетична оцінка тваринреферентних популяцій за SNP-поліморфізмом різних локусів ДНК» (№ держреєстрації 0121U109254, 2021–2025).

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

У раніше проведених дослідженнях з оцінки впливу поліморфізму гена CAPN1, який зумовлює модифікацію м'язової структури, було виявлено як залежність структурно-механічних властивостей м'яса від наявності чи відсутності бажаного алелю, а й зміна амінокислотного складу м'яса з прикладу валіну. Цей факт дозволив констатувати, що наявність цього гена у бажаній алельній формі сприяє зміні у білковому синтезі. Отримані дані дозволили припустити, що

тварини, що мають цю мутацію, характеризуватимуться більш прискореними темпами зростання при стандартному годуванні. Це зумовлено тим, що дана амінокислота відіграє ключову роль у метаболізмі м'язів та відновлення пошкоджених тканин [13].

Поліморфізми, розташовані в генах DGAT1 та CAPN1 раніше дослідниками були пов'язані з ознаками молочного чи м'ясного виробництва. У роботі авторами були вивчені ці поліморфізми на предмет суттєвого впливу на репродуктивні ознаки (вік у пубертатний період, післяпологовий інтервал еструсу, здатність овулювати і вагу, зростання та сироваткову концентрацію інсуліноподібного фактора зростання). В результаті досліджень поліморфізм у гені DGAT1 був пов'язаний з віком періоду статевого дозрівання, а два поліморфізми в CAPN1 були пов'язані з післяпологовим інтервалом еструсу та овуляцією [14; 15].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Наразі вітчизняною та зарубіжною наукою та практикою генотиповано більшість порід великої рогатої худоби за безліччю ДНК-маркерів, проте українська аборигенна лебединська худоба вивчена досить мало..

**Новизна.** Вперше проводиться робота з вивчення генетичної структури лебединської породи ВРХ за генами DGAT1 та CAPN1, які асоційовані з молочною та м'ясною продуктивністю.

**Матеріали і методи досліджень.** Було досліджено зразки крові від дійних корів лебединської породи з господарства ПГ «Голосієво» (n=32) Київської області, Україна (рис. 1). Молекулярно-генетичні дослідження проводились на базі відділу генетики та біотехнології Інституту розведення і генетики тварин ім. М.В. Зубця НААН.

Зразки крові відбирали з яремної вени в об'ємі 5 мл в вакуумні пробірки з сухим ЕДТА. Геномну ДНК виділяли згідно з стандартною методикою, використовуючи комерційний набір «ДНК Сорб-Б» (AmpliSens). Концентрацію ДНК доводили до 50 нг/мкл. Поліморфізм генів *DGAT1* та *CAPN1* досліджували методом ПЛР-ПДРФ. Нуклеотидні послідовності праймерів для ампліфікації та назви рестриктаз для рестрикції продуктів ампліфікації показано в табл. 1.

Умови ПЛР та схеми рестрикційного аналізу продуктів ампліфікації поліморфних ділянок досліджуваних генів в таблиці 2.

Суміш для проведення ПЛР у своєму складі містила: 2 мкл буфера для ДНК полімерази, 1,0 мкл суміші дНТФ («Амплісенс»), 1,0 мкл відповідного праймера, 0,2 мкл ДНК-полімерази («*Fermentas*» Литва). Геномна ДНК додавалась у кількості 2,0 мкл, решта ddH<sub>2</sub>O. Загальний об'єм ДНК-суміші становив 10 мкл. Ампліфікацію ДНК проводили на програмованому чотирьохканальному термоциклері TP4-ПЦР-01-«Терцик»



Рис. 1. Корова лебединської породи ПГ «Голосієво» Київська обл.

Таблиця 1

## Нуклеотидні послідовності праймерів та рестриктази

Послідовність праймера	Ампліфікат, (п.н.)	Рестриктаза	Посилання
DGAT1			
F: 5'-GCACCATCCTCTTCCTCAAG-3' i R: 5'-GGAAGCGCTTTCGGATG-3'	411	CfrI	Winter et al., 2002[16]
CAPN1			
5'-TCTTCTCAGAGAAGAGCGCAG-3' i 5'-CTGCGCCATTACTATCGATC-3'	341	Psy I	L. Grobet,1997[17]

Таблиця 2

## Характеристика умов ПЛР та схеми ПДРФ-аналізу продуктів ампліфікації

Поліморфізм	Умови ампліфікації	Генотипи та відповідні довжини рестрикційних фрагментів
DGAT1-CfrI	94 °C – 4 хв; (95 °C – 15 с; 58 °C – 15 с; 72 °C – 60 с)х35; 72° – 5 хв	DGAT1- CfrI <sup>KK</sup> :411; DGAT1- CfrI <sup>AA</sup> :203+208; DGAT1-CfrI <sup>KA</sup> :411+203+208;
CAPN1-Psy I	95 °C – 4 хв; (95 °C – 15 с; 63 °C – 15 с; 72 °C – 60с)х35; 72 °C – 10 хв	CAPN1- Psy I <sup>AA</sup> :341; CAPN1- Psy I <sup>GG</sup> :195+146; CAPN1-Psy I <sup>AG</sup> :341+195+146;

(ДНК-технологія). Прилад виконаний у вигляді єдиного модуля, що об'єднує 4 незалежно керованих термоблока. В кожному термоблоці встановлена матриця на 10 пробірок об'ємом 0,5 мл.

Продукти ПЛР обробляли специфічними рестрикційними ферментами: до 10 мкл ПЛР-продукту додавали 5 од./мкл рестриктази та 1,5 мкл рестрикційного буферу, інкубували при 37 °C 12 год. Візуалізацію результатів проводили в 2-3% агарозному гелі з бромистим етидієм. у 1хTBE-буфері при постійній напрузі 100 В протягом 90 хв, з наступною детекцією за допомогою транслюмінатора ТУВ-1 в ультрафіолетовому світлі 312 нм. В якості маркерів молекулярних мас використовували GeneRuler™ 50 bp DNA Ladder та Thermo Scientific™ GeneRuler 1

kb Plus DNA Ladder. Аналіз результатів проводили, фотографуючи гелі цифровою камерою.

Статистичний аналіз проводили за допомогою програмного пакету Statistica 6.0 та Exel (Microsoft Office 2007).

**Виклад основного матеріалу.** В популяції лебединської аборигенної породи ВРХ було досліджено 2 локуси (DGAT1 та CAPN1), які є генами-кандидатами молочної та м'ясної продуктивності. Гени вибрані так, щоб проаналізувати молочну та м'ясну характеристики, як одні з найголовніших господарсько-корисних ознак.

**Локус DGAT1**

Аналіз результатів генотипування (рис. 2) дослідженого поголів'я встановив поліморфізм за геном

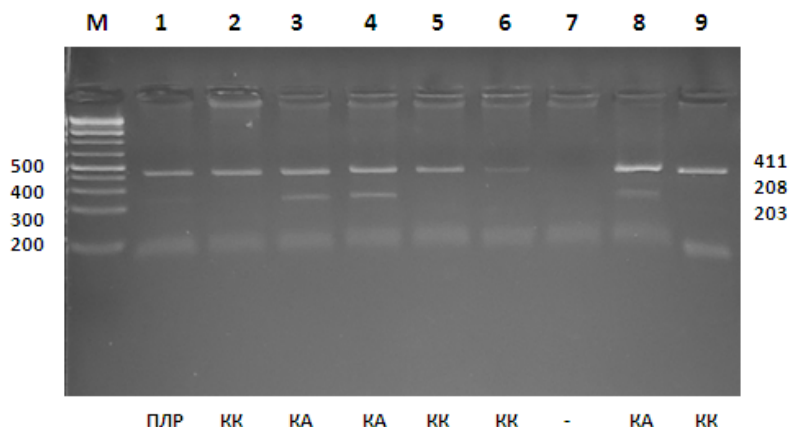


Рис. 2. Електрофоретичний аналіз продуктів рестрикції при визначенні генотипів за геном *DGAT1*: М – маркер молекулярних мас; генотипи тварин вказані під фото

діацилгліцерол-О-ацилтрансферази 1 (*DGAT1*) у вигляді наявності двох алельних станів: *DGAT1<sup>A</sup>* і *DGAT1<sup>K</sup>*. Так, частота «бажаного» алеля *K* (0,75) у тварин лебединської породи, у 3 рази була вищою, від частоти алеля *A* (0,25). Це знайшло своє відображення в частоті генотипів *DGAT1<sup>KK</sup>* та *DGAT1<sup>KA</sup>*, які зустрічалися в однаковій кількості тварин – 16 гол. і 16 гол., відповідно. Тварин з генотипом *DGAT1<sup>AA</sup>* в даній вибірці виявлено не було.

Оцінка ступеня генетичної різноманітності виявила, що показник гомозиготності за геном *DGAT1* у вивчених тварин знаходився на рівні 50%, тобто 16 голів.

Значення фактичної рівноваги у тварин лебединської породи ВРХ на 0,125 перевищує теоретично очікувану (Табл. 3). Відповідно до закону Харді-Вайнберга, за локусом діацилгліцерол-О-ацилтрансферази 1 у дослідженої вибірки тварин порушена генетична рівновага.

**Локус *CAPN1***

За допомогою рестриктази *Pvu I* визначили поліморфізм гену кальпаїну у корів лебединської породи. За наявності або відсутності сайтів рестрикції було виявлено два алельних варіанта А та G і наявність трьох генотипів із трьох теоретично можливих: GG, AA та AG (рис. 3).

Таблиця 3

**Популяційні особливості генетичної структури лебединської породи ВРХ за геном діацилгліцерол-О-ацилтрансферази 1**

Порода	Розмір вибірки	Частота генотипів		Частота алеля		Гетерозиготність		$\chi^2$	$F_{IS}$
				К	А	$H_0$	$H_E$		
Лебединська	32	КК	0.5	0,75±0,021	0,25±0,021	0,5	0,375	2,22	-0,33
		КА	0.5						
		АА	-						

Примітка.  $H_0$  – фактична гетерозиготність;  $H_E$  – очікувана гетерозиготність;  $\chi^2$  – критерій відповідності;  $F_{IS}$  – індекс фіксації Райта.

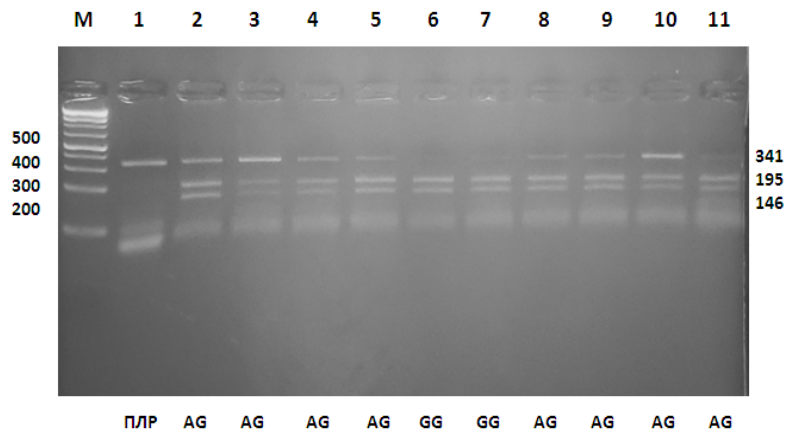


Рис. 3. Електрофоретичний аналіз продуктів рестрикції при визначенні генотипів за геном *CAPN1*: М – маркер молекулярних мас; генотипи тварин вказані під фото

Популяційні особливості генетичної структури лебединської породи ВРХ за геном діацилгліцерол-О-ацилтрансферази 1

Порода	Розмір вибірки	Частота генотипів		Частота алеля		Гетерозиготність		$\chi^2$	$F_{IS}$
				G	A	$H_0$	$H_E$		
Лебединська	32	GG	0,1	0,50±0,022	0,50±0,022	0,80	0,50	11,77	-0,6
		AG	0,8						
		AA	0,1						

Примітка.  $H_0$  – фактична гетерозиготність;  $H_E$  – очікувана гетерозиготність;  $\chi^2$  – критерій відповідності;  $F_{IS}$  – індекс фіксації Райта.

Більшість досліджених тварин є носіями гетерозиготного генотипу AG гену кальпаїну. Частота переважаючого генотипу склала 80% або 26 голів. Гомозиготами виявились 20% або 6 голів (табл. 4). Генотип GG був виявлений у 10% (3 гол.) досліджених нами тварин. Частота «бажаного» алелю G у тварин лебединської породи досягла 50%, що є тотожним показнику алелю A.

Переважаання фактично отриманого рівня гетерозиготності над теоретично очікуваним виявилось досить суттєвим, про що свідчить високе значення  $\chi^2=11,77$ . Показник гомозиготності за геном кальпаїну (CAPN1) виявився низьким і склав 20%.

#### Головні висновки:

1. Аналіз результатів дослідження популяції лебединської породи ВРХ за геном діацилгліцерол-О-

ацилтрансферази 1 (DGAT1) показав, що 50% тварин були носіями «бажаного» для молочної продуктивності генотипу DGAT1<sup>KK</sup>.

2. У вивченій вибірці лебединської худоби виявлено 80% переважання тварин з гетерозиготним генотипом CAPN1<sup>AG</sup>, який містить в собі «бажаний» для м'ясної продуктивності алель G.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Результати досліджень становлять інтерес у галузі молекулярно-генетичного аналізу геному лебединської худоби та вивчення біорізноманіття великої рогатої худоби в цілому. Отримані дані можуть використовуватися як додатковий критерій у селекційних програмах з метою збереження та збільшення генетичної різноманітності українських порід ВРХ, а також отримання від них цінної продукції.

#### Література

- Spurlock D.M., Stock M.L., Coetzee J.F. The impact of 3 strategies for incorporating polled genetics into a dairy cattle breeding program on the overall herd genetic merit. *Journal of Dairy Science*. 2014. № 97(8). P. 5265–5274. doi: 10.3168/jds.2013-7746
- Kariuki C.M., Brascamp E.W., Komen H., Kahi A.K., Van Arendonk JAM. Economic evaluation of progeny-testing and genomic selection schemes for small-sized nucleus dairy cattle breeding programs in developing countries. *Journal of Dairy Science*. 2017. № 100(3). P. 2258–2268. doi.org/10.3168/jds.2016-11816
- Jaton C., Koeck A., Sargolzaei M., Malchiodi F., Price C.A., Schenkel F.S., Miglior F. Genetic analysis of superovulatory response of Holstein cows in Canada. *Journal of Dairy Science*. 2016. № 99(5). P. 3612–3623. doi: 10.3168/jds.2015-10349
- Shevchuzhev A., Belik N., Emelyanov E., Tokar A. Milk productivity of Simmental cows Austrian selection. In: 16th international scientific conference engineering for rural development, 2426.05.2017 Jelgava, LATVIA; LV:Latvia University of Agriculture. 2017. P. 1354–1358. doi: 10.22616/ERDev2017.16.N304
- Homa S.T., Racowsky C., McGaughey R.W. Lipid analysis of immature pig oocytes. *J. Reprod. Fertil.* 1986. V. 77. P. 425–434.
- Cases S., Smith S.J., Zheng Y.W., Myers H.M., Lear S.R., Sande E., Novak S., Collins C., Welch C.B., Lusk A.J., Erickson S.K., Farese R.V. Jr. Identification of a gene encoding an acyl CoA:diacylglycerolacyltransferase, a key enzyme in triacylglycerol synthesis. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 1998. V. 95. № 22. P. 13018–13023.
- Chen H.C., Smith S.J., Ladha Z. Increased insulin and leptin sensitivity in mice lacking acyl CoA: diacylglycerol acyltransferase 1. *J. Clin. Invest.* 2002. V. 109. P. 1049–1055.
- Smith S.J., Cases S., Jensen D.R., Chen H.C., Sande E., Tow B., Sanan D.A., Raber J., Eckel R.H., Farese R.V.Jr. Obesity resistance and multiple mechanisms of triglyceride. *Nat. Genet.* 2000. V. 25. № 1. P. 87–90.
- Riquet J., Coppieters W., Cambisano N. et al. Identity by decent fine-mapping of QTL in outbred populations: Application to milk production in dairy cattle. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 1999. V. 96. P. 9252–9257.
- Farnir F.B., Grisart W., Coppieters J. et al. Simultaneous mining of linkage and linkage disequilibrium to fine map quantitative trait loci in outbred half-sib pedigrees: revisiting the location of a quantitative trait locus with major effect on milk production on bovine chromosome 14. *Genetics*. 2002. V. 161. P. 275–287.
- Grisart B., Coppieters W., Farnir F., Karim L., Ford C., Berzi P., Cambisano N., Mni M., Reid S., Spelman R., Georges M. Positional candidate cloning of a QTL in dairy cattle: identification of a missense mutation in the bovine DGAT1 gene with major effect on milk yield and composition. *Genome research*. 2002. № 12(2). P. 222–231.
- NasLund J., Fikse W.F., PieLberg G.R., Lunden A. Frequency and effect of the Bovine acyl-CoA: diacylglycerol acyltransferase 1 (DGAT1) K232A polymorphism in Swedish dairy cattle. *Journal of dairy science*. 2008. V. 91. P. 2127–2134.
- Shi M., Gao X., Ren H. et al. Association analysis of CAPN1 gene variants with carcass and meat quality traits in Chinese native cattle. *African Journal of Biotechnology*. 2014. V. 10. № 75. P. 17367–17371.

14. Giordano J.O., Wiltbank M.C., Fricke P.M., Bas S., Pawlisch R., Guenther J.N., Nascimento A.B. Effect of increasing GnRH and PGF2a dose during Double-Ovsynch on ovulatory response, luteal regression, and fertility of lactating dairy cows. *Theriogenology*. 2013. № 80(7). P. 773–783. doi: 10.1016/j.theriogenology.2013.07.003
15. Jatou C., Koeck A., Sargolzaei M., Malchiodi F., Price C.A., Schenkel F.S., Miglior F. Genetic analysis of superovulatory response of Holstein cows in Canada. *Journal of Dairy Science*. 2016. № 99(5). P. 3612–3623. doi: 10.3168/jds.2015-10349
16. Winter A., Krämer W., Werner F., Kollers S., Kata S., Durstewitz G., Buitkamp J., Womack J., Thaller G., Fries R. Association of a lysine-232/alanine polymorphism in a bovine gene encoding acyl-CoA:diacylglycerol acyltransferase (DGAT1) with variation at a quantitative trait locus for milk fat content. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2002. № 99(14). P. 9300-5. doi: 10.1073/pnas.142293799.
17. Grobet L., Martin L.J., Poncelet D., Pirottin D., Brouwers B., Riquet J., Schoeberlein A., Dunner S., Menissier F., Massabanda J., Fries R., Hanset R., Georges M. A deletion in the bovine myostatin gene causes the double muscled phenotype in cattle. *Nat. Genet.*, 1997. № 17. P. 71–74. doi: 10.1038/ng0997-71

УДК 630.1

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.3-48.16>

## ЕКОЛОГІЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНТОМОФАУНИ СОСНОВИХ НАСАДЖЕНЬ НПП «СВЯТІ ГОРИ»

Коляда О.В.<sup>1</sup>, Коляда В.П.<sup>2</sup>, Посоха І.П.<sup>3</sup>, Чуприна Ю.Ю.<sup>1</sup>, Головань Л.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Державний біотехнологічний університет  
вул. Алчевських, 44, 61002, м. Харків

<sup>2</sup>Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»  
вул. Чайковська, 4, 61024, м. Харків

<sup>3</sup>Національний природний парк «Святі гори»  
вул. Паркова, 4, 84130, с. Богородичне

olyakolyadapovh@gmail.com, koliadavalerii@gmail.com, posoha69@gmail.com

В сучасних умовах через кліматичні зміни знижується стійкість лісових насаджень до дії несприятливих чинників, в тому числі й шкідливої ентомофауни. Найбільшої шкоди сосновим насадженням НПП «Святі гори» завдає сосновий п'ядун (*Bupalus piniaria* (L.)). Спалахи розвитку популяцій демонструють особливість періодичності та мають значні екологічні та економічні наслідки. З метою своєчасного виявлення осередків ураження та застосування засобів захисту необхідним є екологічний моніторинг ентомофагів соснових насаджень. Згідно з даними поточного лісопатологічного обстеження було встановлено, що загальна площа соснових насаджень, які уражені особинами соснового п'ядуна складала 2328 га, з яких 758 га характеризуються ступенем дефоліації крони на рівні 25,0%, 1126 га – 51,0–75,0%, 267 га – 51,0–75,0%, 177 га – 76–100%. При проведенні досліджень, виявлено епіцентр спалаху масового розмноження соснового п'ядуна на площі 444 га із ступенем дефоліації крони понад 51,0%.

Також було визначено якісні показники життєздатності популяції соснового п'ядуна на стадії зимуючого запасу лялечок, а саме: життєздатність особин – 100%; середньостатистичну вагу лялечки самиці – 141–150 мг; середньостатистичну плодючість самиці – 127–141 яйце; абсолютну щільність особин – 9,8 лялечки на 1 м<sup>2</sup> лісової підстилки; відносну щільність популяції – 100%; статевий індекс за Бремером – 0,75; загрозу пошкодження насаджень відповідно до зимуючого запасу лялечок – 33–100%. Встановлено, що осередок масового розмноження соснового п'ядуна знаходиться в III фазі розвитку, яка охоплює два покоління шкідника. У даній фазі спалаху спостерігається стрибкоподібне збільшення чисельності шкідливої комахи, в результаті чого відмічається значне пошкодження асиміляційного апарату соснових насаджень. Згідно з результатами контрольного порівняльного лабораторного аналізу, встановлено істотний кореляційний зв'язок між загрозою пошкодження крони в поточному вегетаційному періоді та кількістю особин зимуючого запасу. Результати проведених досліджень можуть бути основою для обґрунтування ефективних заходів захисту соснових насаджень. *Ключові слова:* сосновий п'ядун, ентомофауна, соснові насадження, дефоліація, гусениця.

### Ecological survey of pine plantations entomofauna in National Park “Sviati Hory”. Koliada O., Koliada V., Posoha I., Chuprina Yu., Golovan L.

In modern conditions, due to climatic changes, the resistance of forest plantations to adverse factors, including entomologic pests, decreases significantly. The pine looper causes the greatest damage to the pine plantations of the “Sviati Hory” NNP (National Nature Park). Outbreaks of population development show the peculiarity of periodicity and have significant ecological and economic consequences. Environmental monitoring of entomophagous pine plantations is necessary for the purpose of timely detection of lesions and the use of protective measures. According to the data of the current forest pathology survey, it was established that the total area of pine plantations affected by individuals of the pine looper was 2,328 ha, of which 758 ha are characterized by the degree of defoliation at the level of 25.0%, 1,126 ha – 51.0–75.0%, 267 ha – 51.0–75.0%, 177 ha – 76–100%. During the research, the epicenter of the outbreak of mass reproduction of the pine looper was found on an area of 444 ha with the degree of crown defoliation over 51.0%.

Qualitative indicators of the viability of the pine looper population at the stage of the wintering stock of pupae were also determined, namely: viability of individuals – 100%; the average weight of a female pupae is 141–150 mg; the average fecundity of a female is 127–141 eggs; absolute density of individuals – 9.8 pupae per 1 m<sup>2</sup> of forest litter; relative population density – 100%; sex index according to Bremer – 0.75; the threat of damage to plantations according to the wintering stock of pupae – 33–100%. It was established that the center of mass reproduction of the pine looper is in the III phase of development, which covers two generations of the pest. In this phase of the mass reproduction, a high increase in the number of harmful insects is observed, as a result of which significant damage to the assimilation apparatus of pine plantations is noted. According to the results of the control and comparative analysis, a significant laboratory correlation was established between the infection of the plant in the current growing season and the number of individuals of the winter stock. The results of the conducted research can be the basis for justifying effective measures to protect pine plantations. *Key words:* pine looper, entomophagous, pine plantations, defoliation, caterpillar, forest pathology examination.

**Постановка проблеми.** На сьогодні у зв'язку із кліматичними змінами в Україні екологічний стан лісових насаджень погіршується. Підвищення температури повітря та зниження кількості атмосферних опадів зумовлює зниження опору дерев до заселення шкідниками [1]. В таких умовах виникає необхідність постійного моніторингу шкідливої ентомофауни лісових насаджень, зокрема і соснових. Ентомофауна соснових насаджень дуже різноманітна, зокрема в умовах України для сосни звичайної виділено близько п'ятдесяти основних видів комах-шкідників [2]. У соснових насадженнях НПП «Святі гори» найбільш розповсюдженим представником шкодочинної ентомофауни є сосновий п'ядун.

**Актуальність дослідження.** Сосновий п'ядун (*Bupalus piniarius* L.) є дуже поширеним шкідником сосни звичайної у багатьох країнах Європи. Вид також пошкоджує сосну кримську, сосну Банка, ялину та піхту. Найбільшу шкоду сосновий п'ядун завдає високоповнотним чистим соснякам, переважно в середині насаджень, які розміщені на рівнинних або понижених ділянках лісу. Сосновий п'ядун відноситься до групи хвоєгризучих лускокрилих комах або метеликів (*Lepidoptera*), личинки яких живляться хвоєю деревних рослин [3]. Під час спалахів масового розмноження чисельність популяцій хвоєгризучих комах даного виду може збільшуватися у декілька разів [4]. Актуальність досліджень полягає в тому, що сосновий п'ядун є одним із найнебезпечніших шкідників соснових масивів, і за умов сприятливих погодних-кліматичних умов, може формувати осередки масового розмноження на значних територіях. Дослідження особливостей екології соснового п'ядуна, визначення ступеня пошкодження крони личинками дасть змогу ефективніше контролювати розповсюдження шкідника та своєчасно впроваджувати заходи захисту соснових насаджень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанню дослідження ентомофауни соснових насаджень та визначенню рівня шкідливості, зокрема соснового п'ядуна, присвячено чимало наукових вітчизняних та зарубіжних праць. Зокрема, Федоренко В.П., Покозій Й.Т. та Круть В.М. відмічають, що спалахи масового розмноження даного шкідника в лісах України періодично повторюються на значних площах саме під час розвитку личинок, які частково чи повністю об'їдають асиміляційний апарат дерев. Об'їдання личинками хвої супроводжується порушенням багатьох фізіологічних функцій дерева, таких як фотосинтез, дихання, транспірація. При цьому відбуваються як кількісне зниження поточного приросту деревини, так і якісні зміни кілець річного приросту, що видно з мікроскопічного дослідження поперечного зрізу стовбура. За умов об'їдання хвої личинками рано навесні кільця приросту формуються практично тільки тонкостінними трахеями і звужуються приблизно на дві третини.

При двократному об'їданні хвої більшість хвойних порід відновитися не може і гине [5].

Рудська Н.О., Пінчук Н.В. та Ватаманюк О.В. підтверджують небезпечність представника даної групи комах для лісу. Ті комахи, личинки яких живляться в літній період вегетації є менш небезпечними для насаджень. За час тривалого розвитку одна гусениця з'їдає в середньому 100 хвоїнок, або 3,5 г хвої. Масові пошкодження призводять до ослаблення й засихання дерев [3].

У роботах Краснова В.П. зі співавторами, відмічено, що осередки масового розмноження всіх хвос і листогризучих шкідників виникають у тих насадженнях, де з певних причин створилися несприятливі умови для росту рослин. Тому всі заходи захисту лісу в першу чергу повинні бути спрямовані на підвищення стійкості насаджень проти шкідників та збудників хвороб. Ці заходи повинні носити комплексний характер та здійснюватись за декількома етапами, серед яких лісогосподарський, загальний фітопатологічний, біологічний, радикальний за допомогою хімічних та біологічних препаратів [6].

Таким чином, на разі надзвичайно актуальним є проведення екологічного дослідження ентомофауни соснових насаджень, в тому числі і в об'єктах природно-завідного фонду, з метою своєчасного виявлення осередків ураження шкідниками та обґрунтування ефективних заходів їх захисту, збереження їх унікальних рекреаційних, екологічних та естетичних властивостей.

**Матеріали та методи досліджень.** З метою визначення загрози пошкодження насаджень сосновим п'ядуном на території Святогірського ПОНДВ НПП «Святі Гори» було проведено спостереження за розвитком популяції соснового п'ядуна та поточне лісопатологічне обстеження згідно з відповідними інструкціями та методиками [2]. Відбір лісопатологічних проб проводили в насадженнях, які відповідали параметрам первинних осередків масового розмноження шкідника. Було визначено якісні показники життєздатності популяції шкідника на стадії зимуючого запасу лялечок (проаналізовано 53 проби).

**Викладення основного матеріалу.** Кліматичні умови НПП «Святі Гори» сприяють постійному розвитку осередків багатьох видів шкідників соснових насаджень. Найбільшої шкоди насадженням завдають популяції соснового п'ядуна. Відповідно до даних поточного лісопатологічного обстеження було встановлено, що загальна площа соснових насаджень, які уражені особинами шкідника складала 2328 га. Розподіл насаджень за ступенем дефоліації крони наступний: до 25,0% ураженими є 758 га, із ступенем дефоліації 25,0–60,0% – 1126 га, 51,0–75,0% – 267 га, 76–100% – 177 га (рис. 1).

Було встановлено, що епіцентр спалаху масового розмноження соснового п'ядуна на території Святогірського ПОНДВ НПП «Святі Гори» відмічено



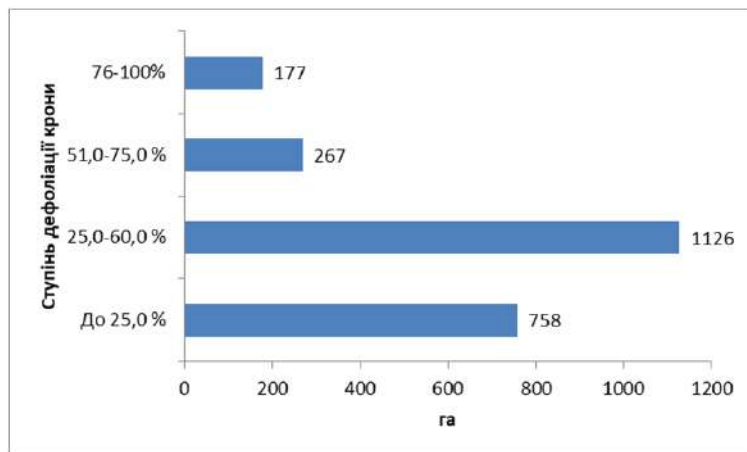


Рис. 1. Розподіл уражених насаджень за ступенем дефоліації крони

у кварталах № 52–57, № 34–37 на площі 444 га. Характер ураження насаджень особинами популяції у межах обстежених ділянок був суцільним. На момент проведення лісопатологічного обстеження основна частина популяції соснового п'ядуна (більше 95,0%) закінчила живлення і знаходилась

у лісовій підстилці. Інформацію щодо результатів проведеного лісопатологічного обстеження представлено в таблиці 1.

При проведенні досліджень було також визначено якісні показники життєздатності популяції соснового п'ядуна на деяких стадіях розвитку, зокрема на

Таблиця 1

**Результати лісопатологічного обстеження соснових насаджень  
Святогірського ПНДВ НПП «Святі Гори»**

Квартал (площа), га	Виділ (площа), га	Пошкодження крони на час обстеження, %	Кількість ос. зимуючого запасу, шт./м <sup>2</sup>	Примітка
1	2	3	4	5
115(45)	2(18,0)	До 25%	5	–
116(45)	1(37,7)	До 25%	7	–
146(32)	16(2,4)	До 25%	4	–
147(36)	2(7,3)	До 25%	4	–
50(52)	6(8,5)	До 25%	7	–
51(52)	10(13,5)	26–50%	3	–
68(49)	6(8,5)	26–50%	9	–
69(51)	8(3,9)	26–50%	10	–
70(49)	3(9,0)	26–50%	15	–
94(29)	6(2,7)	До 25%	4	–
95(30)	1(5,4)	До 25%	4	–
96(30)	1(5,0)	До 25%	5	–
97(27)	1(11,0)	До 25%	5	–
98(25)	2(5,3)	До 25%	4	–
99(27)	5(5,4)	До 25%	6	–
100(30)	7(5,4)	До 25%	5	–
101(37)	3(7,0)	До 25%	4	–
102(41)	3(11,0)	До 25%	6	–
103(42)	4(17,5)	До 25%	5	–
104(42)	1(5,1)	До 25%	4	–
105(41)	2(2,5)	До 25%	6	–
106(41)	8(3,6)	До 25%	5	–
107(42)	10(12,5)	До 25%	6	–
108(64)	1(24,0)	До 25%	6	–
71(51)	11(10,0)	26–50%	5	–
72(48)	7(20,0)	26–50%	4	–

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5
73 (47)	14 (9,0)	26–50%	8	–
74 (49)	6 (3,3)	26–50%	10	–
75 (49)	9 (13,3)	26–50%	7	–
76 (47)	3 (20,8)	26–50%	9	–
77 (51)	7 (15,0)	26–50%	10	–
78 (51)	7 (10,0)	26–50%	11	–
79 (49)	5(15,0)	26–50%	9	–
80 (54)	6(17,7)	26–50%	12	–
81 (42)	3 (4,6)	26–50%	8	–
82 (46)	8 (11,5)	26–50%	8	–
52 (49)	1 (12,0)	51–75%	12	епіцентр
53 (44)	10 (4,5)	51–75%	10	епіцентр
54 (44)	14 (1,6)	51–75%	14	епіцентр
55 (44)	2 (17,0)	76–100%	19	епіцентр
56 (43)	4 (34,0)	76–100%	17	епіцентр
57 (14)	2 (28,0)	51–75%	12	епіцентр
58 (43)	5 (24,0)	26–50%	11	–
59 (40)	10 (4,7)	26–50%	10	–
34 (47)	8 (3,5)	76–100%	35	епіцентр
35 (43)	16 (9,0)	76–100%	33	епіцентр
36 (43)	5 (9,4)	51–75%	20	епіцентр
37 (43)	12 (4,9)	51–75%	25	епіцентр
38 (73)	4 (21,0)	26–50%	17	–
16 (51)	11 (9,9)	26–50%	10	–
17 (56)	8 (23,0)	26–50%	9	–
18 (44)	5 (7,1)	26–50%	14	–
19 (34)	7 (3,7)	26–50%	11	–

стадії зимуючого запасу лялечок. Згідно з результатами проведеного лабораторного аналізу визначено наступні якісні та кількісні показники життєздатності популяції шкідника: життєздатність особин – 100%; особин, які загинули внаслідок впливу біотичних чинників (ураження ентомофагами, хворобами тощо) на час проведення лабораторного аналізу не було виявлено; вага лялечок самиць коливалась від 94,0 до 180,0 мг; середньостатистична вага лялечки самиці коливалась в межах 141–150 мг; плодючість самиць залежно від ваги лялечки коливалась від 73 яєць до 190 яєць; середньостатистична плодючість самиці становила 127–141 яйце; абсолютна щільність особин шкідника складала 9,8 лялечки на 1 м<sup>2</sup> лісової підстилки; відносна щільність популяції – 100%; статевий індекс за Бремером, що характеризує статеве співвідношення особин – 0,75; загроза пошкодження насаджень відповідно до зимуючого запасу лялечок коливався від 33% до понад 100%.

Згідно з отриманими даними якісних показників життєздатності соснового п'ядуна осередок його масового розмноження знаходиться в III фазі розвитку, яка охоплює два покоління шкідника. У даній фазі спалаху спостерігається стрибкоподібне збільшення чисельності шкідника, в результаті чого відмічається значне пошкодження асиміляційного апа-

рату соснових насаджень. Шкодочинність гусениць соснового п'ядуна полягає в здатності знищувати весь фотосинтезуючий апарат дерева. За таких сприятливих умов сосновий п'ядун може знищити великі площі хвойних насаджень. Значної шкоди шкідник завдає молодим і середньовіковим сосновим насадженням, деревостани при цьому сильно ослаблюються та починають усихати на великих площах, перетворюються у вогнища масового розмноження наступної групи стовбурових комах.

Результатами лабораторного аналізу, проведеного наступної весни, підтверджено високу ступінь життєздатності особин популяції соснового п'ядуна на зимуючій стадії – у лабораторних умовах життєздатність шкідника складала 91,8%. Було виявлено загибель лялечок соснового п'ядуна від білого мускардіноза (8,2%), що викликана ураженням ентомопатогенним грибом *Beauveria bassiana* Baes.

Для визначення показників життєдіяльності популяції соснового п'ядуна на стадії облігатної діапаузи в природних умовах нами було повторно відібрано проби лялечок із лісової підстилки та проведено контрольний порівняльний лабораторний аналіз. Згідно з фенологічними термінами розвитку досліджуваного виду відродження гусениць соснового п'ядуна розпочиналось із середини червня, а масове відро-

Таблиця 2

**Кількість гусениць та наявність яйцекладок соснового п'ядуна в насадженнях  
Святогірського ПНДВ НПП «Святі Гори»**

Квартал	Виділ	Ступінь пошкодження крони у минулому році, %	Кількість гусениць на модельне дерево, шт.	Кількість яйцекладок на модельне дерево, %	Загроза пошкодження у поточному вегетаційному періоді, %
17	8	26–50%	460	5	51–75
35	16	76–100%	128	5	Повне знищення хвої, усихання дерев
38	4	26–50%	388	10	51–75
50	6	До 25%	868	5	26–50
51	10	26–50%	360	30	51–75
53	10	51–75%	408	10	76–100
56	4	76–100%	280	10	Повне знищення хвої, усихання дерев
58	5	26–50%	760	5	51–75
70	3	26–50%	804	5	51–75
73	14	26–50%	1200	5	51–75
76	3	26–50%	988	5	51–75
82	8	26–50%	1000	5	51–75

дження гусениць – на початку липня. На підставі проведеного контрольного лабораторного аналізу було визначено площу осередку ураження, включаючи території, які підлягають проведенню лісозахисних заходів.

Відповідно до результатів лісопатологічного обстеження найбільш уражених насаджень в попередньому році, визначено кількість гусениць на модельне дерево, наявність і кількість яйцекладок шкідника, а також загрозу пошкодження насаджень у поточному вегетаційному періоді (табл. 2).

Відмічено тенденцію до поступового посилення пошкодження соснових насаджень, зокрема на кварталах 35 та 56, на яких у минулому році ступінь пошкодження крони становив 76–100%, на момент обстеження в поточному році спостерігалось повне знищення хвої та усихання дерев. На кварталах де в минулому році ступінь пошкодження крони становив 51–75%, відбулось посилення пошкодження до 76–100%.

Відповідно до результатів проведеного кореляційного аналізу встановлено істотний зв'язок між загрозою пошкодження крони у поточному вегетаційному періоді та кількістю особин зимуючого запасу – коефіцієнт кореляції складає 0,61 одиниці.

**Висновки.** Результатами лісопатологічного обстеження соснових насаджень Святогірського ПНДВ НПП «Святі Гори» та проведених відповідних лабораторних аналізів підтверджено необхідність здійснення запроектованих заходів боротьби з сосновим п'ядуном в осередку масового розмноження. Виявлено тенденцію до подальшого ймовірного збільшення площі осередку масового розмноження соснового п'ядуна (в т. ч. збільшення площ, які потребуватимуть проведення заходів боротьби) за рахунок активного чи пасивного розповсюдження імаго виду. Згідно з даними аналізу якісних показників життєздатності шкідника осередок масового розмноження знаходиться в III фазі розвитку, яка охоплює друге покоління шкідника. В цій фазі спалаху відбувається стрибкоподібне підвищення чисельності шкідливої комахи, внаслідок чого відбувається суттєве пошкодження асиміляційного апарату соснових насаджень.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Результати досліджень можуть бути використані для обґрунтування ефективних заходів захисту соснових насаджень від соснового п'ядуна та збереження їх унікальних рекреаційних, екологічних та естетичних властивостей.

#### Література

- Андрущенко Р. О. Кількісна оцінка впливу погодних умов на щільність популяції зимового п'ядуна (*Operophtera Brumata* L.) в лісах центрального Полісся. Лісівництво і агролісомеліорація. Харків: УкрНДЛГА, 2008. Вип. 112. С. 276–280.
- Методичні вказівки з нагляду, обліку та прогнозування поширення шкідників і хвороб лісу для рівнинної частини України / В.Л. Мешкова, О.М. Кукіна, Ю.Є. Скрильник, О.В. Зінченко та ін. Харків, 2019. 90 с
- Рудська Н.О., Пінчук Н.В., Ватаманюк О.В. Лісова ентомологія: навчальний посібник / За ред. Н.О. Рудська: Вінниця: ВНАУ, 2020. 288 с.
- Завада М. М. Лісова ентомологія. Київ: КВІЦ, 2007. 216 с.
- Федоренко В.П., Покозій Й.Т., Круть В.М. Шкідники сільськогосподарських рослин. Київ, 2004. 355 с.
- Рекомендації з ведення лісового господарства в умовах радіоактивного забруднення / Краснов В. П., Орлов О. О., Ландін В. П. та ін. Київ: Держкомлісгосп України, 2008. 82 с.

## ОЦІНКА СТАНУ ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНОГО ФОНДУ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Мельник-Шамрай В.В., Шамрай В.І., Пацева І.Г., Курбет Т.В.

Державний університет «Житомирська політехніка»

вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир

org\_vvm@ztu.edu.ua, kgt\_shvi@ztu.edu.ua, chaszmin30@gmail.com, tata@pigra.org

Здійснена оцінка сучасного стану природно-заповідного фонду (ПЗФ) Житомирської області та наведено динаміку розширення площ природоохоронних територій. Встановлено, що до структури ПЗФ області входить 6 категорій, які в своєму складі налічують 268 об'єктів (площею 142,1 тис. га). Встановлено, що найбільш кількісно представлені такі об'єкти ПЗФ, як заказники, їх кількість становить 73,1 % від загальної кількості по області. Також найчастіше зустрічаються пам'ятки природи (16,0 %) та парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва (8,6 %), а частка інших категорій (природні заповідники, ботанічний сад та дендрологічний парк) не перевищує – 2,2 %. Варто відмітити, що природні заповідники за площею займають майже 31,0 % території ПЗФ області, і є перспективним напрямом для розвитку і розширення ПЗФ. Відмічено позитивну тенденцію до зростання заповідних територій. Так, за період 2010–2023 рр. кількість об'єктів зросла в 1,3 рази. Проте, створювалися лише об'єкти місцевого значення, а їх площі були невеликі 65 об'єктів займають лише понад 15,0 тис. га.

Здійснено порівняльний аналіз структури ПЗФ у межах адміністративно-територіального поділу області. Доведено, що частка площі ПЗФ в адміністративних районах суттєво коливається. Найменшою вона є в Житомирському та Бердичівському районах і становить до 0,5 %, а найбільше в Коростенському районі – 13,5 %. Аналіз розподілу об'єктів ПЗФ за категоріями в адміністративних районах Житомирської області свідчить, що основна їх частка 50 % зосереджено в Коростенському районі, в Житомирському та Звягельському відповідно 22,4 % та 19,4%, і найменше 8,2 % в Бердичівському. Встановлено, що лісові заказники є найбільш поширеним типом в області і становлять 32,1 % від загальної кількості, також поширеними є ботанічні та ландшафтні заказники 18,9 % та 19,9 % відповідно. Серед пам'яток природи переважають ботанічні – 55,8 %. Для природно-заповідного фонду Житомирщини важливе значення мають водно-болотні угіддя, які розташовуються в межах Поліського заповідника. Для екологічно сталого розвитку регіону необхідно збільшувати кількість територій та об'єктів ПЗФ області.

*Ключові слова:* природно-заповідний фонд, Житомирська область, показник заповідності.

**Assessment of condition of nature and protection fund of Zhytomyr region. Melnyk-Shamrai V., Shamrai V., Patseva I., Kurbet T.**

An assessment of the current state of the nature reserve fund (NRF) of the Zhytomyr region was carried out, and the dynamics of the expansion of the areas of nature protection territories were given. It was established that the structure of the NRF of the region includes 6 categories, which include 268 objects (with an area of 142.1 thousand hectares). It was established that the most quantitatively represented NRF objects, such as nature reserves, their number is 73.1% of the total number in the region. Also, natural attractions (16.0%) and parks-attractions of horticultural art (8.6 %) are most often found, while the share of other categories (nature reserves, botanical garden and dendrological park) does not exceed – 2.2%. It is worth noting that nature reserves occupy almost 31.0% of the area of the NRF of the region, and are a promising direction for the development and expansion of the NRF. A positive trend towards the growth of protected areas was noted. Thus, during the period 2010–2023, the number of objects increased by 1.3 times. However, only objects of local significance were created, and their areas were small: 65 objects occupy only more than 15,000 hectares.

A comparative analysis of the structure of the NRF within the administrative-territorial division of the region was carried out. It has been proven that the share of the area of NRF in administrative districts fluctuates significantly. It is the smallest in Zhytomyr and Berdychiv districts and amounts to 0.5%, and the largest in Korosten district – 13.5%. The analysis of the distribution of NRF objects by category in the administrative districts of Zhytomyr region shows that their main share of 50% is concentrated in Korosten district, 22.4% and 19.4% in Zhytomyr and Zvyagelskiy district, respectively, and the least 8.2% in Berdychivskiy district. It was established that forest reserves are the most common type in the region and make up 32.1% of the total number, botanical and landscape reserves are also common at 18.9% and 19.9%, respectively. Botanical monuments predominate among nature monuments – 55.8%. Wetlands located within the boundaries of the Polissia Nature Reserve are of great importance for the nature reserve fund of Zhytomyr Oblast. For ecologically sustainable development of the region, it is necessary to increase the number of territories and objects of the NRF of the region. *Key words:* nature reserve fund, Zhytomyr region, reserve index.

**Постановка проблеми.** Внаслідок господарської діяльності людини спостерігається нераціональне використання природних ресурсів та забруднення довкілля. В результаті такої діяльності суспільства суттєвих змін зазнає біологічне, ландшафтне та географічне біорізноманіття. Одним із способів зберегти цінні природні території, з усім їхнім живим наповненням – є оголошення територій природно-заповідного фонду (ПЗФ). Природно-заповідні території та

об'єкти створюються з метою збереження у незайманому стані природних комплексів та їх компонентів. В Україні ПЗФ охороняється як національне надбання, щодо якого встановлюється особливий режим охорони, відтворення і використання [1]. На сьогодні, єдиним із реально працюючих в Україні механізмів охорони природних ландшафтів, рослинного та тваринного світу є створення природоохоронних територій. Заповідні території створюються

в усіх регіонах України, проте останнім часом знизилися темпи їх створення, що пов'язано з рядом організаційних, економічних, законодавчих, технічних та соціальних проблем. Саме тому, здійснення сучасної оцінки ПЗФ Житомирської області є актуальним.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Особливості формування ПЗФ України знайшли своє відображення у великій кількості публікацій вчених. Так, у роботах [2–5] розглядаються основні проблеми щодо збереження та відтворення біологічного різноманіття. У статтях [6–10] проаналізовано історичні етапи розвитку ПЗФ в Україні, розглянуто основні проблеми щодо створення, перспектив розвитку ПЗФ та оцінено сучасний стан ПЗФ окремих регіонів. У публікаціях [11–13] досліджено різні підходи щодо розміщення та класифікації територій ПЗФ. В наукових роботах [14–16] розглядаються шляхи запровадження та застосування геоінформаційних систем для вивчення сучасного стану територій ПЗФ.

Різні проблеми щодо формування та функціонування ПЗФ Житомирської області висвітлювалися у працях: О.О. Орлова [17–20], С.П. Сіренького [18–19], С.М. Жили [20], Т.Л. Андрієнко [21], В.І. Ткачука [22] та інших. У роботі [23] вивчалася репрезентативність природних екосистем на території природних заповідників Житомирської області. В статті [24] розглянуто та проаналізовано роль освіти та виховання у формуванні екологічної свідомості та культури особистості, яка сприятиме розвитку ПЗФ в Україні. Також проаналізовано показники щодо збереження біорізноманіття лісових рослин на об'єктах ПЗФ на території лісових екосистем в Житомирській області [25]. Досліджено особливості здійснення державного екологічного нагляду (контролю) у сфері використання

об'єктів природно-заповідного фонду Житомирської області [26].

Здебільшого в наукових працях розглядаються окремі питання щодо розвитку та використання ПЗФ. Проте, питання оптимізації та аналіз кількісних показників природоохоронних територій Житомирської області потребують удосконалення.

**Мета дослідження** полягає у вивченні сучасного розподілу об'єктів і територій ПЗФ в Житомирській області. Об'єктом досліджень є території та об'єкти ПЗФ в Житомирській області. Предмет досліджень – це сукупність теоретичних та методичних питань з створення та поліпшення ПЗФ в Житомирській області.

**Новизна** отриманих матеріалів полягає в тому, що проаналізовано сучасний розподіл об'єктів та територій ПЗФ в Житомирській області. Результати дослідження можуть бути використані для вивчення закономірностей розвитку та пошуку шляхів для охорони, відтворення та створення об'єктів та територій ПЗФ.

**Методика досліджень.** Дослідження проводилися шляхом збирання інформації з екологічних паспортів щодо виявлення об'єктів ПЗФ Житомирської області, опрацюванні літературних джерел та інтернет-ресурсів.

**Виклад основного матеріалу.** Станом на 01.01.2023 року в Житомирській області сформовано мережу у кількості 268 об'єктів та територій ПЗФ загальною площею 142,1 тис. га (4,77 % площі області); з них 20 об'єкти загальнодержавного значення, загальною площею 57,9 тис. га та 248 об'єктів місцевого значення, загальною площею 84,2 тис. га [27–28]. Розподіл територій та об'єктів ПЗФ за їх значенням, категоріями та типами наведено у табл. 1.

Таблиця 1

**Розподіл територій та об'єктів природно-заповідного фонду Житомирської області за їх значенням, категоріями та типами**

Категорії об'єктів ПЗФ	Об'єкти ПЗФ					
	загальнодержавного значення		місцевого значення		разом	
	кількість,	площа, га	кількість,	площа, га	кількість,	площа, га
	од.	усього	од.	усього	од.	усього
1	2	3	5	6	8	9
Природні заповідники	2	50977			2	50977
Біосферні заповідники	х	х	х	х	х	х
Національні природні парки	х	х	х	х	х	х
Регіональні ландшафтні парки	х	х	х	х	х	х
Заказники, усього	10	6757	186	106429,36	196	113186,36
у тому числі:						
ландшафтні	1	460	38	39551,4	39	40011,4
лісові	2	358	61	36250,2	63	36608,2
ботанічні	1	352	36	8859,2	37	9211,2

Продовження таблиці 1

1	2	3	5	6	8	9
загальнозоологічні	2	2781	20	14091,6	22	16872,6
орнітологічні	1	612	2	446	3	1058
ентомологічні	x	x	x	x	x	x
іхтіологічні	x	x	x	x	x	x
гідрологічні	3	2194	28	7230,96	31	9424,96
загально геологічні	x	x	1	15	1	15
палеонтологічні	x	x	x	x	x	x
карстово-спелеологічні	x	x	x	x	x	x
Пам'ятки природи, усього	2	51	41	222,2	43	273,2
у тому числі:						
комплексні	x	x	x	x	x	x
ботанічні	2	51	22	205,32	24	256,32
зоологічні	x	x	x	x	x	x
гідрологічні			4	3,15	4	3,15
геологічні			15	13,73	15	13,73
Заповідні урочища	x	x	x	x	x	x
Ботанічні сади	1	35,4			1	35,4
Дендрологічні парки			3	16	3	16
Парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва	5	119,8	18	242,03	23	361,83
Зоологічні парки	x	x	x	x	x	x
<b>РАЗОМ</b>	<b>20</b>	<b>57940,2</b>	<b>248</b>	<b>84215,31</b>	<b>268</b>	<b>142155,5099</b>

Джерело: сформовано авторами на основі даних [27–28]

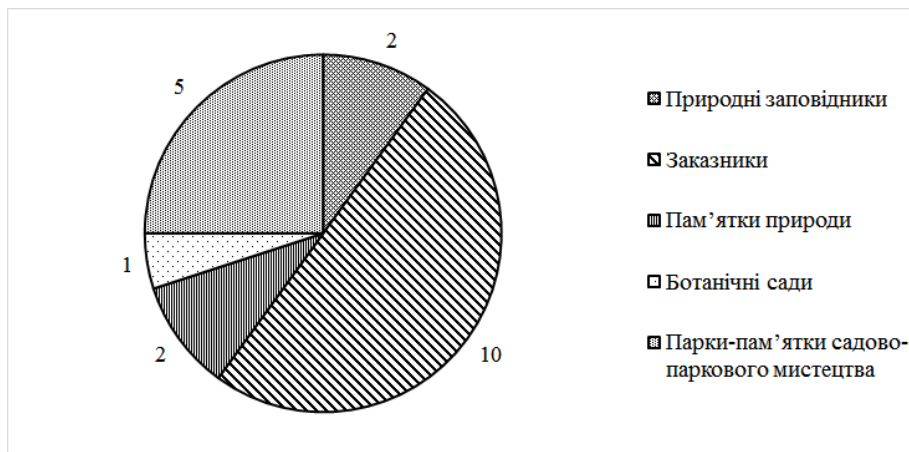
Структура ПЗФ області представлена 6 категоріями (рис. 1), серед них: природні заповідники, заказники, пам'ятки природи, дендрологічні парки, парки пам'ятки садово-паркового мистецтва та ботанічний сад. Значну частину природно-заповідного фонду Житомирщини становлять території та об'єкти, що розміщені на землях лісгосподарських підприємств Житомирського обласного управління лісового та мисливського господарства – 68,3% від загальної кількості.

Динаміка створення нових територій та об'єктів ПЗФ області є позитивною (рис. 2). Так, з 1982 року по 2023 їх кількість зросла в 13,4 рази. Розвиток ПЗФ Житомирщини умовно можна поділити на три етапи. Впродовж 1982–2001 років було створено 161 об'єкт ПЗФ, що в 4 рази більше порівняно з 2001–2015 роками. За останні 10 років створено 47 об'єктів ПЗФ, основна частка яких була створена в 2021 році.

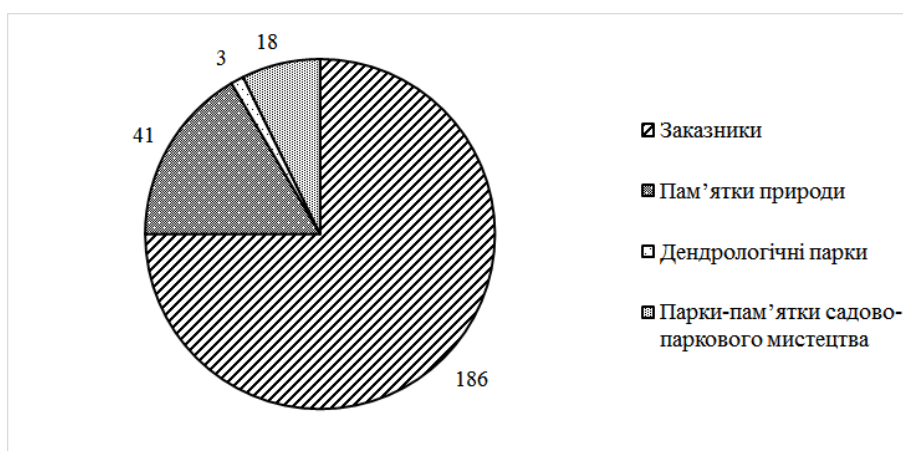
Показник заповідності для Житомирської області за досліджуваний період збільшився у 5,4 рази і становить – 4,77%. Аналіз показника заповідності свідчить, що необхідно збільшити ПЗФ області хоча б до 10% її площі, для сталого екологічного розвитку. Таке, збільшення можливе за рахунок створення нових об'єктів ПЗФ та розширення площі вже існуючих. Значна частка ПЗФ області включає велику кількість дрібних об'єктів з недостатньою екологічною ємністю для збереження генофонду та умов існування біоти.

Розподіл природно-заповідних об'єктів та територій в межах адміністративних районів Житомирської області є нерівномірним (рис. 3). Так, 50% всіх заповідних територій розміщуються в Коростенському районі, тоді як в Житомирському та Звягельському районі їх частка в 2,2 та 2,6 разів менша порівняно з Коростенським. Найменша кількість природоохоронних територій у Бердичівському районі – 8,2%. Показник заповідності в адміністративних районах Житомирської області є строкатим і коливається від 0,38% до 13,54%. На основі отриманих результатів дані адміністративні райони можна розмістити в рангований ряд за збільшенням показника заповідності Житомирський < Бердичівський < Звягельський < Коростенський.

Найбільш цінними об'єктами ПЗФ в Житомирській області є «Древлянський природний заповідник» та «Поліський природний заповідник». Дані території ПЗФ створені з метою збереження типових природних комплексів Полісся, унікальних лісових і водно-болотних природних комплексів, охорони реліктових та ендемічних рослин і тварин та відтворення і збагачення природних лісів Полісся [29–30]. Природні заповідники розміщуються в межах Коростенського району Житомирської області. Важливе значення мають водно-болотні угіддя в межах Поліського заповідника. В заповіднику є об'єкт міжнародного значення «Поліські болота», яке включає в себе дві різні ділянки: ділянку верхових і перехідних боліт «Міроші» та ділянку



а) загальнодержавного значення



б) місцевого значення

Рис. 1. Кількісна характеристика структури ПЗФ Житомирської області станом на 2023 рік

Джерело: складено авторами на основі [27–28]

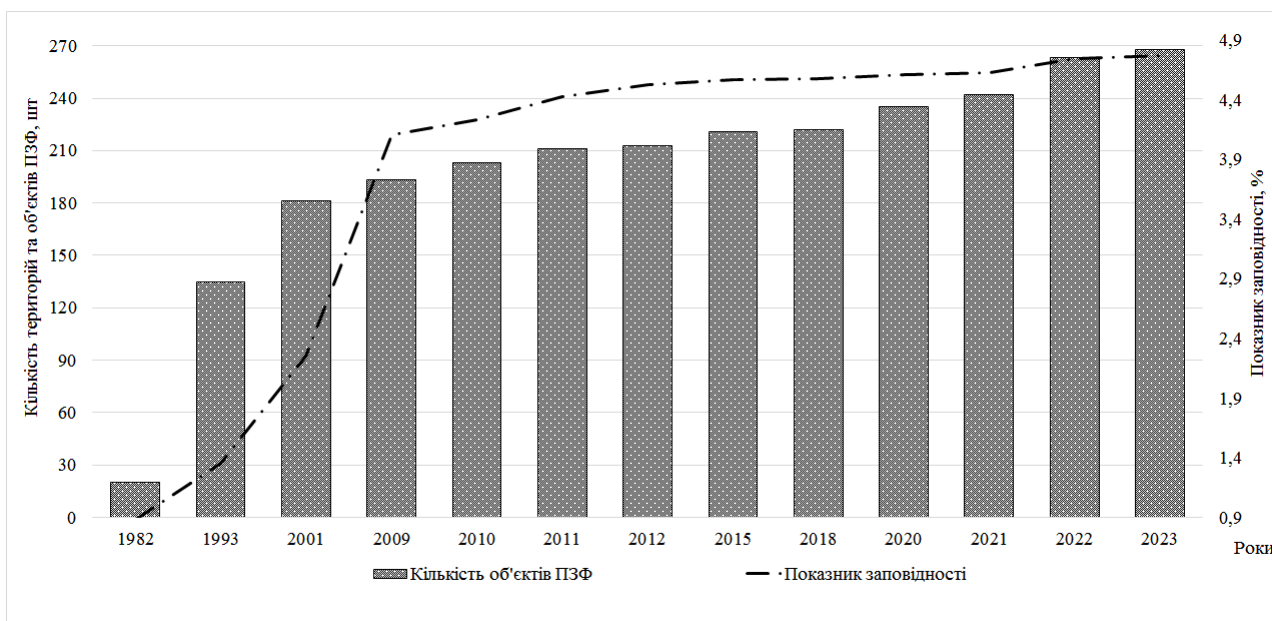


Рис. 2. Динаміка природно-заповідного фонду Житомирської області

Джерело: складено авторами на основі [19, 27–28]

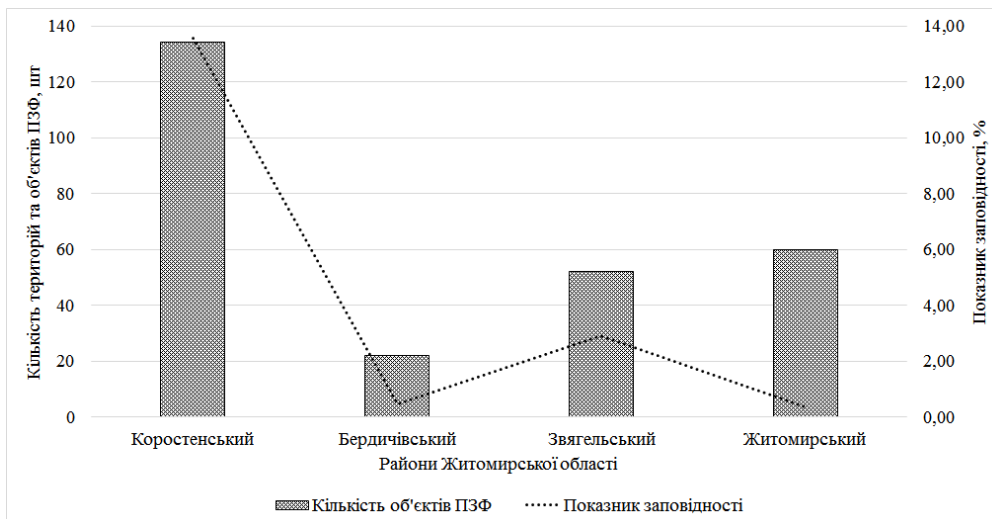


Рис. 3. Розподіл території природно-заповідного фонду адміністративними районами Житомирської області за кількістю та показником заповідності

Джерело: власні дослідження

перехідних-низинних боліт в заплавах малих річок Болотниці і її притоки Жолобниці [31]. Варто відмітити, що бойові дії не оминули Древлянський заповідник. Було встановлено, що ворожі війська обстрілювали територію заповідника і як наслідок там виникали пожежі. В результаті вигоріло 3200 га площі заповідника, а на мінах, що залишили по собі ворожі війська, підриваються дикі звірі [32].

Аналіз розподілу категорій ПЗФ за адміністративними районами Житомирської області свідчить, що найбільша кількість припадає на заказники та становить 196 об'єктів, з них: лише 10 загальнодержавного значення (рис. 3). В Житомирській області зустрічаються такі типи заказників: лісові, ботанічні, ландшафтні, гідрологічні, загальнозоологічні, орнітологічні та геологічні (рис. 4). Найменш поширеними є орнітологічні та геологічні заказники. Так, геологічний заказник зустрічається лише в Коростенському районі, а орнітологічні у Бердичівському (2 шт.) та Звягельському (1 шт.) районах. Найбільш поширеними є лісові заказники, основна їх частка зосереджена в Коростенському районі – 44% від загальної кількості, що в 1,8, 2,1 та 4,0 рази більше порівняно з Звягельським, Житомирським та Бердичівським районами відповідно.

Ландшафтних заказників в Житомирській області в 1,6 разів менше у порівнянні з лісовими заказниками. Найменша кількість заказників даного типу в Бердичівському районі (1 шт.). В Житомирському та Звягельському районі їх кількість коливається від 8 до 10, що в 2,0–2,5 рази менше, ніж в Коростенському районі. Найбільша кількість ботанічних заказників зосереджено в Коростенському районі – 56,8% від загальної кількості заказників ботанічного типу. В Звягельському та Житомирському районах частка ботанічних заказників у 2,5 та 4,2 рази менша у порівнянні з Коростенським районом відповідно.

Найменше ботанічних заказників у Бердичівському районі – 5,4% від загальної кількості.

В Житомирській області нараховується 31 гідрологічний та 22 загальнозоологічних заказників. Варто відмітити, що в Бердичівському районі взагалі відсутній даний тип заказників. В Житомирському та Звягельському районах загальнозоологічних заказників у 3,3 та 2,6 разів менше, ніж в Коростенському районі. В Коростенському районі розміщено 20 гідрологічних заказників, що в 2,2 рази більше порівняно з Звягельським районом, а в Житомирському наявні лише 2 об'єкти.

В Житомирській області розташовані 43 пам'ятки природи, з них: лише 2 загальнодержавного значення, які поділяються на ботанічні, гідрологічні та геологічні (рис. 5). Ботанічні пам'ятки природи становлять 55,8% від загального розподілу по даній категорії, основна частка яких 58,4% зосереджена в Коростенському районі. В Житомирському районі пам'яток природи в 2,4 рази менше у порівнянні з Коростенським районом, а в двох інших районах частка кожного становить – 8,3%. Гідрологічні та геологічні пам'ятки природи найбільш представлені в Житомирському районі, що разом становить 57,9%, тоді як в Бердичівському районі дані пам'ятки природи взагалі відсутні. В Коростенському районі даних типів у 1,6 разів менше, ніж в Житомирському, а у Звягельському районі наявна лише одна геологічна пам'ятка природи.

В Житомирському районі Житомирської області є ботанічний сад – «Ботанічний сад Поліського національного університету» загальнодержавного значення. Створений з метою збереження і вивчення у спеціально створених умовах рідкісних і типових видів місцевої і світової флори для найбільш ефективного навчального, наукового, культурного, рекреаційного та іншого використання, шляхом ство-



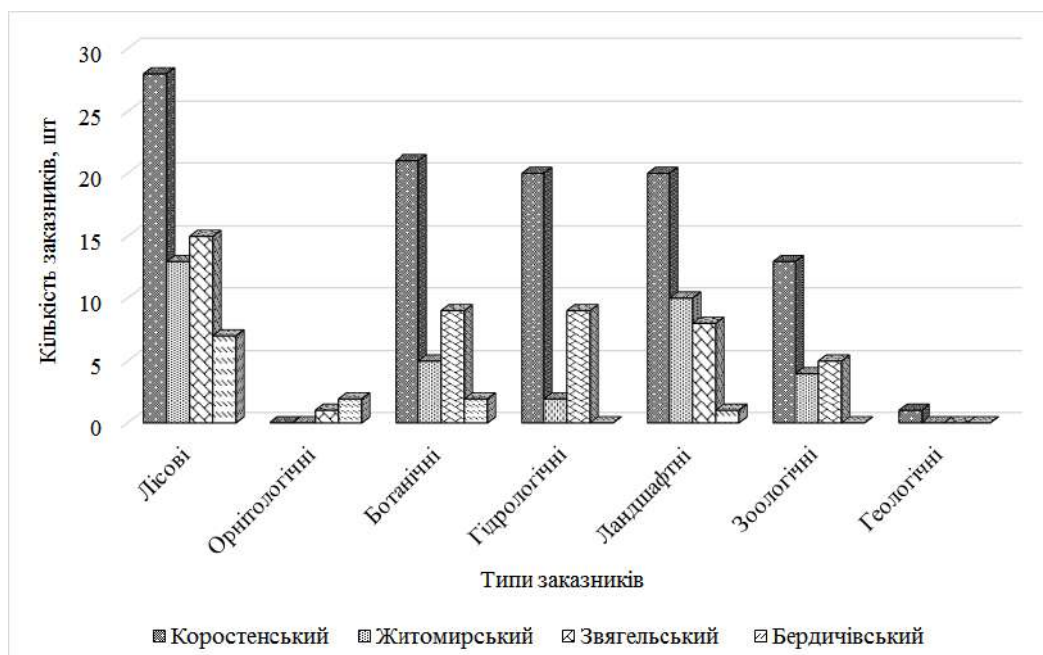


Рис. 4. Розподіл різних типів заказників за адміністративними районами Житомирської області

Джерело: власні дослідження

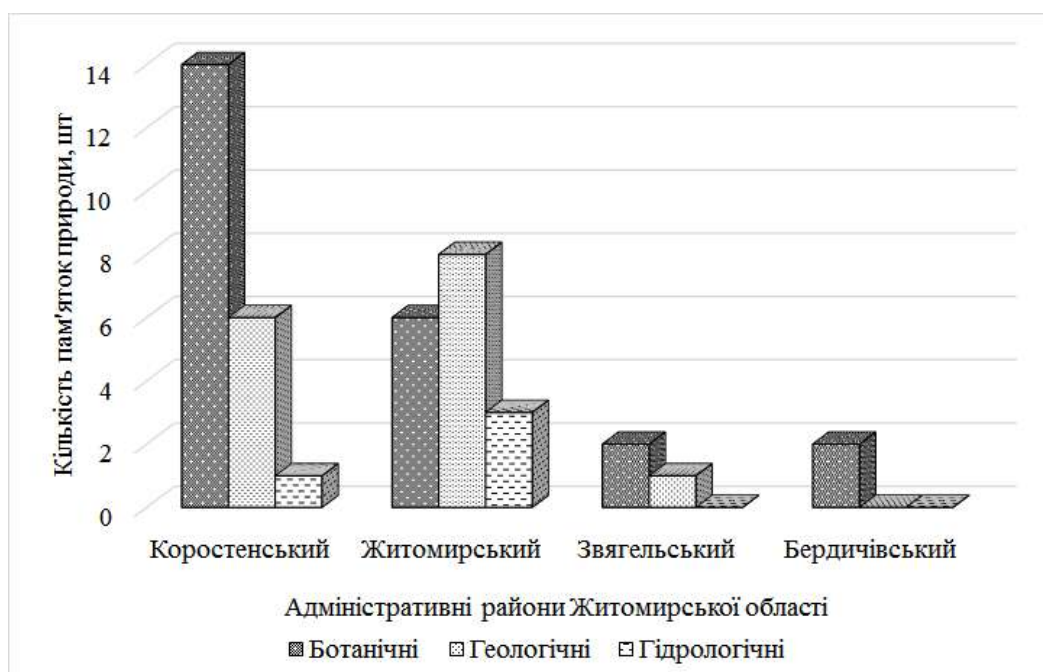


Рис. 5. Розподіл пам'яток природи за типами в адміністративних районах Житомирської області

Джерело: власні дослідження

рення, поповнення та збереження колекцій, ведення навчальної, освітньої та наукової роботи.

Парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва в Житомирській області представлені 23 об'єктами, з них: лише 5 загальнодержавного та 18 місцевого значення, та по різному розподіляються між адміністративними районами області (рис. 6). Так, основна

частка по 34,8% зосереджена в Житомирському та 3 районах, в Коростенському на 8,7% їх менше, а в Звягельському є лише один такий об'єкт.

На території області функціонує 3 дендрологічні парки місцевого значення. Один з дендрологічних парків є в Звягельському районі («Пілява») та два в Коростенському районі («Еліта» та «Гладковицький»).

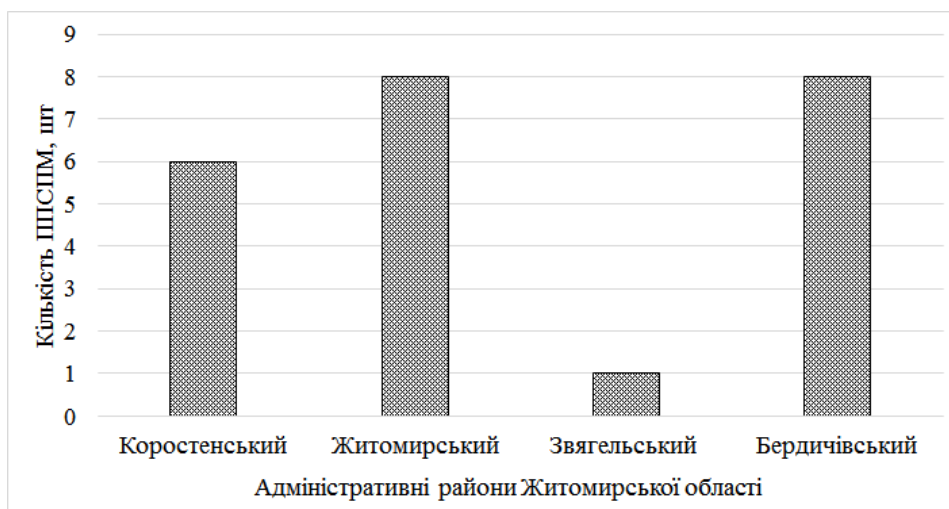


Рис. 6. Розподіл парків-пам'яток садово-паркового мистецтва по адміністративним районам Житомирської області

Джерело: власні дослідження

**Головні висновки.** Дослідженнями встановлено, що сучасна кількість території та об'єктів ПЗФ для Житомирської області становить 268. Показник заповідності по області – 4,77% і вважати його за задовільний неможна. Таке низьке значення показника заповідності свідчить, що наша область відстає в темпах щодо розвитку ПЗФ від раніше затверджених показників у нормативних документах, в Європейських країнах цей показник коливається від 10 до 25%. В Житомирській області наявні 6 категорій ПЗФ, особливо цінними є два природні заповідники. Найбільш поширеними є заказники – 196 шт, їх за типами можна розмістити в наступний рангований ряд (за збільшенням кількості): геоло-

гічні < орнітологічні < загальнозоологічні < гідрологічні < ботанічні < ландшафтні < лісові. За просторовим розподілом території та об'єкти ПЗФ розподіляються нерівномірно. Так, основна частина зосереджена в Коростенському районі – 134 об'єкти, в Звягельському та Житомирському по 52 та 60 об'єктів відповідно, і найменше в Бердичівському районі – 22 об'єкти. В останні роки кількість територій та об'єктів ПЗФ в області зростає, але потреба в подальшому його поліпшенні для ефективнішого функціонування й екологічно сталого розвитку існує. Тому до питання створення та збереження територій та об'єктів ПЗФ області необхідно залучати державні та місцеві органи влади.

### Література

1. Закон України «Про природно-заповідний фонд України». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-12#Text> (дата звернення: 15.05.2023 р.).
2. Гродзинський М. Д. Різноманіття ландшафтних різноманіть. Ландшафт як інтегруюча концепція ХХІ сторіччя: *Збірник наукових праць*. Київ, 1999. С. 50–56.
3. Гродзинський Д. М., Шеляг-Сосонко Ю. Р., Черевченко Т. М. та ін. Проблеми збереження та відновлення біорізноманіття в Україні. К.: Академперіодика, 2001. С. 104
4. Гродзинський М. Д., Шищенко П. Г. Збереження та відтворення ландшафтного різноманіття в контексті сталого розвитку. *Заповідна справа в Україні*. 1998. Т. 4. Вип. 1. С. 3–7.
5. Пащенко В. М. Ландшафтна різноманітність та її історичні трансформації. Проблеми ландшафтного різноманіття України. *Збірник наукових праць*. Київ, 2000. С. 28–33.
6. Мірошніченко О. В., Артамонов В. А. Інституційні проблеми створення та розвитку об'єктів природно-заповідного фонду України. *Всеукраїнська екологічна ліга*. К.: АспектПоліграф. 2013. № 6. С. 5–8.
7. Черемнова А. І. До питання створення та охорони територій та об'єктів природно-заповідного фонду України. *Актуальні проблеми держави і права*: зб. наук. пр. Вип. 25. Одеса, 2005. С. 378–382.
8. Гірний Б. М. Сучасний стан і перспективи розвитку природно-заповідного фонду України. *Продуктивні сили і регіональна економіка*: зб. наук. пр.: У 2 ч. / РВПС України НАН України. К.: РВПС України НАН України, 2004. Ч. 1. 245 с. С. 91–98.
9. Мельник В.В. Аналіз природно-заповідного фонду України та Житомирської області. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. К.: Видавничий дім «Гельветика», 2021. № 2(35). С. 125-131.
10. Мудрак О. В. Історія розвитку заповідної справи на Поділлі. Актуальні питання біології, екології та хімії. *Електронне наукове фахові видання Запорізького національного університету*. 2009. № 3. С. 77–89.
11. Василюк О. Функціональна класифікації територій природно-заповідного фонду України: історія формування та міжнародний аспект. *GEO&BIO*. 2019. Том 18. С. 3–20. doi: <https://doi.org/10.15407/gb1803>
12. Іваненко Є.І. Аналіз розміщення природно-заповідного фонду України: підхід, стан, проблеми. *Український географічний журнал*. 2013. № 3. С. 64–69.

13. Гетьман В.І. Ландшафтна репрезентативність природно-заповідного фонду України. *Екологічні науки : науково-практичний журнал*. К.: Видавничий дім «Гельветика», 2021. № 7(34). С. 71–80.
14. Кирилюк М. О. Картографування природно-заповідного фонду України: сучасний стан та перспективи. *Регіональні проблеми України*. 2019. С. 125–128.
15. Поливач К. А. Інформаційно-довідковий атлас природно-заповідного фонду регіону. *Український географічний журнал*. 2016. № 1 С.53–60. <https://doi.org/10.15407/ugz2016.01.053>
16. Яйлимов Б.Я., Яйлимова Г.О., Шелестов А.Ю., Лавренюк А.М. Використання супутникових продуктів для аналізу змін території природно-заповідного фонду України. *Міжнародний науково-технічний журнал – Проблеми керування та інформатики*. 2022. № 3. С. 135–150.
17. Орлов О. О. Рідкісні та зникаючі види судинних рослин Житомирської області. Житомир: Вид-во «Волинь», ПП «Рута». 2005. 498 с.
18. Орлов О.О., Сіренський С.П., Подобайло А.В., Сесін В.А. Заповідна Житомирщина. К.: Фітосоціоцентр. 2001. 196 с.
19. Орлов О. О., Сіренський С. П., Якушенко Д. М., Жижин М. П., Степаненко М. А., Тарасевич О. В. Природно-заповідний фонд Житомирської області: Довідник. За загальною редакцією О.О. Орлова. Житомир, Новоград-Волинський: Вид-во «НОВОГрад», 2015. 404 с.
20. Орлов О. О., Жила С. М. Житомирська область. Природно-заповідний фонд України: території та об'єкти загальнодержавного значення. К.: ТОВ «Центер екологічної освіти та інформації. 2009. С. 90–97.
21. Андриєнко Т. Л., Онищенко В. А. Поліський природний коридор. *Жива Україна*. 2006. № 5–6, С. 1–2.
22. Ткачук В. І. Багаторічна динаміка природно-заповідного фонду на території лісогосподарських підприємств Житомирської області. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2007. Вип. 111. С. 235–241.
23. Осадчук К.О., Давидова І.В., Корбут М. Б., Бондарчук В.М., Бабяк В.В. Репрезентативність природних екосистем у природно-заповідному фонді Житомирської області. *Технічна інженерія*. 2021. Вип. 2(88). С. 135–147.
24. Герасимчук О.Л. Корбут М.Б. Екологічна стежка як засіб формування екологічної культури особистості. *Проблеми освіти: збірник наукових праць ДНУ «Інститут модернізації змісту освіти»*. Випуск 91. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2019. С. 92–96.
25. Андреева, О. Ю., Марков, Ф. Ф., Іванюк, Т. М., Корма, О. М., & Кірейцева, Г. В. Різноманіття флори на деяких об'єктах природно-заповідного фонду ДП «Коростенське лісомисливське господарство» Житомирської області. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2022. 32(4). С. 12–17.
26. Валерко Р.А., Герасимчук Л.О., Фоменський Ю.Ю., Піциль А.О. Особливості здійснення державного нагляду у сфері використання об'єктів природно-заповідного фонду на території Житомирської області. *Аграрні інновації*. 2022. № 14. С. 180–185.
27. Екологічний паспорт Житомирської області. URL: [https://eprdep.zht.gov.ua/Ekopasport\\_2021.pdf](https://eprdep.zht.gov.ua/Ekopasport_2021.pdf) (дата звернення: 30.04.2023).
28. Про оголошення об'єктів природно-заповідного фонду місцевого значення. URL: [https://zt.gov.ua/images/Proekt/12s/dod\\_12-prig-ohor.docx](https://zt.gov.ua/images/Proekt/12s/dod_12-prig-ohor.docx)(дата звернення: 05.04.2023).
29. Древянський природний заповідник. URL: [https://www.wikiwand.com/uk/%D0%94%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%BB%D1%8F%D0%BD%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9\\_%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%B9\\_%D0%B7%D0%B0%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D1%96%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%BA](https://www.wikiwand.com/uk/%D0%94%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%BB%D1%8F%D0%BD%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%B7%D0%B0%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D1%96%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%BA) (дата звернення: 02.05.2023).
30. Поліський природний заповідник. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D1%96%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9\\_%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%B9\\_%D0%B7%D0%B0%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D1%96%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%BA](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D1%96%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%B7%D0%B0%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D1%96%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%BA) (дата звернення: 02.05.2023).
31. 2 лютого – Всесвітній день водно-болотних угідь. URL: <https://eprdep.zht.gov.ua/denj%20bolit.htm> (дата звернення: 02.05.2023).
32. Мурин С.С., Мельник-Шамрай В.В. Проблеми утворення відходів в Україні та існуючі технології їх переробки. Тези Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції», 30 листопада 2022 року. Житомир: «Житомирська політехніка», 2022. С. 43–44.

УДК 502.3:504(477.73)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.3-48.18>

## ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНИЙ ФОНД МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ ПІД ЧАС ВІЙНИ ТА У ПОВОЄННИЙ ПЕРІОД

Патрушева Л.І.

Чорноморський національний університет імені Петра Могили  
вул. 68 десантників, 10, 54003, м. Миколаїв  
[lpatruseva2@gmail.com](mailto:lpatruseva2@gmail.com)

Автором у статті проаналізовано характер впливу та наслідки бойових дій на територіях та об'єктах ПЗФ Миколаївської області. У роботі зазначено, що у ситуації, яка склалася, значного негативного впливу зазнали всі компоненти навколишнього середовища: атмосфера, ґрунти, гідромережа, біотичне та ландшафтне різноманіття. Найбільш небезпечним та загрозованим, для існування, він став для природоохоронних територій регіонального та національного значення, що включені до екомережі та ПЗФ України, а також для об'єктів міжнародного значення, які є елементами Світової мережі біосферних заповідників та Смарагдової мережі. Події, що там відбувались, протягом воєнного періоду, є надто небезпечними, тому потребують особливої уваги. За своїм характером військові дії є дуже впливовим фактором. Наслідки їх прояву будуть залежати від інтенсивності та тривалості активної фази, а також від місця розташування об'єкта відносно лінії фронту. Просторово-часові характеристики стану об'єктів ПЗФ Миколаївської області автор досліджував з використанням картографічного методу. Для аналізу було обрано карти ресурсу Deep state map та карту природно-заповідного фонду. Фізична присутність росіян була зафіксована майже на 12% території Миколаївської області, що становить близько 3 тис км<sup>2</sup>. А зона регулярних артилерійських та ракетних обстрілів розташована в трьох районах та 20 громадах і перевищує 20% площі області. В цій зоні нараховується 79 об'єктів природно-заповідного фонду загальною площею понад 56,5 тис. га., що становить понад 72% від загальної площі ПЗФ області. Наслідки військових дій є всеохоплюючими і непередбачуваними. Оцінити масштаб збитків можна лише після відсування лінії фронту та закінчення активних бойових дій на території Миколаївської області. Первинні дослідження можуть бути здійснені з використанням дистанційних методів аерофотозйомки та космічної зйомки. Безпосередні польові обстеження можуть відбуватись тільки після розмінування територій. А повне розуміння втрат серед тваринного населення прийде через декілька років в результаті системних моніторингових спостережень. *Ключові слова:* природно-заповідний фонд, активні бойові дії, відновлення природних територій, моніторинг природних територій.

### Nature reserve fund of the Mykolaiv region during the war and in the post-war period. Patrusheva L.

In the article, the author analyzed the nature of the influence and consequences of hostilities on the territories and objects of the Nature reserve fund of the Mykolaiv region. The work states that in the current situation, all components of the environment were significantly negatively affected: the atmosphere, soils, water network, biotic and landscape diversity. It has become the most dangerous and threatening for the existence of nature conservation areas of regional and national importance, which are included in the eco-network and Nature reserve fund of Ukraine, as well as for objects of international importance, which are elements of the World Network of Biosphere Reserves. and Emerald Network. The events that took place there during the war are too dangerous and therefore require special attention. By its very nature, military action is a very influential factor. The consequences of their manifestation will depend on the intensity and duration of the active phase, as well as on the location of the object relative to the front line. The author used the cartographic method to study the spatio-temporal characteristics of the state of the Nature reserve fund objects of the Mykolaiv region. Maps of Hlybina resources and a map of the nature reserve fund were selected for analysis. The physical presence of Russians is recorded on almost 12% of the territory of the Mykolaiv region, which is about 3 thousand km<sup>2</sup>. And the zone of regular artillery and rocket fire is located in three districts and 20 communities and exceeds 20% of the area of the region. In this zone, there are 79 objects of the nature reserve fund with a total area of more than 56.5 thousand hectares, which is more than 72% of the total area of the Nature reserve fund of the region. The consequences of military actions are all-encompassing and unpredictable. It is possible to estimate the extent of the damage only after the front line has been pushed back and active hostilities have ended in the territory of the Mykolaiv region. Primary studies can be carried out using remote methods of aerial photography and space photography. Direct field surveys can take place only after demining the territories. And a full understanding of losses among the animal population will come in a few years as a result of systematic monitoring observations. *Key words:* nature reserve fund, active combat operations, restoration of natural territories, monitoring of natural territories.

**Постановка проблеми.** Активний наступ російських військ 24 лютого 2022 року водночас порушив природний розмірений ритм життя на півдні України. Військові дії спричинили руйнівний вплив на довкілля. Вони стали фактором турбування та причиною загибелі живих організмів, призвели до деградації природних ландшафтних комплексів в цілому. Ці території опинилися в екстремальних умовах, які тривали на більшій частині окупованої території понад 8 місяців, а деякі об'єкти залиша-

ються захопленими вже більше року. Чим тривалішим є вплив війни, тим складнішими та проблемнішими будуть наслідки і тим більше часу потрібно буде на реабілітацію цих територій.

Вивчення характеру впливу військових дій на різних територіях допоможе усвідомити та спланувати напрямки наукової, рекреаційної та просвітницької діяльності установ природно-заповідного фонду (ПЗФ).

**Метою** представленого дослідження є розуміння сучасного стану ПЗФ Миколаївської області,

в сучасних умовах, та розробка механізму його відродження у повоєнний період.

Відповідно, **об'єктом** є ПЗФ Миколаївської області, що зазнав впливу російсько-української війни.

**Предметом** дослідження виступає характер впливу та наслідки бойових дій на територіях та об'єктах ПЗФ Миколаївської області.

Для досягнення поставленої мети нами були визначені наступні **завдання**:

- ознайомитись які дослідження вже проведено на території обраного регіону;
- вивчити досвід роботи в інших регіонах та в цілому по Україні;
- проаналізувати які саме об'єкти і як саме постраждали від активних бойових дій;
- розробити рекомендації, щодо вирішення проблеми реабілітації об'єктів ПЗФ.

**Актуальність дослідження.** Все різноманіття дій окупантів у Миколаївській області почали відчуватися з перших годин цієї війни. В ситуації, що склалася, значного негативного впливу зазнали всі компоненти навколишнього середовища: атмосфера, ґрунти, гідромережа, біотичне та ландшафтне різноманіття. Найбільш небезпечними та загрозливими, для існування, вони стали для природоохоронних територій регіонального та національного значення, що включені до екомережі та ПЗФ України, а також для об'єктів міжнародного значення, які є елементами Світової мережі біосферних заповідників та Смарагдової мережі. Події, що там відбувались, протягом воєнного періоду, є надто небезпечними, тому потребують особливої уваги.

Природоохоронні об'єкти та території ефективно виконують свої функції лиш в умовах гарантованої дії спеціального природоохоронного режиму. Вони є надзвичайно вразливими до будь якої дії з зовні, саме тому потребують спеціального ставлення та захисту з боку представників місцевих громад, органів державного управління, науковців та фахівців екологів. Залишення об'єктів без спостереження та контролю за станом біотичного та ландшафтного різноманіття, в умовах інтенсивного, екстремального антропогенного навантаження може привести до їх деградації та втрати. До саме такого виду навантаження належать військові дії.

За своїм характером військові дії є дуже впливовим фактором. Наслідки від їх прояву будуть залежати від інтенсивності та тривалості активної фази, а також від місця розташування об'єкта відносно лінії фронту. Проблема збереження ПЗФ під час війни є надзвичайно актуальною і потребує постійного, комплексного моніторингу.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Завдання збереження і реабілітації територій та об'єктів ПЗФ є одним з пріоритетних напрямків у загальній проблемі відновлення довкілля у повоєнний період.

Державною інституцією, що має опікуватись питанням повоєнного розвитку держави Указом президента визначено Національну раду з відновлення України від наслідків війни [12]. Національною радою у проєкті «Плану відновлення України» запропоновано: забезпечити відновлення та розвиток природоохоронних територій, збереження біорізноманіття, збільшення площ природних екосистем та збалансування ландшафтів (збалансування структури ландшафтів для збереження природних екосистем та біорізноманіття, створення ефективної системи управління природоохоронними територіями з метою їх відновлення та розвитку). Гармонізувати управління ними з нормами ЄС.

До вивчення та вирішення проблеми впливу війни на природоохоронні території активно включилися міжнародні та вітчизняні фонди та громадські організації. Вони допомагають у фінансуванні, наукових розробках, польових та дистанційних дослідженнях, розмінуванні території. За підтримки Всесвітнього фонду дикої природи (WWF), уряду США, програми LIFE —проєкту ЄС стосовно довкілля та клімату, Швейцарського фонду з протимінної діяльності (Swiss Foundation for Mine Action, FCD), МБО «Екологія-Право-Людина», Української Гельсінської спілки з прав людини тощо, державні установи, науковці й неурядові організації здійснюють моніторинг стану ПЗФ Миколаївської області та України загалом, розробляють програму розвитку територій на майбутнє у повоєнний період.

Важливість авторського доробку та його зв'язок з практичними завданнями полягає у можливості застосування представлених рекомендацій щодо реабілітації об'єктів ПЗФ будь якого регіону.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема впливу активних бойових дій на території та об'єкти ПЗФ для України виникла у 2014 році з початком захоплення Донецької, Луганської областей та АР Крим. Дослідженням стану особливо цінних природних територій, що опинились в зоні окупації, або на лінії фронту активно займались науковці, громадські діячі та журналісти. Спільна робота Кравченко О., Василюк О., Войціховська А., Норенко К. [5] розкриває різні аспекти впливу війни на різні компоненти довкілля: атмосферне повітря, ґрунти, ліси. Окремо приділено достатньо уваги і об'єктам ПЗФ регіону. Автори надають детальну класифікацію механічних пошкоджень завданих різними типами зброї.

Учасники Міжнародної благодійної організації «Екологія-Право-Людина» подають дослідження стосовно впливу воєнних дій на довкілля на сході України [1, 3] на початку російсько-української війни. Вони наводять основні характеристики стану навколишнього середовища Донецької та Луганської областей до початку конфлікту, оцінюють шкоду, завдану довкіллю. Ними досліджено фактори забруднення та руйнування природних об'єктів, крім того,

у посібнику зроблено аналіз міжнародних досліджень шкоди, завданої довкіллю від воєнних конфліктів, що здійснювались міжнародними організаціями на території пост-конфліктних країн, наведено основні аспекти національного та міжнародного законодавства захисту довкілля під час війни [3].

Детальний аналіз різних видів впливу на природні території представляє Українська Гельсінська спілка з прав людини [6].

Вплив нинішньої фази повномасштабної війни на ПЗФ різних областей України проаналізовано у роботі Пархоменко В.В., Василюка О.В. [8]. Вони описують стан об'єктів на початку вторгнення росіян.

Рекомендації щодо безпечного моніторингу стану ПЗФ, під час війни та у повоєнний період, з використанням методів ДЗЗ та ГС, запропоновані у роботах: Бондар О.І., Фініна Г.С., Шевченка Р.Ю. [2]; Зацерковний В., Савков П., Пампуха І., Васецька К. пропонують аналізувати лісові пожежі з використанням дистанційних методів [4]. Стан біорозмаїття дозволять вивчати методики розроблені Козловою А, Пестовою І., Патрушевою Л., Шведенюком М. [13, 14].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Для Миколаївської області проведено статистичний аналіз об'єктів дикої природи що зазнали впливу від початку війни 24 лютого 2022 року і до травня 2023 року. Інформація щодо наслідків військових дій потребує систематизації та різнопланового аналізу. Також увагу варто приділити методам дослідження стану ПЗФ та принципам з дотриманням яких можна досягти максимального ефекту в реабілітації природоохоронних територій.

**Новизна отриманих результатів дослідження** полягає в тому, що проаналізовано особливості впливу різних за інтенсивністю та тривалістю військових дій на природоохоронні території Миколаївської області. Також запропоновано механізм вивчення та вирішення проблеми збереження та відновлення ПЗФ.

**Матеріали та методи дослідження.** Просторово-часові характеристики стану об'єктів ПЗФ Миколаївської області ми досліджували з використанням картографічного методу. Для аналізу нами обрано карти ресурсу Deep state map (рис.1). Вони є достатньо інформативними та достовірними, також досить об'єктивно відображають динаміку бойових дій. Також просторова інформація, за запитом, може бути доповнена деталізованими подіями.

Все що стосується просторової, кількісної та описової інформації про ПЗФ Миколаївської області досить добре представлено на карті ПЗФ України порталу «Природа України» [10]. Точність карти для досягнення поставленої мети є достатньою.

Співставлення карт бойових дій та ПЗФ є досить коректним оскільки вони виконані на одній основі Open Street Map.

**Викладення основного матеріалу.** Від першого дня нападу російських військ на територію України і до сьогодні, їх фізична присутність була зафіксована майже на 12% території Миколаївської області, що становить близько 3 тис км<sup>2</sup>. А зона регулярних артилерійських та ракетних обстрілів розташована в трьох районах та 20 громадах і перевищує 20% площі області. В цій зоні нараховується 79 об'єктів природно-заповідного фонду загальною площею понад 56,5 тис. га., що становить понад 72% від загальної площі ПЗФ області.

Військові дії, здебільшого, відбувались у лівобережній частині басейну Південного Бугу та у басейні Інгульця, східна частина Миколаївської області. Також під регулярні обстріли потрапляє прибережна смуга Чорного моря Дніпробузького та Бузького лиманів (рис. 1).

На початку повномасштабного наступу російські війська рухалися авто дорогами. На цьому етапі, природні території були майже не ушкоджені, за деяким виключенням. А в місцях де військові дії затягнулися – росіяни змінили тактику та готувалися до тривалих протистоянь. Для цього вони формували бази та фортифікаційні споруди. Відповідно вони просувалися вглиб природних територій: займали ліси, балки, в тому числі розташовані на територіях ПЗФ.

За часом та характером впливу всю територію, що зазнала військових дій варто поділити на ділянки (рис. 1):

- активного, регулярного вогневого враження;
- досить швидкого (без затримок) проходження російських військ;
- тривалої окупації.

Ступінь враженості об'єктів ПЗФ буде залежати від того на якій ділянці він розташований.

Співставляючи карти динаміки бойових дій та карту ПЗФ Миколаївської області ми провели аналіз впливу військових дій на об'єкти ПЗФ (таблиця 1).

Без окупації, але тривалий час під обстрілами були: регіональний ландшафтний парк «Вісунсько-Інгулецький», а також заказники місцевого значення (1674,0 га). Заповідні урочища (106,0 га), парки пам'ятки садово-паркового мистецтва місцевого значення, (116,2 га), зоопарк (18,5 га). Короткочасне проходження через територію зазнали заказники місцевого значення, що становлять лиш 2% від загальної площі заказників області.

Однозначно, будь які військові дії є небезпечними для всіх компонентів довкілля. Характер впливу може бути різним це:

1. Фізичне знищення або пошкодження в наслідок падіння снаряду, ракети, літаючого засобу, пожежі. Також унаслідок проїзду важкої військової техніки. Збитків зазнають всі без виключення компоненти довкілля.

2. Пошкодження та турбування вибуховою хвилею при якому можливо повне або часткове пошкодження рослинності, руйнування пташиних гнізд тощо.

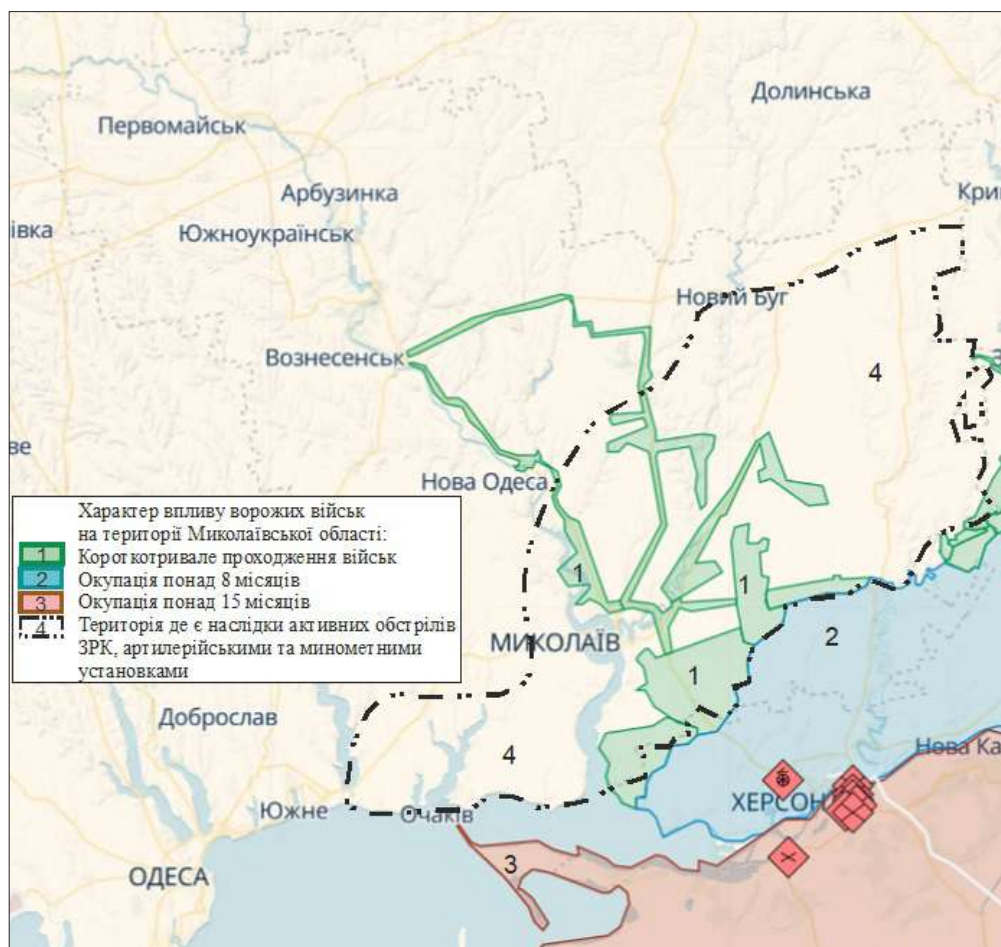


Рис. 1. Військові дії на території Миколаївської області

Таблиця 1

## Аналіз впливу військових дій на об'єкти ПЗФ Миколаївської області

Категорія об'єктів ПЗФ	Загальна площа в межах області, га	Окупація		Обстріли		Швидке проходження через територію	
		га	%	га	%	га	%
Біосферний заповідник	2749,0	2749,0	100,00	-	-	-	-
Національні природні парки	41361,3	35223,2	85,20	-	-	-	-
Регіональні ландшафтні парки	39345,2	17890,0	45,50	2712,6	6,90	-	-
Заказники місцевого значення	143075,0	97,0	0,10	1674,0	1,20	2826,0	2,00
Заповідні урочища	3654,0	-	-	106,0	2,90	-	-
Пам'ятки природи місцевого значення	45409,0	-	-	27,0	0,06	-	-
Парки пам'ятки садово-паркового мистецтва місцевого значення	177,3	-	-	116,2	65,53	-	-
Зоопарк	18,5	-	-	18,5	100	-	-

3. Забруднення території, акваторії рештками знищеної військової техніки, паливно-мастильними матеріалами забруднення повітря унаслідок пожеж на об'єктах інфраструктури та в природних екосистемах, вибухів боєприпасів, складів мінеральних добрив, накопичення продуктів руйнування будівель.

4. Шумовий вплив, котрий є надзвичайно небезпечним для тварин, особливо у весняно-літній період, під час виведення потомства; тобто є чутливі види, які перестають гніздитися, а їх місце займають чужорідні види, що характерні для порушених екосистем (наприклад, лелеки). Із ссавців поширення



Рис. 2. Схема досліджень стану об'єктів ПЗФ під час війни та у повоєнний період

набуває шакал, тим паче, що для нього чимало сприятливих умов (заростання колишніх пасовищ і лук, часта загибель диких тварин і людей).

5. Зміна мікрорельєфу фортифікаційними спорудами.

6. Загибель тварин від мін та розтяжок.

Також не менш важливими є вторинні прояви:

7. Заростання степів чагарниками та ріст популярності мисливських видів тварин.

Чим довше триває війна, тим більше шкоди вона завдасть довкіллю, і тим більше наслідків ми матимемо в майбутньому.

**Висновки.** Наслідки військових дій є всеохоплюючими і непередбачуваними. Оцінити масш-

таб збитків ми зможемо лиш після відсування лінії фронту та закінчення активних бойових дій на території Миколаївської області. Первинні дослідження можуть бути здійснені з використанням дистанційних методів аерофотозйомки та космічної зйомки. Безпосередні польові обстеження можуть відбуватись тільки після розмінування територій. А повне розуміння втрат серед тваринного населення прийде через декілька років в результаті системних моніторингових спостережень.

**Перспективи використання результатів дослідження.** В результаті проведених досліджень нами може бути запропонована загальна схема вивчення стану об'єктів ПЗФ (рис. 2).

### Література

1. Більшість заповідних територій в АТО пошкоджено війною, 2018, МБО «Екологія-Право-Людина». URL: <http://epl.org.ua/environment/bilshist-zapovidnyh-terytorij-v-ato-poskodzheno-vijnoyu>
2. Бондар О.І., Фінін Г.С., Шевченко Р.Ю. Екологічні виклики воєнного часу: оцінка впливу на довкілля космічними системами дистанційного зондування та GPS-навігації. Екологічні науки : науково-практичний журнал. 2022. № 4(43). С. 40–49. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.7>
3. Воєнні дії на сході України — цивілізаційні виклики людству. / Львів: ЕПЛ, 2015. 136 с. URL: [http://epl.org.ua/wp-content/uploads/2015/07/1817\\_WEB\\_EPL\\_Posibnuk\\_ATO\\_Cover\\_Ukrainian.pdf](http://epl.org.ua/wp-content/uploads/2015/07/1817_WEB_EPL_Posibnuk_ATO_Cover_Ukrainian.pdf)
4. Зацерковний (V.Zatserkovnyi) В., Савков (P.Savkov) П., Пампуха (I. Pampukha) І., & Васецька (K.Vasetska) К. (2020). Застосування технологій ГІС та ДЗЗ в задачах моніторингу лісових пожеж. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Військово-спеціальні науки, 44(2(44)), 54–58. URL: <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2020.44.54-58>
5. Кравченко О., Василюк О., Войціховська А., Норенко К. Дослідження впливу військових дій на довкілля на Сході України. Філософія. 2015, № 2 (134), С. 118–123. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Skhid\\_2015\\_2\\_23](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Skhid_2015_2_23)
6. На межі виживання: знищення довкілля під час збройного конфлікту на сході України. А. Б. Блага, І. В. Загороднюк, Т.Р. Короткий, О. А. Мартиненко, М. О. Медведєва, В. В. Пархоменко; за заг. редакцією А. П. Буценка. Українська Гельсінська спілка з прав людини. URL: <https://helsinki.org.ua/wp-content/uploads/2017/06/Na-mezhi-vyzhyvannya.pdf>
7. Оцінка екологічної шкоди та пріоритети відновлення довкілля на сході України. К.: ВАІТЕ, 2017. 88 с. URL: [https://www.osce.org/files/f/documents/6/3/362581\\_0.pdf](https://www.osce.org/files/f/documents/6/3/362581_0.pdf)
8. Пархоменко В.В., Василюк О.В. Заповідні території і російсько-українська війна. Сучасні фітосологічні дослідження в Україні. Збірник наукових праць. Випуск шостий. Київ, 2022. С. 88–94. URL: [https://www.researchgate.net/publication/369537683\\_Zapovidni\\_teritorii\\_i\\_rosijsko-ukrainska\\_vijna](https://www.researchgate.net/publication/369537683_Zapovidni_teritorii_i_rosijsko-ukrainska_vijna)
9. Післявоєнна доля світових нащарків: збереження з користю для людей, держави та природи. Українська природоохоронна група. URL: <https://uncg.org.ua/pisliavoenna-dolia-svitovykh-natsparkiv-zberezhennia-z-korystiu-dlia-liudej-derzhavy-ta-prirody/>



10. Природно-заповідний фонд України. Карта. Портал «Природа України» URL: <https://pzf.land.kiev.ua/>
11. Російські війська продовжують нищити довкілля України: пожежами від бомбардувань вже пошкоджено майже 102 тис.га ландшафтів. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Офіційний портал. URL: <https://mepr.gov.ua/news/39077.html>
12. Указ Президента України №266/2022 Питання Національної ради з відновлення України від наслідків війни. 21 квітня 2022. URL: <https://www.president.gov.ua/documents/2662022-42225>
13. Kozlova, A., Piestova, I., Patrusheva, L., Lubsky, M., Nikulina, A., & Svideniuk, M. (2019). Estimation of the seasonal leaf area index in urban oak forests using Sentinel-2 time series data. European Association of Geoscientists & Engineers. URL: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902134>
14. Kozlova, A., Stankevich, S., Svideniuk, M., & Andreiev, A. (2021). Quantitative Assessment of Forest Disturbance with C-Band SAR Data for Decision Making Support in Forest Management. Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making, 548–562. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-82014-5\\_37](https://doi.org/10.1007/978-3-030-82014-5_37)
15. Tsaryk L., Kuzyk I. Russian-ukrainian war: environmental aspect. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: географія. Том 53 № 2, 2022. С. 100–106. URL: <https://doi.org/10.25128/2519-4577.22.2>

## МІКРОБІОЛОГІЧНИЙ СТАН ПОВІТРЯ В НАВЧАЛЬНИХ КАБІНЕТАХ ЗАКЛАДУ ОСВІТИ

Бордюг Н.С.

Державний університет «Житомирська політехніка»  
вулиця Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир  
natali-21@ukr.net

Забруднене повітря закритих приміщень безпосередньо впливає на самопочуття та здоров'я здобувача освіти. Через відсутність чистого повітря часто з'являються скарги на задуху, головний біль, пітливість, падіння розумової працездатності, сонливість тощо. Існує багато методів очищення повітря закритих приміщень, зокрема навчальних кабінетів: провітрювання кімнати, вологе прибирання, встановлення вентиляції і так далі. Оскільки фітонцидні властивості рослин теж впливають на зменшення шкідливих мікроорганізмів в повітрі закритих приміщень, тому дослідження впливу кімнатних рослин на мікрофлору повітря навчальних кабінетів є актуальним. Досліджено здатність певних видів рослин до очищення повітря та, на основі отриманих результатів, сформовано перелік необхідних рослин для розміщення у навчальних кабінетах. Експериментально доведено, що найбільш позитивно будуть впливати на мікробіологічний стан повітря такі рослини: Хлорофітум чубатий, Кімнатний лимон, Цитофортунела мікрокарпа, Аспарагус Шпренгера. Встановлено, що основні параметри (температура та вологість) мікроклімату навчальних кабінетів відповідає гігієнічним нормам і є оптимальним для проведення занять. Встановлено зниження вмісту мікроорганізмів з розміщенням кімнатних рослин з 1818 КУО на 455 КУО в 1 м<sup>3</sup> повітря. Проте на 10 день дослідження спостерігали зростання кількості мікроорганізмів до 1667 КУО. Відповідно, було скориговано видовий склад рослин. Результати дослідження довели позитивний вплив кімнатних рослин групи 2 на мікробіологічний стан досліджуваних навчальних кабінетів, що підтверджується зменшенням кількості мікроорганізмів у повітрі. Впровадження розроблених рекомендацій щодо озеленення навчальних кабінетів у закладі освіти сприятиме зменшенню рівня мікробіологічного забруднення в повітрі закритих приміщень. *Ключові слова:* повітря навчальних кабінетів, мікроклімат, загальне мікробне забруднення, кімнатні рослини.

### **Microbiological condition of the air in the teaching offices of the educational institution. Bordiug N.**

Polluted indoor air has a direct impact on the student's well-being and health. Polluted air causes suffocation, headache, sweating, decreased mental capacity, drowsiness, etc. There are many methods of cleaning the air in classrooms. Such methods include: airing the room, wet cleaning, installing ventilation, and so on. Phytoncidal properties of plants affect the reduction of the number of harmful microorganisms in the air. Therefore, the study of the effect of indoor plants on the microflora of the air in classrooms is relevant. The ability of certain types of plants to purify the air has been studied. Based on the obtained results, a list of necessary plants for placing in classrooms was formed. It has been experimentally proven that the following plants will have the most positive effect on the microbiological state of the air: Chlorophytum crested, Indoor lemon, Cytofortunella microcarpa, Sprenger's asparagus. It was established that the main parameters (temperature and humidity) of the microclimate of classrooms meet hygienic standards and are optimal for classes. It was established that the presence of plants in the room helped to reduce the content of microorganisms from 1818 CFU to 455 CFU in 1 m<sup>3</sup> of air. However, on the 10th day of the study, an increase in the number of microorganisms to 1667 CFU was observed. Accordingly, the species composition of plants was adjusted. The results of the study proved the positive effect of indoor plants of group 2 on the microbiological condition of the studied classrooms. The conclusion is confirmed by the decrease in the number of microorganisms in the air. The implementation of the developed recommendations for the landscaping of classrooms in an educational institution will contribute to reducing the level of microbiological pollution in the air of closed premises. *Key words:* classroom air, microclimate, general microbial contamination, indoor plants.

**Постановка проблеми.** Повітря є одним із найважливіших природних ресурсів, без якого життя було б неможливим. Кожна клітина людського організму потребує чистого і свіжого повітря, адже без нього вже за декілька хвилин настає смерть. Питання якості повітря є безсумнівно важливе для всіх людей, однак особливу увагу варто звернути на проблему мікрофлори повітря в закладах освіти, адже цьому надають несправедливо мало уваги.

**Актуальність дослідження.** Переважну частину свого дня дитина проводить в закладах освіти, тому є дуже важливим підтримувати мікрофлору повітря

чистими. Але це не так легко як здається, адже повітря в закритому просторі забруднюється в 2 рази швидше. Пил, вихлопні гази, дрібнодисперсний пил, цвіль – це все забруднюючі речовини, які можуть потрапити в кімнату шляхом відчиненого вікна та через відсутність вітру ще довго перебувати в приміщенні та приносити шкоду юним організмам. Не треба забувати про респіраторні інфекції, які передаються повітряно-крапельним шляхом: вони набагато швидше поширюються в закритих приміщеннях через велику кількість людей та вологість. Також під час чхання, кашлю та навіть розмови в повітря

виділяються різні бактерії, які містяться в ротовій порожнині, які призводять до захворювань.

Забруднене повітря безпосередньо впливає на самопочуття та здоров'я здобувача освіти. Через відсутність чистого повітря часто з'являються скарги на задуху, головний біль, пітливість, падіння розумової працездатності, сонливість тощо [8]. Існує багато методів очищення повітря закритих приміщень, зокрема навчальних кабінетів: провітрювання кімнати, вологе прибирання, встановлення вентиляції і так далі. Оскільки фітонцидні властивості рослин теж впливають на зменшення шкідливих мікроорганізмів в повітрі закритих приміщень, тому дослідження впливу кімнатних рослин на мікрофлору повітря навчальних кабінетів є актуальним.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Впровадження розроблених рекомендацій щодо озеленення навчальних кабінетів у закладі освіти сприятиме зменшенню рівня мікробіологічного забруднення в повітрі закритих приміщень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Широко досліджується стан атмосферного повітря в різних населених пунктах та вплив на його якість підприємств за мікробіологічними та хімічними показниками [1, 7, 9]. Проте не достатньо приділено уваги дослідженню якості повітря у закритих приміщеннях, а саме в навчальних кабінетах, та заходам щодо його покращення. Зокрема, науковці вивчають вміст забруднюючих речовин в кабінетах [4] та мікрофлору офісних приміщень [2].

Аналіз наукових праць доводить, що кімнатні рослини в закритих приміщеннях сприяють покращенню мікроклімату. Головною причиною позитивного впливу кімнатних рослин на повітря є такі біологічно активні речовини як фітонциди [10].

Виділяючи у навколишнє середовище фітонциди, вони не тільки згубно діють на мікроорганізми, пригнічують розвиток шкідливих грибків, а й покращують в цілому мікроклімат. Особливо це є важливим саме для закритих приміщень, до яких відносять навчальні кабінети закладів освіти, оскільки є зниженою циркуляція повітря, постійна температура і вологість сприяють розвитку мікрофлори повітря, постійне скупчення людей призводить до поширення інфекційних захворювань [3, 6].

Вчені у наукових працях зазначають, що для максимального очищення повітря закритих приміщень необхідно використовувати рослини з великими листками та достатньою кількістю пор на них. До таких рослин відносять хлорофітум чубатий, який здатний очистити повітря в кабінеті на 70–80% за умови розміщення 4-х рослин на 10 м<sup>2</sup>. До рослин, які володіють здатністю покращувати мікрофлору навчальних кабінетів, зменшуючи загальну кількість мікроорганізмів, відносять: бегонія, пеларгонія, розмарин (до 80%); антуриум, сансев'єрія, традесканція, товстянка, туя (до 70%); кипарис, олеандр (до 60%);

алоє, фікус, лавр (до 40%); агава, плющ, агапантус (до 30%) [3, 5, 10].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** У рамках вирішення проблеми впровадження альтернативних заходів щодо очищення повітря в навчальних кабінетах, доцільно виокремити такі не вирішені проблеми:

1. Системи очистки повітря закритих приміщень майже не використовуються в закладах освіти. Природна вентиляція є недостатньою для зменшення рівня забруднення повітря, особливо мікробіологічного. Тому використання кімнатних рослин для озеленення закритих приміщень, зокрема навчальних кабінетів, може покращити якість повітря. Відтак, для обґрунтування доцільності вибору кімнатних рослин, які ефективно будуть очищувати повітря в навчальних кабінетах від мікробіологічного забруднення, дослідження варто розвивати.

2. Недостатньо вивченим залишається питання мікробіологічного стану повітря навчальних кабінетів у закладах освіти. Постійний контроль за мікрокліматом повітря, включаючи і мікробіологічні дослідження, вимагає чіткого планування, що забезпечить ефективне впровадження заходів щодо покращення стану повітря.

**Викладення основного матеріалу.** Для проведення досліджень щодо вивчення впливу кімнатних рослин на мікробіологічний стан навчальних кабінетів у закладі освіти на прикладі КЗПО «Обласний еколого-натуралістичний центр» ЖОР, було обрано такі види рослин: Хлорофітум чубатий (*Chlorophytum comosum*), Сансев'єрія трисмугова (*Sansevieria trifasciata*), Алоє лікарське (*Aloe vera*), Аспарагус Шпренгера (*Asparagus sprengeri*), Гузманія мінор (*Guzmania minor*), Більбергія пірамідальна (*Bilbergia pyramidalis*), пеларгонія зональна (*Pelargonium zonale*), Лимон кімнатний (*Citrus limon*), Цитофортунела мікрокарпа (*Citrofortunella microcarpa*), Драцена Маргіната (*Dracaena Marginata*), Драцена запашна (*Dracaena fragrans*), Драцена деремська (*Dracaena deremensis*). Вибрані види рослин здатні очищувати повітря закритих приміщень, зокрема володіють високими антибактеріальними властивостями.

Проведено дослідження щодо визначення мікробіологічного стану повітря біля вибраних видів рослин. Результати дослідження наведено на рис. 1.

Встановлено, що найменшу кількість мікроорганізмів в 1 м<sup>3</sup> міститься біля лимона кімнатного (151 КУО), цитофортунели мікрокарпи (303 КУО), хлорофітума чубатого (454 КУО), аспарагуса Шпренгера (756 КУО), пеларгонії зональної (1060 КУО), сансев'єрії трисмугової (1060 КУО), алоє лікарське (1060 КУО), різних видів драцен (1515 КУО), різних видів бромелієвих (1515 КУО.). Відповідно до результатів дослідження, було здійснено підбір рослин для навчальних кабінетів, вра-

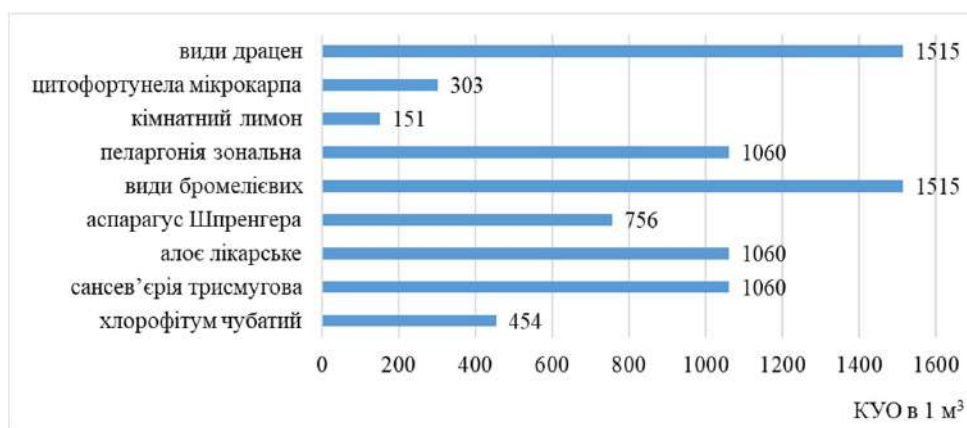


Рис. 1. Кількість мікроорганізмів у повітрі біля досліджуваних кімнатних рослин, КУО

ховуючи ботанічні характеристики досліджуваних рослин та їх невибагливість у догляді. Для навчальних кабінетів було підібрано 2 групи рослин різного видового складу, з метою подальшого дослідження їх впливу на повітря:

– група 1: хлорофітум чубатий (2 шт.), аспарагус Шпренгера (1 шт.), гузмания мінор (2 шт.), більбергія пірамідална (1 шт.), пеларгонія зональна (2 шт.);

– група 2: хлорофітум чубатий (2 шт.), аспарагус Шпренгера (2 шт.), сансев'єрія трисмугова (3 шт.), алое лікарське (3 шт.).

Оптимальний мікроклімат навчальних кабінетів закладу освіти відіграє важливу роль у створенні комфортного освітнього середовища, впливаючи позитивно на здоров'я дітей та їх самопочуття під час занять. Також мікроклімат впливає і на мікрофлору повітря приміщень, оскільки відсутні процеси самоочищення, які властиві для атмосферного повітря. І збільшення температури та вологості повітря буде сприяти розвитку мікроорганізмів, у тому числі патогенних.

Здійснюючи дослідження мікробіологічного стану повітря в навчальних кабінетах КЗПО «Обласний еколого-натуралістичний центр» ЖОР, паралельно визначали основні параметри мікроклімату: температуру та вологість. Результати наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

**Основні параметри мікроклімату в досліджуваних навчальних кабінетах**

Дата дослідження	Температура, °С	Вологість, %
08.11.22	20,3	54
14.11.22	20,1	53
18.11.22	19,3	53
21.11.22	19,8	56
25.11.22	20,2	54
30.11.22	20,3	54
14.12.22	18,3	55

Слід відзначити, що під час виконання дослідження, температура повітря суттєво не відрізнялася в навчальних кабінетах і відповідає гігієнічним нормам, згідно санітарного регламенту. Показник вологості в навчальних кабінетах знаходився в межах норми і під час проведення дослідження є майже незмінним.

До початку проведення дослідження було визначено рівень мікробіологічного забруднення, яке становило 1818 КУО в 1 м³. Контрольні заміри робили через 3, 4, 3 доби, після розміщення кімнатних рослин. Потім зробили коригування за видовим складом і кількістю рослин (група 2), відповідно їх розмістивши в навчальних кабінетах. Контрольні заміри робили через 4, 5, 12 діб.

Результати дослідження щодо рівня мікробіологічного забруднення в каб. 1 відображено на рис. 2.

Встановлено зниження вмісту мікроорганізмів з розміщенням кімнатних рослин з 1818 КУО на 455 КУО в 1 м³ повітря. Проте на 10 день дослідження спостерігали зростання кількості мікроорганізмів до 1667 КУО. Відповідно, було скориговано видовий склад рослин (з групи 1 на групу 2). Зміна рослин позитивно вплинула на мікробіологічний стан повітря навчальних кабінетів. Спостерігали поступове зниження рівня мікроорганізмів і на 31 день дослідження загальне мікробне число становило 303 КУО в 1 м³.

Отже, експериментально доведено вплив кімнатних рослин на повітря навчальних закладів, зокрема спостерігалось зниження рівня мікроорганізмів у 6 разів. Доведено, важливість розміщення кімнатних рослин у навчальних кабінетах закладів освіти. Саме підбір рослин групи 2 виявився найбільш ефективним при здійсненні очищення повітря від мікробіологічного забруднення.

**Головні висновки.** У роботі проаналізовано та експериментально доведено ефективність використання кімнатних рослин як очисників повітря навчальних кабінетів від мікробіологічного забруднення:

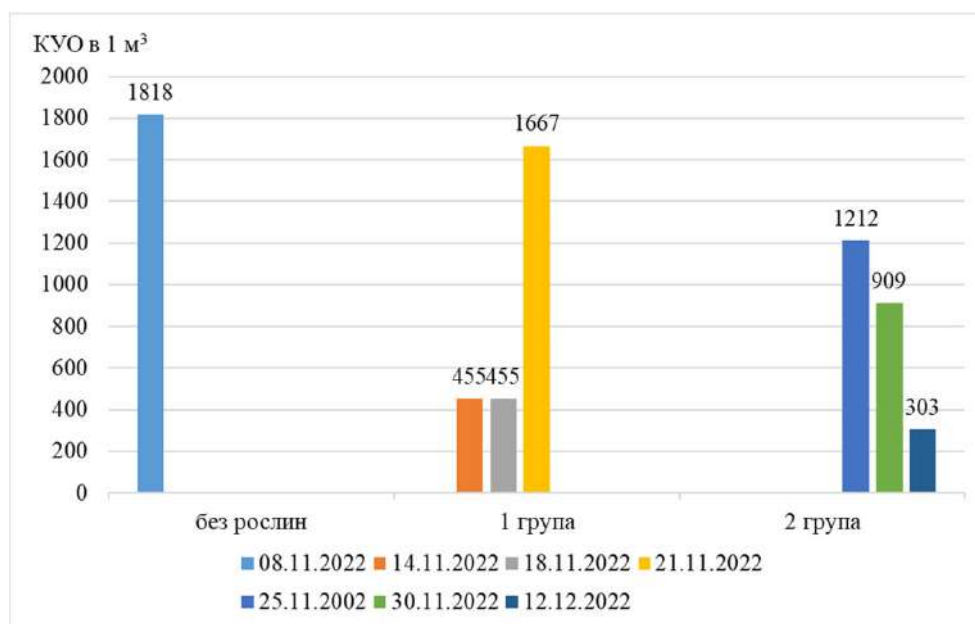


Рис. 2. Рівень мікробіологічного забруднення в каб. 1, КУО

1. Здійснено та експериментально перевірено вибір видового складу кімнатних рослин, які найбільш позитивно будуть впливати на мікробіологічний стан повітря навчальних кабінетів, а саме: Хлорофітум чубатий, Кімнатний лимон, Цитофортунела мікрокарпа, Аспарагус Шпренгера.

2. Встановлено, що основні параметри (температура та вологість) мікроклімату навчальних кабінетів відповідає гігієнічним нормам і є оптимальним для проведення занять. Температура коливається в межах 18,3–20,3°C у навчальних кабінетах. Показник вологості варіюється в межах 53–56%.

3. Встановлено позитивний вплив кімнатних рослин групи 2 на мікробіологічний стан досліджуваних навчальних кабінетів, що підтверджується зменшенням кількості мікроорганізмів у 6 разів у порівнянні з приміщенням без озеленення.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Отримані результати можуть бути використані адміністрацією та педагогами закладів освіти під час вибору кімнатних рослин для озеленення навчальних кабінетів. Подальші дослідження будуть зосереджені на вивченні мікробіологічного стану повітря в закритих приміщеннях різного функціонального призначення.

### Література

- Бордюг Н.С., Ращенко А.В., Лесь А.В. Розробка проекту системи моніторингу атмосферного повітря. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. К.: ДЕА, 2021. 2 (35). С. 15–19.
- Леонов Ю.І., Назаренко В.І., Міщенко І. Мікрофлора офісних приміщень та профілактика її шкідливого впливу на організм працюючих. *Український журнал з проблем медицини*. 2022. Т. 18. № 1. С. 63–70.
- Мороз Ю.М., Корчан Н.О. Профілактичні властивості фітонцидів. *Проблеми відтворення та охорони біорізноманіття України*: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. Полтава: Астроя, 2016. С. 188–189. URL: [http://repository.pdmu.edu.ua/bitstream/123456789/12783/1/2016\\_mor\\_korch.pdf](http://repository.pdmu.edu.ua/bitstream/123456789/12783/1/2016_mor_korch.pdf)
- Носик О.В., Давидова І.В. Дослідження вмісту вуглекислого газу у навчальних аудиторіях державного університету «Житомирська Політехніка». *Тези XVI Всеукраїнська наукова on-line конференція студентів, магістрів та аспірантів з між-народною участю «Сучасні проблеми екології»*, 10 квітня 2020 року. Житомир: Житомирська Політехніка, 2020. С. 81–82.
- Стадницька Н.Є., Комаровська-Порохнявець О.З., Кіщак Х.Я. Рослини з протимікробними властивостями. *Вісн. Нац. ун-ту «Львів. Політехніка»*. 2011. № 700. С. 111–116.
- Abo-Elsooud, I., Hefni, M. Studies on Indoor Air Pollution: 7. Indoor Plants and Air Borne Bacteria. *Hortscience Journal of Suez Canal University*. 2016. Vol. 5(1), pp. 51–54.
- Bordiug N., Rashchenko A., Korpan I., Cherkavsky V. Justification of theoretical and methodological aspects of using the tools of system analysis to ensure the protection of atmospheric air. *Technology audit and production reserves*, 2020. № 5/3(55). P. 4-8.
- Radomska, M. M., & Oyewole, G. T. (2021). Analysis of airborne factors of Ivano-Frankivsk population morbidity. *Science-Based Technologies*, 50(2). P. 170–176.
- Radomska, M. M., Ryabchevsky, O. V., & Chaplygina, O. V. (2019). The assessment of the environmental situation at the territory of the Darnytsya industrial area of the Kyiv city. *Science-based technologies*, 42(2), 189–194.
- Тібалі, В. Assortment of plants for improving indoor air quality in medical institutions. *In Conservation of plant diversity*. 2015. pp. 108–108.

## УДОСКОНАЛЕННЯ ПОШУКУ РАДІОАКТИВНИХ РЕЧОВИН ЗА ДОПОМОГОЮ КОМПЛЕКСУВАННЯ РАДІОМЕТРИЧНИХ ТА ГЕОФІЗИЧНО-РОЗВІДУВАЛЬНИХ МЕТОДІВ

Наконечний В.Г.<sup>1</sup>, Пікареня Д.С.<sup>2</sup>, Орлінська О.В.<sup>2</sup>, Белянська О.Р.<sup>1</sup>, Гунько С.О.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Дніпровський державний технічний університет

вул. Дніпробудівська, 2, 51918, м. Кам'янське

Товариство з обмеженою відповідальністю «Технічний університет «Метінвест Політехніка»

Південне шосе, 80, 69008, м. Запоріжжя

dondantalion00@gmail.com, dmitriy.pikarenia@mipolytech.education,

olha.orlinska@mipolytech.education, belyans@ukr.net, goonko@gmail.com

У зв'язку з великою небезпекою, що являють собою радіоактивні елементи, їх пошук та утилізація мають дуже велике значення, як для моніторингу стану навколишнього природного середовища, так і для забезпечення здоров'я людей, що перебувають поблизу. Джерела, що випромінюють радіацію чи отруйних газ, наприклад, радон, можуть знаходитися під товстою ґрунту та непомітно для людей впливати на них. Причиною утворення таких джерел можуть слугувати як природні радіоактивні елементи, так і штучні захоронення відходів або їх несанкціоновані скиди. У наш час існує багато спеціалізованих методів для пошуку радіоактивних елементів, але кожний з них має свої недоліки: великі затрати часу, ресурсів, обмежений радіус охоплення приладу. При користуванні деякими методами дослідження радіоактивних речовин, людина вимушено довгий час знаходиться на небезпечній відстані від джерела випромінювання. Вдосконалення досліджень за допомогою геофізично-розвідувальних методів має на меті поліпшення точності, підвищення швидкості та загальну оптимізацію процесу задля отримання найкращого результату.

У статті наведено результати аналізу та інтерпретації даних, що отриманих при дослідженні на північному майданчику колишнього ВО ПХЗ у місті Кам'янське. Встановлено, що дані, отримані під час радіологічних досліджень, мають зв'язок з даними природного електромагнітного поля Землі, що надає можливість, за допомогою останнього, корегувати результати досліджень та підвищувати їх точність та оперативність. Зони аномальних даних дають змогу локалізувати знаходження джерел випромінювання у дуже короткий час. У результаті досліджень нами виявлені джерела радіаційного випромінювання на окремій ділянці підприємства, що підтвердили адекватність застосування даних методів з метою локалізації загрози навколишньому природному середовищу та здоров'ю населення міста. *Ключові слова:* радіоактивні елементи, радон, екологічна безпека, комплексування радіологічних методів, геофізично-розвідувальні методи.

### The improvement of radioactive substances retrieval by means of combination of the methods of radiometry and exploration geophysics. Nakonechnyi V., Pikarenia D., Orlinska O., Byelyanska O., Hunko S.

Considering the great danger from radioactive elements, their retrieval and disposal are of great importance both for monitoring the conditions of the environment and for ensuring the health of people in the vicinity. Sources that emit radiation or poisonous gases, such as radon, can be located under the soil and affect people imperceptibly. Such sources can be caused by both natural radioactive elements and artificial waste disposal or unauthorised discharges. Nowadays, there are many specialised methods for retrieval of radioactive elements, but each of them has its disadvantages: large time and resource requirements, and limited radius of area coverage of the device. In addition, researchers are obligated to stay at a dangerous distance from the radiation source for a long time, while using some methods of researching radioactive substances. An improvement of researches, using geophysical exploration methods, aims to enhance accuracy, increase speed of the study conduction and generally optimise the process to obtain the best possible result.

The article presents the results of the analysis and interpretation of data obtained during the research at the northern site of the now-defunct Prydniprovskiy Chemical Plant (PChP) in Kamianske. It is established that the data obtained during radiological studies have a connection with the data of the Earth's natural electromagnetic field, which makes it possible to correct the results of studies and increase their accuracy and efficiency. The anomalous data zones allow to localise radiation sources in a very short time. As a result of the surveys, we identified sources of radiation at that separate site of the now-defunct PChP, which confirmed the adequacy of the applied methods for localising threats to the environment and public health. *Key words:* radioactive elements, radon, environmental security, combination of radiological methods, geophysical exploration methods.

**Постановка проблеми.** У зв'язку з великою небезпекою, що представляють собою радіоактивні елементи їх пошук та утилізація має дуже велике значення як для екології так і для забезпечення здоров'я людей, які перебувають поблизу. Моніторинг цих елементів у ґрунтах здійснюється комплексом різно-

манітних методів, що досліджують наявність радону у повітрі, випромінювання альфа частинок та гамма хвиль, заміри температури ґрунтів. Вдосконалення системи досліджень за допомогою геофізично-розвідувальних методів дає змогу підвищити точність та оперативність досліджень.

Тема розробки систем для виявлення радіоактивного забруднення досліджується науковцями світу останні 35 років через катастрофу Чорнобильську, що сталася на Київщині в Україні. Різні методології та інструменти щодо моніторингу радіоактивності були випробувані в багатьох морських районах світу за останні роки [1], залежно від обраної площі, рельєфу і рівня забруднення. Єдиний рекомендований методом у випадках виявлення на місці, коли концентрація активності радіонуклідів перевищує мінімально виявлену активність системи, є безперервний моніторинг. Науковцями розроблено

інтеграцію радіоактивного спектрометра KATERINA II у стаціонарній станції (буй) мережі POSEIDON на Північному Егейському морі. Ними зафіксовано інтенсивне зростання концентрації активності дочірніх порід радону (до порядку величини) під час випадання опадів. Але такі пристрої є вузько обмеженими у використанні через специфіку конструкції станції.

Також проводиться величезна робота з дослідження розвитку програм моніторингу забезпечення якості вимірювачів радіаційної активності. Експрес вимірювачі перевіряють на точність вимірювання як людини, що перебувала у радіаційному забрудненні, так і її одягу. Такі дослідження корисну упершу чергу у відділеннях медичних установ клінічної ядерної медицини [2].

Лише в останнє десятиліття археологи, які працюють в Онтаріо, Квебеку та штаті Нью-Йорк, почали використовувати потенціал геофізичних досліджень і хімії ґрунту для виявлення особливостей місцевості. Нещодавні дослідження з використанням поєднання магнітної градіометрії, магнітної сприйнятливості та аналізу фосфатів у ґрунті продемонстрували, що багатометодичні підходи мають потенціал для подолання перешкод, накладених історичними особливостями, складом ґрунту та особливістю геології [3].

Відомі розвідувальні дослідження геотермальних ресурсів у частинах жолоба Середнього Бенуе, Нігерія, з використанням дистанційного зондування та геофізичних методів. У Нігерії фундаментальний комплекс і осадові басейни містять багато термальних джерел, які є фізичними проявами геотермальної енергії. Однак існують труднощі до стабільного доступу цих ресурсів через проблеми етики та безпеки, а також через обмежену кількість розвідувальних даних [4]. Успішною була інтеграція геофізичних методів для дослідження підземних вод району Ель-Шейх-Марзук, оазис Фарафра, Єгипет [5].

Методика радіометричних вимірювань успішно застосовується у дослідженнях ґрунтів і пластів корисних копалин. Динаміку ослаблення гамма-променів у ґрунтах Північної Ірландії, особливості торфу представлено у роботі вчених [6]. Ними розглядається ослаблення гамма-випромінювання, що пов'язане з ґрунтами та породами Північної Ірландії

при використанні простої теорії та даних з повітряної зйомки високої роздільної здатності. Залежі у ґрунті розглядаються як джерело радіогенного матеріалу. Радіометричні дані загального підрахунку разом із картографуванням ґрунтів і порід Північної Ірландії в масштабі 1:250 використовуються науковцями для проведення статистичного аналізу [6].

Оцінки потоку радону на основі даних гамма-випромінювання та геохімічних даних для визначення джерел, шляхів міграції та відповідного ризику для здоров'я на прикладі регіону Кампанії (Італія) успішно проводили дослідники у 2022 році [7].

Тема дослідження поєднання вищенаведених радіологічного та геофізично-розвідувального методу для глибокого аналізу ділянок поверхні ґрунту на радіаційне забруднення є актуальною та має практичне значення.

**Актуальність дослідження.** Одними з найбільш небезпечних для людини та природи є саме радіоактивні елементи. Саме тому вдосконалення методів їх пошуку є актуальним.

Результати роботи надали можливість оцінити залежність між радіологічними та геофізично-розвідувальними методами за для подальшого їх комплексування та підвищення ефективності пошуку радіоактивних елементів у ґрунті.

**Виклад основного матеріалу.** Об'єктом наших досліджень виступають радіоактивні бета частки, що впливають на магнітне поле яке генерується під час досліджень за допомогою геофізичного методу.

Мета дослідження – аналіз та комплексування результатів дослідження за допомогою радіологічних та геофізично-розвідувальних методів за для подальшої оптимізації процесу.

Для досягнення поставленої мети, в межах Ділянки № 3 північного проммайданчика колишнього ВО «Придніпровський хімічний завод» (ПХЗ) виконано комплекс наступних досліджень (робіт):

- проведення геофізичних досліджень ділянок методом природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ);

- проведення радіометричних досліджень території що включають польові альфа, бета, гама – вимірювання;

За збереженими архівними даними північна частина колишнього ПХЗ не розглядалася в якості радіаційно-небезпечної території, так як вважалося, що там не велися роботи з радіоактивними речовинами.

В ході попередніх робіт в рамках виконання були уточнені як радіаційні так і просторові межі 3-х забруднених ділянок. Загальна площа цих ділянок склала біля 1 га, або менше 1% від площі ПМ (116 га). Максимальні значення ПЕД на висоті 1,0 м коливаються від 1,7 мкЗв/год на Ділянках № 1, 3 до 12 мкЗв/год на Ділянці № 2.

Ділянка № 3 розташована в південно-західній частині північного проммайданчика колишнього

ВО ПХЗ недалеко від будівлі 7526. Більше половини площі представлено автодорогами, бетонними майданчиками, пішохідними проходами, залишками бетонної огорожі. Невелика частина (приблизно) 10% території знаходяться на крутому схилі. Велика частина ділянки на глибині 30–120 см забруднена будівельним сміттям (тільки 2 свердловини з 10 при попередньому дослідженні ділянки були без каменів, бетону та іншого сміття). Ділянка неправильної форми; площа приблизно 700 м<sup>2</sup>.

Обмеження опромінення працівників [8] на забруднених територіях ПХЗ може бути забезпечено рекультивацією цих ділянок. Нормативним документом, який регламентує проведення відновлення забруднених територій, є Санітарні правила ліквідації, консервації і перепрофілювання підприємств з видобутку і переробки радіоактивних руд (СП ЛКП-91) [9].

Згідно з п. 2.4.5 СП ЛКП-91 потужність експозиційної дози не повинна перевищувати 20 мкР/год понад рівень природного фону для даної місцевості. Середнє фонове значення потужності еквівалентної дози зовнішнього гамма випромінювання від усіх проведених вимірювань 0,122 мкЗв/год. Потужність експозиційної дози 20 мкР/год відповідає потужності еквівалентної дози в 0,175 мкЗв/год, отже нормативний рівень склав 0,297 мкЗв/год. Схема розташування забруднених територій (ділянки № 1, 2, 3) в північній частині колишнього ПХЗ представлена на рисунку 1.

**Виклад основного матеріалу.** *Методика та результати дозиметричної зйомки.* В рамках цієї роботи на ділянці №3 наряду з польовими дозиметричними вимірюваннями потужності дози гамма випромінювання, щільності потоку бета та альфа часток, проводилося вимірювання щільності потоку радону з поверхні ділянок. Вимірювання за допомогою дозиметра-радіометра ДКС-96 з відповідними блоками детектування (сертифікат калібрування UA01 № 2427 від 07.04.2020р.) проводилось у вуз-

лах сітки де проводились геофізичні дослідження. Похибка вимірювання, згідно документації на прилад, склала для гамма випромінювачів –  $(20+2/Ax)\%$ , для бета випромінювачів –  $(20+5/Ax)\%$ , для альфа випромінювачів –  $(20+8/Ax)\%$  ( $Ax$  – вимірне значення відповідної величини). На кожній із ділянок (додатково до раніше виконаних робіт) 18 і 19 листопада 2020 року було проведено по 50 вимірювань.

В рамках дозиметричної зйомки, яка була виконана раніше, проводилися вимірювання потужності дози на висоті 1 м над поверхнею землі по сітці  $2 \times 2$  м. Результати вимірювання на ділянці № 3 представлені для ділянки № 3 – в таблиці 1.

*Методика та результати зйомки електророзвідувальними методами.* Метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ). Цей метод відноситься до групи електророзвідувальних геофізичних методів. Його застосування рекомендовано нормативними геологорозвідувальними документами, також він залучається при проведенні інженерно-геологічних вишукувань, що знайшло відображення у Державних будівельних нормах ДБН А.2.1-1-2014.

Метод заснований на реєстрації природного імпульсного електромагнітного випромінювання Землі, яке складається їх трьох джерел: зовнішнього – сонячна радіація і космічні поля; внутрішнього – обумовлюється геологічними процесами під або безпосередньо на денній поверхні; техногенного – різного роду промислові і побутові випромінювання. Діапазон частот такого інтегрального імпульсного електромагнітного поля від перших герц до мега- і навіть гігагерц. Для цілей геології вивчається природне імпульсне електромагнітне поле, що генерується саме внутрішніми джерелами.

Відомо досить багато процесів і явищ, в результаті або протягом яких виникає електромагнітне випромінювання або електромагнітна емісія (застосовуються обидва терміни). Одним з них є п'єзоелектричний ефект мінералів і гірських порід. Іншим досить потужним джерелом служать тектонічні



Рис. 1. Схема розташування забруднених територій (ділянки № 1, 2, 3) в північній частині колишнього ПХЗ



Таблиця 1  
Результати дозиметричних вимірювань  
на ділянці № 3

№ вимір.	бета частинки, част./хв·см <sup>2</sup>	№ вимір.	бета частинки, част./хв·см <sup>2</sup>
1	0,98	21	0,77
2	0,61	22	0,75
3	0,78	23	1,59
4	1,79	24	1,98
5	0,38	25	1,57
6	0,36	26	3,67
7	0,62	27	1,23
8	0,59	28	1,81
9	0,88	29	5,92
10	1,3	30	0,17
11	2,15	32	1,26
12	2,23	36	1,65
13	3,59	37	0,22
14	4,48	38	0,17
15	3,73	44	1,53
16	3,31	45	0,43
17	3,97		
18	3,72		
19	0,94		
20	0,84		

напруги масиву гірських порід, особливо на рівні тисків, що передують утворенню тріщин. Третім значущим джерелом виступають різні електричні і електрохімічні процеси в породних масивах (зміни подвійного електричного шару, електронна емісія при русі розчинів, хімічні перетворення мінералів і порід). Інші джерела досліджені набагато слабкіше або їх внесок досить обмежений. В результаті утворюється стрибкоподібний сплеск електромагнітного випромінювання, який і називається імпульсом електромагнітного поля. Він характеризується різким збільшенням амплітуди і енергії випромінювання і дуже коротким (мілі- і мікросекунди) часом прояву. Частота проходження імпульсів ПЕМПЗ від перших герц до 20 кілогерц, цим поле ПЕМПЗ відрізняється від атмосферних і техногенних джерел. В поле ПЕМПЗ відсутня будь-яка періодичність, характерна для техногенних випромінювачів, що служить для розділення цих джерел.

Експериментальними дослідженнями різних авторів встановлено, що при стискуванні кристалічних порід зростає кількість, енергія і амплітуда імпульсів ПЕМПЗ, які перед початком крихких деформацій досягають максимуму. Як тільки настає фаза руйнування (утворення тріщин), кількість імпульсів різко (вертикально) зменшується аж до нуля і потім незначно зростає до деякого рівня, на якому і залишається.

Електромагнітне випромінювання має здатність поширюватися в твердих породах на значне

віддалення від джерела, при цьому його амплітуда і енергія змінюється досить слабо. Якщо ж на шляху поширення електромагнітного випромінювання зустрічається ділянки замочування порід або зона порожнечі (обводнені і сухі тріщини і т.п.), то інтенсивність випромінювання дуже різко зменшується, а при потужній зоні воно взагалі розсіюється або поглинається. Завдяки цій особливості можна виділяти ділянки, які мають різну щільність потоку електромагнітних імпульсів, тобто кількості імпульсів за одиницю часу.

Ідея застосування методу ПЕМПЗ для цілей даного дослідження наступна: імпульсне електромагнітне поле генерується к кристалічних породах Українського щита. Якщо на шляху його розповсюдження зустрічаються обводнені ділянки порід, то його рівень та кількість імпульсів має зменшуватися. Теж саме буде проявлятися у тріщинуватих породах, до яких можна віднести насипні техногенні ґрунти. Розрізнити зони обводнення та техногенні ґрунти можна за допомогою інших методів. Для досліджень застосовувалася прилад «СІМЕІЗ» (мікропроцесорний індикатор електромагнітного поля – МІЕМП 14/1), який є авторською розробкою ТОВ «Слов'янський міст» (рис. 2) та призначений для вивчення ПЕМПЗ, а також електромагнітного поля техногенного походження в лабораторних і польових умовах [10]. Зовнішній вигляд приладу МІЕМП-14/4 представлено на рисунку 2.



Рис. 2. Зовнішній вигляд приладу МІЕМП-14/4

Прилад дозволяє визначати кількість імпульсів ПЕМПЗ за час вимірювання з відносною похибкою в межах  $\pm 10\%$  і знаходити відсоткове співвідношення сумарної тривалості сигналу, який перевищив динамічний діапазон, до часу вимірювання («відсоток зашкалу») з відносною по-похибкою в межах  $\pm 10\%$ .

Наявність чотирьох антенних гнізд дозволяє проводити зйомку одночасно на трьох антенах; дві з них розташовані горизонтально (зазвичай у меридіональному та широтному напрямках), третя направлена вертикально вниз, четверта може бути використана в якості варіометра і фіксувати зміни електромагнітного поля в стаціонарній точці.

В прилад вбудований частотний фільтр, що дозволяє в процесі спостережень «відсікати» електромагнітні поля техногенного походження, викликані лініями електропередач, підземними комунікаціями, системами бездротового зв'язку, в тому числі стільникового (мобільного), вплив яких останнім часом все відчутніше позначається на реєстрації ПЕМПЗ.

Зйомка методом ПЕМПЗ проводилася у профільному варіанті з відстанню між профілями 2 м, між точками спостереження на профілі – 2 м; розташування точок на ділянці № 3 – на рис. 3.

Обробка результатів досліджень здійснювалась шляхом складання карт щільності потоку імпульсів магнітної складової ПЕМПЗ для кожної антени у програмному середовищі Surfer 8.0. Для побудови карт використаний метод триангуляції з лінійною інтерполяцією за квадратною вузловою мережею.

Наступним кроком у роботі стає аналіз даних та приведення їх до одної метричної системи. Для цього за допомогою програми MicrosoftExcel данні були занесені у таблицю та для кожної точки було прораховано модуль відхилення та переведено його у відсоткове значення:

$$Q = N/T$$

де Q – модуль відхилення; N – значення даних у точці; T – максимальне значення у всій вибірці даних.

Отримані результати були помноженні на 100 та отримано відсоток перевищення норми, на основі якого побудований графік порівняння між першим та другим методом.

Графік порівняння даних процентного рівня перевищення норми радіометричного та геофізичного методів представлено на рис. 4.

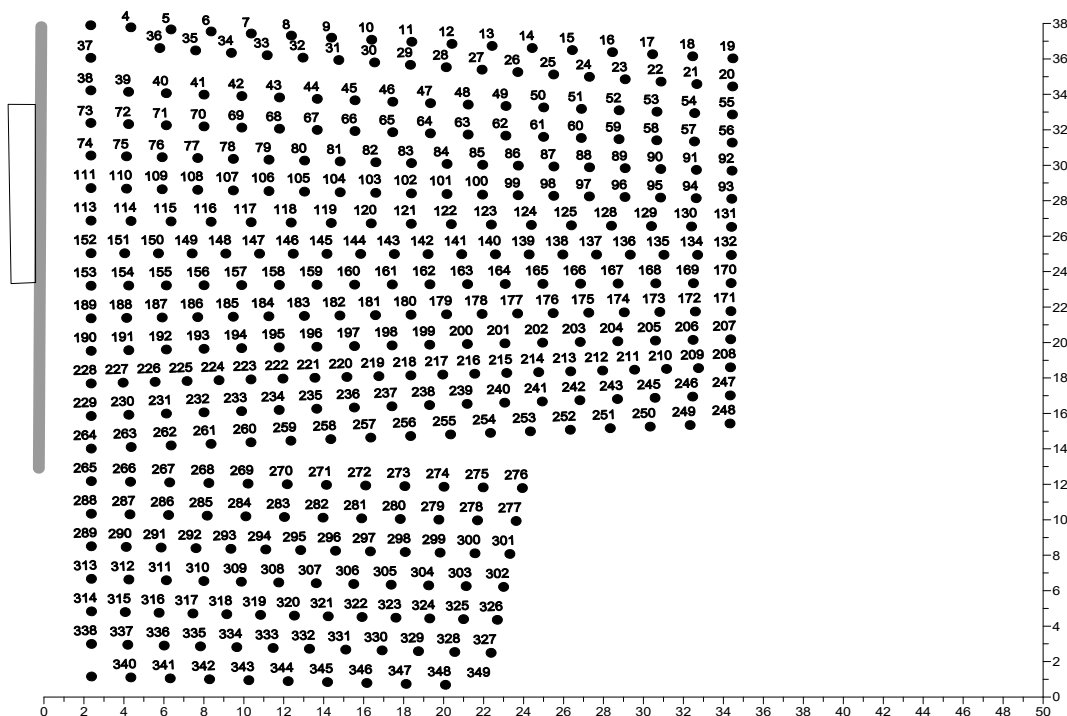


Рис. 3. Карта розташування точок зйомки методом ПЕМПЗ на ділянці № 3 та їх номери (система координат умовна, метрична. Сіра лінія – положення бетонного забору, прямокутник – контур технологічної будки)

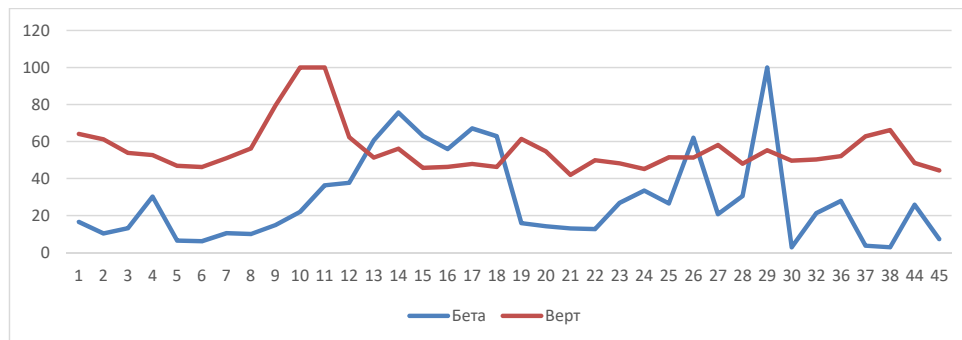


Рис. 4. Графік порівняння даних процентного рівня перевищення норми радіометричного та геофізичного методів

**Головні висновки.** В результаті проведеного аналізу отриманих даних видно що, бета випромінювання напряму впливає на електромагнітне поле, що генерується котушкою у приладі. Потік електронів поглинає собою зустрічні електромагнітні імпульси. Це призводить до того, що менша кількість імпульсів повертається до приладу. При зростанні випромінювання одразу ж падає кількість імпульсів, а як тільки воно зменшується, електромагнітне поле повертається до норми чи зростає. Електромагнітні

хвилі розповсюджуються паралельно землі, а отже, на кожній буде відбиток наявності бета електронів під ґрунтом, які створюють магнітні перешкоди, що поглинають імпульси. Отриманий ефект, що спостерігається, незвичайний для таких об'єктів та був отриманий вперше, тому потребує більш детальної теоретичної основи та наступних досліджень. Даний комплекс методів дозволить більш точно та швидко отримувати реальну картину радіоактивного забруднення території.

### Література

1. Tsabaris, C.; Androulakaki, E.G.; Ballas, D.; Alexakis, S.; Perivoliotis, L.; Iona, A. Radioactivity Monitoring at North Aegean Sea Integrating In-Situ Sensor in an Ocean Observing Platform / *Journal of Marine Science and Engineering*. 2021, Volume 9, p. 77. <https://doi.org/10.3390/jmse9010077>
2. Chen-Ju Feng et al The evaluation of an on-site monitoring program for activity meter quality assurance with exemption-level sources / *Journal of Radiological Protection*. 2023. Volume 43, p. 021508. DOI 10.1088/1361-6498/accc96
3. Megan Anne Conger, Jennifer Birch Archaeological reconnaissance through multi-method geophysical and geochemical survey at two Iroquoian village sites, southern Ontario, Canada / *Journal of Archaeological Science: Reports*, Elsevier. Volume 26, August 2019, P. 101888. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2019.101888>
4. T. Ngene, M. Mukhopadhyay and S. Reconnaissance investigation of geothermal resources in parts of the Middle Benue Trough, Nigeria using remote sensing and geophysical methods. / *Ampana Energy Geoscience*. Volume 3, 2022, p. 360–371. <https://doi.org/10.1016/j.engeos.2022.06.002> (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).
5. M. Abdel Zaher, A. Younis, H. Shaaban et al. Integration of geophysical methods for groundwater exploration: A case study of El Sheikh Marzouq area, Farafra Oasis, Egypt / *Egyptian Journal of Aquatic Research*, Volume 47, 2021, p. 239–244. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2021.03.001>
6. Janvier Domra Kana, Noël Djongyang, Danwe Raïdandi et al A review of geophysical methods for geothermal exploration / *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 44, April 2015, Pages 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.12.026>
7. Annalise Guarino, Cicchella Domenico, Annamaria Lima, Albanese Stefano. Radon flux estimates, from both gamma radiation and geochemical data, to determine sources, migration pathways, and related health risk: The Campania region (Italy) case study / *Chemosphere*, Volume 287, Part 2, January 2022, Page 132233 <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132233>
8. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97); Державні гігієнічні нормативи ГГН 6.6.1.-6.5.001-98 . Київ, 1998.
9. Умови та правила провадження діяльності з переробки уранових руд (Затверджено Мінекоресурсів України 20.03.2001 № 110) Київ: Міністерство екології та природних ресурсів України, № 110 від 20.03.2001.
10. Пікареня Д. С. Досвід застосування методу природного імпульсного електро-магнітного поля Землі (СІЕМПЗ) для вирішення інженерно-геологічних та геологічних задач / Д.С. Пікареня, О. В. Орлінська. Дніпропетровськ: Вид-во «СВІДЛЕР», 2009. 120 с.

---

# ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ

---

УДК 628.47(477.42)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.3-48.21>

## ІНДИВІДУАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ ПОВОДЖЕННЯ З ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ У М. ЖИТОМИР

Герасимчук Л.О.<sup>1</sup>, Валерко Р.А.<sup>2</sup>, Бондар А.В.<sup>1</sup>, Шевченко К.П.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Поліський національний університет  
бульв. Старий, 7, 10008, м. Житомир

<sup>2</sup>Державний університет «Житомирська політехніка»  
вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир  
gerasim4uk@ukr.net

Досліджені індивідуальні особливості поводження з побутовими відходами у м. Житомир. Встановлено, що в одній родині з 4 осіб (чоловік, жінка, школяр та немовля), що проживає у м. Житомир, за тиждень утворюється 14071 г відходів. За морфологічним складом переважають гігієнічні відходи – 7190 г (51,1%) та харчові (39%). В розрахунку на особу кількість утворених відходів становить: 502,6 г (за добу), 3518 г (за тиждень), 15078 – 15581 г (за місяць), 182936 г (за рік). Враховуючи чисельність населення міста у 261358 осіб, річний обсяг відходів становитиме 47816,7 т. Визначено, що за умови роздільного збору сміття та здачі на вторинну переробку відходів, їх обсяг зменшиться на 19,5%; якщо ж компостувати харчові відходи – ще на 76,2%. За результатами анкетування мешканців міста Житомира виявлено, що проблема поводження з відходами є актуальною для 88,1% опитаних; 35,7% респондентів відзначили, що кількість утворених відходів в їх сім'ях від 500 г до 1 кг, що відповідає середньому обсязі по області в розрахунку на одне домогосподарство (0,52 кг за добу), а серед факторів, що обумовлюють їх утворення значні обсяги споживання, склад сім'ї, харчові звички та діяльність членів родини. 65,4% респондентів вказали на переважання пластику, 61,1% – відходів упаковки, 57,9% – біо-відходів у складі утворюваних відходів. 38,1% опитаних не сортують сміття, пояснюючи це відсутністю місць збуту розподіленого сміття, розміром помешкання та свідомістю. Серед опитаних не виявилось тих, хто не може відмовитися від використання пластикових пакетів, а 39,7% опитаних, купуючи продукти в супермаркетах, використовують свої торбинки. 57,9% опитаних вказують на повторне використання відходів вдома. Сферу поводження з відходами у місті жителі вважають проблемною, тому 65,8% опитаних позитивно відносяться до будівництва сміттепереробного заводу. Запропоновані конкретні кроки для мешканців міста, органів влади та бізнесу, дозволять зменшити навантаження відходами на довкілля в м. Житомир. *Ключові слова:* утворення відходів, індивідуальне споживання, родинний «смітцевий» кошик, опитування.

**Individual characteristics of domestic waste management in Zhytomyr. Herasymchuk L., Valerko R., Bondar A., Schevchenko K.**

Individual features of handling household waste in Zhytomyr were studied. It was established that in one family of 4 people (man, woman, schoolboy and baby) living in the city of Zhytomyr, 14,071 g of waste is generated per week. The morphological composition is dominated by hygienic waste – 7190 g (51.1%) and food waste (39%). Per person, the amount of generated waste is: 502.6 g (per day), 3518 g (per week), 15078–15581 g (per month), 182936 g (per year). Taking into account the population of the city of 261,358 people, the annual amount of waste will be 47,816.7 tons. It was determined that if garbage is collected separately and sent for recycling, its amount will decrease by 19.5%; if food waste is composted – by another 76.2%. According to the results of the survey of residents of the city of Zhytomyr, it was found that the problem of waste management is relevant for 88.1% of respondents; 35.7% of respondents noted that the amount of waste generated in their families is from 500 g to 1 kg, which corresponds to the average amount in the region per household (0.52 kg per day), and among the factors that determine their formation of significant amounts of consumption, family composition, eating habits and activities of family members. 65.4% of respondents indicated the predominance of plastic, 61.1% – packaging waste, 57.9% – bio-waste in the composition of generated waste. 38.1% of respondents do not sort garbage, explaining this by the lack of distribution points for distributed garbage, the size of the residence, and awareness. There were no respondents who could not refuse to use plastic bags, and 39.7% of respondents use their own bags when buying food in supermarkets. 57.9% of respondents indicate the reuse of waste at home. Residents consider the area of waste management in the city to be problematic, therefore 65.8% of respondents are positive about the construction of a waste processing plant. The proposed specific steps for city residents, authorities and businesses will allow reducing the waste load on the environment in Zhytomyr. *Key words:* waste generation, individual consumption, family “trash” basket, surveys.

**Постановка проблеми.** Зростаюча кількість населення в містах, постійно зростаючий рівень споживання, і, як наслідок, кількість товарів і послуг, призводять до утворення все більших обсягів відходів. В цілому обсяг утворених відходів на території нашої держави у 2020 р. збільшився на 19,3% у порівнянні з 2010 р. (з 9285 кг

до 11074 кг). Із загальної кількості утворених відходів у 2020 р. у 462373,5 тис. т було утворено 6672 тис. т побутових відходів. Мінімальні кількості відходів у 2010, 2015 та 2019 рр., у розрахунку на особу були утворені у Закарпатській області – 151 кг, 106 кг та 122 кг відповідно, у 2020 р. – у Херсонській області – 89 кг; максимальні обсяги у 2010, 2015,

2019 та 2020 рр. – у Дніпропетровській області – 84519 кг, 69533 кг, 79032 кг, 97931 кг відповідно.

**Актуальність дослідження.** В реаліях сьогодення проблема поводження та управління відходами постає як перед окремими мешканцями міста та суб'єктами господарювання, так і органами влади, а також вимагає негайного вирішення, що полягає, перш за все, у зміні людської свідомості щодо обмеження споживання, що відображається у ЦСР 12 і тісно переплітається з цілями 12.2, 13.2, 14.4, 15.1, 15.5. Хоча й спостерігаються певні покращення в системі управління твердими відходами в світі, проте ця сфера досі залишається проблемною.

Наслідком відсутності ефективної системи поводження та управління відходами є велика кількість стихійних сміттєзвалищ, які не можливо порухувати, та їх щорічне збільшення, забруднення довкілля, негативний вплив на здоров'я людей, а також гальмування економічного розвитку територій.

Кожен з жителів певної території вносить свою частку як у утворення відходів, так і може вплинути на покращення стану довкілля, особливо в частині поводження з відходами.

Враховуючи викладене, дослідження індивідуальних обсягів утворення відходів та усвідомлення мешканцями міста проблеми поводження з відходами і реагування на неї є виключно актуальним.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Дослідження виконувалось в рамках науково-дослідної роботи «Еколого-соціальна оцінка стану сільських селітебних територій у контексті сталого розвитку» (державний реєстраційний № 0120U104233) та може бути використана органами влади для розробки регіонального плану управління відходами.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У світі в середньому утворюється щодня 0,74 кг відходів на особу, змінюючись в межах від 0,11 до 4,54 кг, що залежить від рівня добробуту та урбанізації. За прогнозами до 2030 р. кількість утворених відходів досягне 2,59 млрд. т, до 2050 р. – 3,4 млрд. т, а в країнам з низьким рівнем доходу – зросте втричі, країни з високим рівнем доходу, навпаки, характеризуватимуться найменшим приростом обсягів відходів [12, 13]. Проблема поводження з відходами відображається й у безлічі наукових праць вітчизняних та зарубіжних дослідників. Так особливості утворення, складу, поводження та управління твердими побутовими відходами в глобальному вимірі досліджували Sharma K.D. та Jain S. (2020), Chen D. M.-C. (2020); питання сучасного стану та перспектив вирішення проблеми поводження з відходами на території нашої держави досліджували Гончаренко Я.С. (2021), зокрема у напрямі Європейського зеленого курсу – Матвеева О. та ін. (2021), в контексті сталого розвитку – Герасимчук Л.О. та ін. (2022); питання регіонального поводження з відходами та напрями управління вивчали Герасимчук Л.О. та ін.

(2022), Коцюба І. та ін. (2020) (Житомирська область), Писаренко П.В. та ін. (2021) (Полтавська область), Галаган О.К. (2020) (м. Кременець); моделювання утворення побутових відходів – Seylan Z. (2020), прогноз щодо їх утворення – Kulisz M. та Kujawska J. (2020).

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття та новизна досліджень.** В наявних дослідженнях недостатньо висвітлена проблема індивідуальних особливостей поводження з відходами у містах, що й обумовило мету наших досліджень.

**Методологічне значення.** Дослідження, що передбачало визначення індивідуальних обсягів утворення ТПВ за тиждень, було проведено на прикладі типової родини з 4 осіб (чоловік, жінка, школяр та немовля), що проживає у м. Житомир. Протягом тижня (з понеділка по неділю) всі побутові відходи сортувалися, а в кінці дня зважувалися. Окремо визначалася вага кожної категорії побутових відходів. В кінці тижня була визначена вага побутових відходів, яка утворилася у родині.

Опитування мешканців міста проводили за допомогою Google form ([https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSeGsfMuhC71\\_XEtq3ekyWQPR4CO\\_g5wn76iQI1Hdu-QIK2dJA/viewform?usp=sf\\_link](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSeGsfMuhC71_XEtq3ekyWQPR4CO_g5wn76iQI1Hdu-QIK2dJA/viewform?usp=sf_link)).

**Виклад основного матеріалу.** Проведеним дослідженням визначено, що в одній родині з 4 осіб (чоловік, жінка, школяр та немовля), що проживає у м. Житомир, за тиждень утворюється 14071 г відходів. Морфологічний склад утворених за тиждень побутових відходів та їх обсяг представлено в табл. 1.

Найбільше за тиждень утворилося гігієнічних відходів – 7190 г (їх питома вага становить 51,1% загального обсягу ТПВ), адже в родині є немовля. Харчові відходи склали практично 39% родинного «сміттєвого» кошика; відходи паперу та картону разом склали 6,4%; поліетилену – 3%; PET-пляшок – 0,4%; відходів деревини – 0,2% (в родині є школяр, який на уроках з трудового навчання робить різноманітні вироби з деревини); металеві відходи – 0,11% (рис. 1). Нескладними обчисленнями можемо визначити кількість ТПВ для цієї родини на місяць – 60308,6 – 62318,9 г, на рік (52 тижні) – 731744 г. В розрахунку на особу кількість відходів становитиме відповідно: 502,6 г (за добу), 3518 г (за тиждень), 15078 – 15581 г (за місяць), 182936 г (за рік).

Отже, щорічно життєдіяльність однієї людини з цієї родини призводить до утворення відходів у обсязі 182,94 кг. В масштабах нашого міста Житомира ця цифра буде колосальною. Враховуючи чисельність населення міста у 261358 осіб, річний обсяг відходів становитиме 47816,7 т.

Зауважимо, якщо провадити роздільний збір сміття та здавати на вторинну переробку ті види відходів, які їй підлягають, то обсяг сміття зменшиться на 19,5%; якщо ж компостувати харчові відходи – то ще на 76,2%.

Склад та обсяг «сміттьового» кошику родини з 4 осіб, г

Дні тижня	Харчові відходи	Папір	Картон	РЕТ-пляшки	Металеві відходи	Деревні відходи	Поліетилен, поліпропілен	Гігієнічні відходи	Всього за добу
Пн	892	56	-	-	15	-	40	902	1905
Вт	539	31	-	-	-	-	40	1350	1960
Ср	608	64	-	53	-	-	42	1010	1777
Чт	605	42	418	-	-	-	53	814	1932
Пт	851	78	-	-	-	22	86	1400	2437
Сб	1046	118	-	-	-	-	88	806	2058
Нд	940	88	-	-	-	-	66	908	2002
Всього	5481	477	418	53	15	22	415	7190	14071



Рис. 1. Частка певного виду ТПВ у загальному обсязі відходів, накопичених впродовж тижня

Враховуючи вище наведені цифри щодо обсягів утворення ТПВ вважаю, що кожен житель повинен переосмислити свою поведінку щодо поводження з відходами і зробити відповідні висновки.

Наступним етапом досліджень стало проведення опитування мешканців міста щодо сприйняття ними проблеми поводження з відходами. Перше запитання проведеного нами опитування стосувалося визначення актуальності проблеми поводження з відходами для жителів нашого міста. Респондентам була запропонована шкала, де «1» – взагалі не актуально, а «5» – дуже актуально. Для 4% опитаних проблема поводження з відходами не є актуальною, 7,9% обрали варіант «скоріше не актуальна», 30,2% – варіанти «скоріше актуальна, ніж ні» та «актуальна», а для решти 57,9% дана проблема є дуже актуальною.

Наступне запитання мало на меті виявити, чи замислювалися респонденти про те, які саме обсяги відходів утворюються у їхніх родинах. 88,9% опитаних дало ствердну відповідь на дане запитання.

Метою наступного запитання стало з'ясування розуміння мешканцями міста обсягів відходів, які утворюються у них щодня. Найбільша частка відповідей жителів міста – 35,7% – припадає саме на діапазон від 500 г до 1 кг відходів, що відповідає середньому по області обсягу. 2,4% опитаних заявили, що у них утворюється менше 100 г відходів на день, 15,9% – від 100 до 500 г, 27% – від 1 до 1,5 кг, 19% – від 1,5 до 2 кг. Варіанту відповіді більше 2 кг відходів обрано не було.

Серед факторів, від яких залежить обсяг утворення відходів у домогосподарствах, респонденти називали: великий об'єм споживання продуктів, включаючи ті, що знаходяться в упаковках, яка є зайвою; форма та кількість пакувального матеріалу, який використовують виробники продукції; не раціональне використання продуктів та товарів; свідомість громадян; купівля непотрібних речей (необдумані покупки), велика кількість куплених товарів; кількість людей, що проживають разом, склад сім'ї

вік; харчові звички; час, який проводиться вдома; наявність свята (прихід гостей); відсутність повторного використання певних товарів або неправильний підхід до їх повторного використання; обсяги споживання; повсякденна діяльність родини (наприклад, готування їжі або ремонт); виду діяльності членів родини; пори року Деякі респонденти вказали, що не задумувалися над цим питанням.

Нас цікавив й морфологічний склад відходів. Тому наступне питання стосувалося визначення переважаючої складової у відходах, а респондентам було запропоновано обрати декілька варіантів відповідей. Так, 65,4% респондентів вказали наявність пластику у складі утворюваних відходів, 61,1% – відходів упаковки, 57,9% – біо-відходів, 50% – паперу, 19% – скла та стільки ж – відпрацьованих батарейок, 15,1% – картону, 7,9% – металу і така ж кількість відходів електричного та електронного обладнання, по 3,2% – відходів деревини та текстилю та 0,8% – великогабаритні відходи (рис. 2).

61,9% опитаних відповіли, що сортують сміття. 38,1% респондентів, які відповіли, що не сортують сміття, основними причинами цього вказали: відсутність місць збуту розподіленого сміття; складність (дійсно, куди ж простіше: склав все сміття у один пакет, вийшов у коридор та спустив у сміттепровід або ж викинув у контейнер!); відсутність поблизу баків для сортування або заводу, де відсортовані відходи можуть перероблятися; розмір квартири; культура населення та свідомість.

Оскільки пакети становлять значну частину наших відходів, наступне питання мало на меті визначити, чи здатні мешканці міста відмовитися від їх використання. Відмітимо, що серед опитаних не виявилось тих, хто не може відмовитися від використання пакетів. 57,9% респондентів дали ствердну відповідь, а решта 42,1% – частково (серед

причин вказали на їх зручність, простоту і доступність та необхідність для певної групи товарів, адже не всі продукти можна зберігати іншим чином). Відмітимо, що для зменшення обсягу використання таких пакетів був прийнятий Закон «Про обмеження обігу пластикових пакетів на території України» від 01.06.2021 р., що забороняє розповсюдження надтонких (за виключенням біорозкладних), тонких та оксорозкладних пластикових пакетів (ст. 2) [8].

Позитивним вважаємо той факт, що 39,7% опитаних, купуючи продукти в супермаркетах, використовують свої торбинки. 27% респондентів використовують магазинні пакети, 14,3% – віддають перевагу індивідуально запакованим продуктам, а 19% – використовують як своє, так і магазинне пакування.

На питання, чи існує практика повторного використання відходів у вас вдома, 57,9% опитаних дали позитивну відповідь. Респонденти відмічають повторне використання пакетів, скляних банок, пластикових пляшок та контейнерів, органічні відходи використовують в подальшому як добриво для внесення на присадибні ділянки чи вивозяться на дачі, а папір, картон, залізо здають в пункти прийому вторсировини. На національній мапі пунктів прийому вторсировини у м. Житомир налічується таких 26.

Свою увагу під час проведення опитування ми не могли не звернути на виявлення проблем з побутовими відходами, які існують у місті. Респонденти на це питання надали досить змістовні відповіді: відмічали значну кількість відходів, надмірне споживання, недотримання вимог щодо роздільного збирання відходів, малу кількість контейнерів для різних видів відходів (особливо в районах приватного сектору; також опитувані відмічали найбільше цю проблеми у мікрорайоні «Мальованка»), відсутність сміттепереробного заводу, швидке наповнення контейнерів сміттям та їх невчасне вивезення, низька

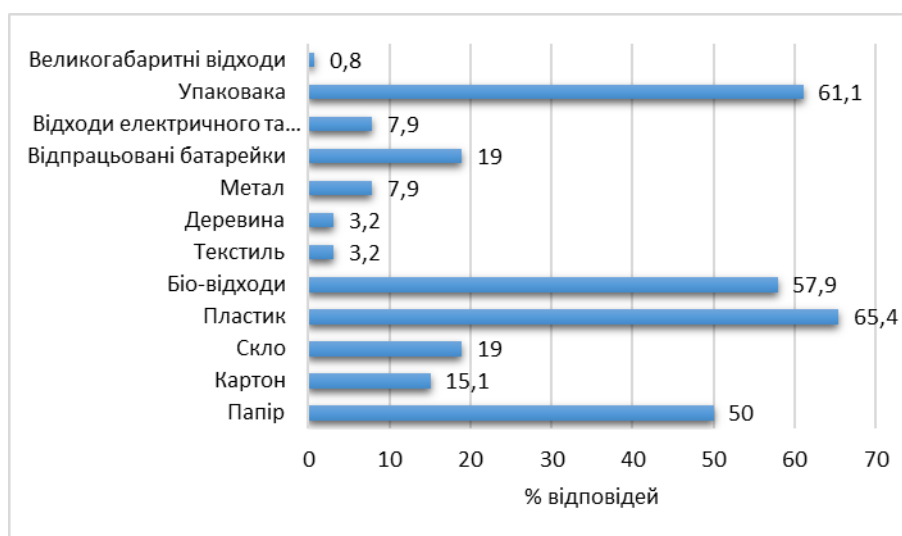


Рис. 2. Відповіді на запитання «Яка складова переважає у відходах, які утворюються у вашій родині?»

якість послуг з вивезення сміття, значна кількість стихійних сміттєзвалищ, перевантаженість полігону ТПВ, поведінка людей.

Знаючи, що у Житомирі з 23 лютого 2023 р. запрацював сміттєпереробний завод (пров. Складський, 20), ми не могли оминати питання щодо ставлення мешканців міста до цього. Для відповіді на дане питання, респондентам було запропоновано шкалу, де 1 – визначає негативне ставлення до будівництва, 2 – швидше негативне, ніж позитивне, 3 – нейтральне, 4 – швидше позитивне, ніж негативне, 5 – позитивне. 65,8% опитаних позитивно відносяться до будівництва сміттєпереробного заводу, 15,1% – займають нейтральну позицію, 19,1% – мають негативне ставлення, адже не хочуть жити поряд з ним та не знають, як цей завод працюватиме і який матиме вплив на їхнє здоров'я.

Наступні запитання нашого опитування стосувалося конкретних кроків для мешканців, органів влади та бізнесу, які необхідно зробити, аби зменшити навантаження відходами на довкілля в місті. Опитувані на це запитання надали досить цікаві й різноманітні відповіді, а саме:

– жителям міста: роздільний збір сміття; не реалізовувати/не купувати пластикові пакети в місцях стихійної торгівлі; ведення екологічного способу життя, стати екологічно відповідальним (як споживачам, так і виробникам) і почати з себе (викидати відходи у спеціально відведені для цього місця, а не куди попало!); злагоджена робота як окремих мешканців, так і органів влади; обмежити споживання; навчитися вторинно використовувати певні відходи для побутових чи інших потреб; заключати договори на вивезення сміття;

– органам влади: збудувати сміттєпереробний завод; вести широку просвітницьку екологічну роботу; встановити більше контейнерів; підвищити штрафи за несвоєчасне вивезення відходів та створення стихійних сміттєзвалищ; контролювати вчасне вивезення сміття, запровадити контроль за викиданням відходів; заохочувати до роздільного збору відходів; розробити систему управління відходами та програму поводження з відходами у кожній громаді; суворо контролювати виділення грантових коштів,

які виділяються на сферу поводження та управління відходами;

– бізнесу: роздільний збір відходів; створення складів на території підприємств, де можна буде складувати або переробляти відходи; застосовувати матеріали, які можна використовувати повторно/біорозкладні; дотримуватися вимог екологічної безпеки на всіх циклах виробництва; виготовляти продукцію без зайвого пакування; безвідходне виробництво (у відповідях респонденти вказують на практику виготовлення одягу та взуття з відходів: наприклад, Reserved, Nike тощо); раціональне використання сировини; офіційно віддавати відходи на переробку; прибирати; змінити формат мислення з індивідуальної наживи на формат колективного цілісного співіснування, хоча б у важливих питаннях розвитку цивілізованої нації (відповідь, яка найбільше мені сподобалася).

**Головні висновки.** В одній родині з 4 осіб (чоловік, жінка, школяр та немовля) за тиждень утворюється 14071 г відходів. За морфологічним складом переважають гігієнічні відходи – 7190 г (51,1%) та харчові (39%). В розрахунку на особу кількість утворених відходів становить: 502,6 г (за добу), 3518 г (за тиждень), 15078 – 15581 г (за місяць), 182936 г (за рік). Враховуючи чисельність населення міста у 261358 осіб, річний обсяг відходів становитиме 47816,7 т. За умови роздільного збору сміття та здачі на вторинну переробку відходів, їх обсяг зменшиться на 19,5%; якщо ж компостувати харчові відходи – ще на 76,2%. За результатами анкетування визначено, що проблема поводження з відходами є актуальною для 88,1% опитаних; 35,7% респондентів відзначили, що кількість утворених відходів в їх сім'ях від 500 г до 1 кг, а серед факторів, що обумовлюють їх утворення значні обсяги споживання, склад сім'ї, харчові звички та діяльність членів родини. Запропоновані конкретні кроки для мешканців міста, органів влади та бізнесу, дозволять зменшити навантаження відходами на довкілля в м.Житомир.

**Перспективами подальших досліджень** є визначення індивідуальних особливостей утворення побутових відходів у розрізі окремих територіальних громад Житомирської області.

### Література

1. Галаган О.К., Дух О.І., Ковалевич О.В. Поводження з відходами у місті Кременці (Тернопільська область). *Екологічні науки*. 2020. № 6(33). С. 133–137. DOI: 10.32846/2306-9716/2020.eco.6-33.20.
2. Герасимчук Л.О., Валерко Р.А., Довбаш В.В. Регіональний аспект поводження з відходами у Житомирській області в контексті сталого розвитку. *Екологічні науки*. 2022. № 1(40). С. 104–109. DOI: 10.32846/2306-9716/2022.eco.1-40.19.
3. Герасимчук Л.О., Валерко Р.А., Залужна Є.Р. Оцінка рівня екологічної безпеки територій Житомирської області за обсягами утворення відходів. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2022. № 1. С. 3–9. DOI: 10.32782/psd-2022-1-1.
4. Гончаренко Я.Є. Сучасний стан та перспективи вирішення проблеми поводження з відходами в Україні у контексті активізації інтеграційних процесів. *Ринкова економіка: сучасна теорія і практика управління*. 2021. № 3(49), т. 20. С. 232–243. DOI: 10.18524/2413-9998.2021.3(49).265756.
5. Коцюба І., Лико С., Лукьянова В., Анпілова Є. Науково-теоретичне обґрунтування накопичення твердих побутових відходів Житомирщини. *Екологічна безпека та природокористування*. 2020. № 36(4). С. 56–65. DOI: 10.32347/2411-4049.2020.4.56-65.
6. Матвеева О., Шевченко Л., Савостенко Т. Удосконалення підходів щодо поводження з побутовими відходами України у напрямі Європейського зеленого курсу. *Аспекти публічного управління*. 2021. № 9(3). С. 5–12. DOI: 10.15421/152123.



7. Писаренко П.В., Самойлік М.С., Диченко О.Ю., Цьова Ю.А., Подлесний А.В., Третьякова Д.М. Концептуальні напрями регіонального управління сферою поводження з твердими побутовими відходами. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. № 3. С. 82–90. DOI: 10.31210/visnyk2021.03.10.
8. Про обмеження обігу пластикових пакетів на території України: Закон України від 01.06.2021 № 1489-IX. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1489-20>.
9. Ceylan Z. Estimation of municipal waste generation of Turkey using socio-economic indicators by Bayesian optimization tuned Gaussian process regression. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*. 2020. № 38(8). DOI: 10.1177/0734242X20906877.
10. Chen D.M.-C., Bodirsky B.L., Krueger T., Mishra A., Popp A. The world's growing municipal solid waste: trends and impacts. *Environ. Res. Lett.* 2020. 15 074021. DOI: 10.1088/1748-9326/ab8659.
11. Kulisz M., Kujawska J. Prediction of municipal waste generation in Poland using neural network modeling. *Sustainability*. 2020. № 12(23):10088. DOI: 10.3390/su122310088.
12. Municipal waste statistics. URL: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Municipal\\_waste\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Municipal_waste_statistics).
13. Silpa K., Lisa Y. C., Perinaz B.-T., Frank V. W. What a Waste 2.0 : A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Urban Development; Washington, DC: World Bank, 2018. 295 p. URL: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>.
14. Sharma K.D., Jain S. Municipal solid waste generation, composition, and management: the global scenario. *Social Responsibility Journal*. 2020. № 16(6). P. 917–948. DOI: 10.1108/SRJ-06-2019-0210.

## РЕАЛІЗАЦІЯ КОНЦЕПЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ЕНТРОПІЇ ПРИ СТВОРЕННІ МЕРЕЖ МОНІТОРИНГУ ВОД

Безсонний В.Л.

Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця  
пр. Науки, 9А, 61166, м. Харків,

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна  
майд. Свободи, 4, 61022, м. Харків  
[bezsonny@gmail.com](mailto:bezsonny@gmail.com)

У статті наводиться огляд використання концепції інформаційної ентропії при здійсненні проектування мереж моніторингу вод. Базовими принципами проектування мереж моніторингу вод стали: певна кількість станцій моніторингу, місця розташування станцій і період передачі даних або частота дискретизації. Теорія інформації була спочатку розроблена для вимірювання вмісту інформації в наборі даних та з часом набула застосування для вирішення проблем раціонального використання водних ресурсів. На разі її застосування поширюється на проектування мереж моніторингу вод. Приймається концепція, згідно з якою ентропія зможе пояснити властиву для станції моніторингу або мережі моніторингу інформацію. Основна мета при цьому – отримання максимальної кількості інформації. На сьогодні зниження числа станцій у мережах моніторингу вод стало загальною тенденцією через фінансові обмеження і зміни пріоритетів моніторингу. Тому визначення адекватної кількості станцій моніторингу та їх розташування стало критично важливим для проектування мереж моніторингу вод. Важливість мереж моніторингу якості вод полягає в їх здатності допомогти у визначенні тих параметрів, які перевищують нормативи якості води. Однак стандартизована методологія процесу проектування робіт для належної мережі моніторингу води ще не була розроблена у зв'язку з практичною і соціально-економічною складністю в різних умовах проектування. Унікальна перевага цього підходу з використанням інформаційної ентропії полягає в тому, що мережу моніторингу вод можна оцінити або спроектувати на основі інформації, яку мережа контролює, що відрізняється від заданої щільності станцій, запропонованої в керівних принципах Всесвітньої метеорологічної організації. Крім того, у поєднанні з методами багатоцільової оптимізації в оптимальний процес проектування мережі можна включити специфічні критерії водокористувачів. *Ключові слова:* екологічний стан поверхневих вод, концепція інформаційної ентропії, моніторинг вод.

### Implementation of the concept of information entropy when creating water monitoring networks. Bezsonnyi V.

The article provides an overview of the use of the concept of information entropy in the design of water monitoring networks. The basic principles of designing water monitoring networks have become: a certain number of monitoring stations, the location of the stations and the period of data transmission or sampling frequency. Information theory was originally developed to measure the content of information in a data set and over time gained application to solve the problems of rational use of water resources. In the case of its application, it applies to the design of water monitoring networks. The concept is adopted, according to which entropy will be able to explain the information specific to the monitoring station or monitoring network. The main goal is to obtain the maximum amount of information. Today, the decrease in the number of stations in water monitoring networks has become a general trend due to financial constraints and changes in monitoring priorities. Therefore, determining the adequate number of monitoring stations and their locations has become critically important for the design of water monitoring networks. The importance of water quality monitoring networks lies in their ability to help identify those parameters that exceed water quality standards. However, a standardized methodology for the design process of works for a proper water monitoring network has not yet been developed due to the practical and socio-economic complexity in different design conditions. A unique advantage of this information entropy approach is that a water monitoring network can be evaluated or designed based on the information that the network monitors, which differs from the given station density suggested by the World Meteorological Organization guidelines. In addition, in combination with multi-objective optimization methods, specific criteria of water users can be included in the optimal network design process. *Key words:* ecological state of surface waters, concept of information entropy, water monitoring.

**Постановка проблеми.** Незважаючи на те, що Україна на сьогодні має внутрішні запаси водних ресурсів, важливими є питання їх доступності до 100% міського та сільського населення, очистки, зменшення впливу дисбалансу між посушливими регіонами півдня та іншими більш водоемними територіями півночі та північного заходу, звести до мінімуму та ліквідувати скидання відходів, небезпечних речовин, збільшити частку повторного використання

води та підняти ефективність використання водних ресурсів. Стандартизованого процесу проектування мереж моніторингу води не існує, за винятком загальних рекомендацій Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО) щодо мінімальної щільності мережі. Хоча однією з основних проблем при проектуванні оптимальних гідрометричних мереж було встановлення цілей проектування, теорія інформації була успішно прийнята до проблем проектування мереж

шляхом надання заходів інформаційного вмісту, який може бути доставлений зі станції або мережі.

**Актуальність дослідження.** Адекватні мережі моніторингу води та дані про якість з них є одним з перших і первинних кроків на шляху до ефективного управління водними ресурсами. Базовими принципами проектування мереж моніторингу вод стали: певна кількість станцій моніторингу, місця розташування станцій і період передачі даних або частота дискретизації [1, 2]. Останні технологічні досягнення дозволили поступово перейти від ручного відбору проб до автоматизованих спостережень, в той час як деякі параметри якості води все ще вимагають польового та/або лабораторного аналізу води або інших проб навколишнього середовища. Теорія інформації була спочатку розроблена Шенноном в 1948 році [3] для вимірювання вмісту інформації в наборі даних і була застосована для вирішення проблем водних ресурсів. На разі її застосування поширюється на проектування мереж моніторингу вод, прийнявши концепцію, згідно з якою ентропія зможе пояснити властиву для станції моніторингу або мережі моніторингу інформації. Зрозуміло, що основна ціль при цьому – мати максимальну кількість інформації.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Тема дослідження відповідає основним напрямкам Концепції Загальнодержавної цільової соціальної програми “Питна вода України” на 2022–026 роки, схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 28 квітня 2021 р. № 388-р. У вересні 2015 року в рамках 70-ї сесії Генеральної Асамблеї ООН у Нью-Йорку відбувся Саміт ООН зі сталого розвитку та прийняття Порядку денного розвитку після 2015 року, на якому було затверджено нові орієнтири розвитку. Підсумковим документом Саміту «Перетворення нашого світу: порядок денний у сфері сталого розвитку до 2030 року» було затверджено 17 Цілей Сталого Розвитку та 169 завдань.

Ціллю № 6 є «Чиста вода та належні санітарні умови», серед основних завдань якої – підвищення ефективності водокористування та забезпечення впровадження інтегрованого управління водними ресурсами, що не є можливим без ефективно організованої мережі моніторингу вод.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У наявних роботах досліджується широкий спектр підходів до проектування мереж моніторингу вод, таких як методи оптимізації, просторова інтерполяція, статистичний аналіз, застосування теорії інформації, фізико-географічний аналіз, опитування користувачів або рекомендації експертів і комбінації декількох методів [6–16]. У роботі [15] розглянуто положення щодо зниження гідрометричної щільності мережі, підкреслено важливість якісних даних з добре спроектованих мереж та розглянуто ряд підходів до спроектованих мереж. Автори також порів-

няли статистичний, просторовий інтерполяційний, фізіографічний, вибірковий та ентропійний підходи до проектування гідрометричних мереж.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** На сьогодні зниження мереж моніторингу води стало загальною тенденцією через фінансові обмеження і зміни пріоритету моніторингу [13–15]. Тому визначення адекватної кількості станцій моніторингу та їх розташування стало критично важливим для проектування мереж. Однак стандартизована методологія процесу проектування робіт для належної мережі моніторингу води ще не була розроблена у зв'язку з практичною і соціально-економічною складністю в різних умовах проектування [6, 14].

**Новизна.** Підхід – чим більше даних ми збираємо, тим більше проблем з водними ресурсами вирішується ефективно – не є завжди вірним, оскільки нерелевантні, неадекватні або неефективні дані в неправильному місці або в невідповідний час можуть перешкоджати якості набору даних [4, 14, 15]. Одним з найбільш перспективних підходів до проектування мереж є застосування методів ентропії з використанням принципу максимальної ентропії і передачі інформації.

**Виклад основного матеріалу.** У термодинаміці ентропія розуміється як міра неупорядкованості або випадковості системи. Шеннон [16] розширив концепцію ентропії до теорії інформації, визнавши, що невизначеність у системі буде зменшена, коли інформація додається до системи. Тому термін ентропія в теорії інформації, введений Шенноном [16] у 1948 році, описує кількість інформаційного вмісту у випадковій величині. Імовірність події зазвичай визначається ймовірністю  $p$ . Якщо ймовірність події дуже висока, наприклад 0,9999 або одиниця, це не буде несподіванкою і можна точно передбачити результат. З іншого боку, будь-яка подія з низькою ймовірністю характеризується високим ступенем невизначеності, тому у випадку її виникнення може бути отримано значну кількість інформації. Отже, інформація про подію, що сталася, обернено пропорційна її ймовірності,  $1/p$  [17]. Припустимо, що є дві незалежні події  $A$  і  $B$  з їх імовірностями  $p_A$  і  $p_B$  відповідно. Імовірність спільного виникнення подій  $A$  і  $B$  може бути  $p_A p_B$ , а інформація, отримана спільною подією, тоді дорівнює  $1/(p_A p_B)$ . Однак сума інформації від кожної окремої події не дорівнює інформації від спільної події, тобто:

$$\frac{1}{p_A p_B} \neq \frac{1}{p_A} + \frac{1}{p_B}. \quad (1)$$

Єдиним переходом, який зробить обидві частини рівняння (1) рівними, є логарифм [17–19], який можна записати так:

$$\log \frac{1}{p_A p_B} = \log \frac{1}{p_A} + \log \frac{1}{p_B} = -\log p_A - \log p_B. \quad (2)$$

Подібним чином показано [20], що невизначеність події з імовірністю  $p$  дорівнює  $-\log p$ , що стало основою ентропії Шеннона.

Коли інформація надається в системі, можна очікувати, що невизначеність системи буде зменшена; тому кількість інформації, яка була надана системі при умові знання змінної, називається граничною ентропією. Якщо очікується, що випадкова змінна  $X$  матиме  $N$  результатів із розподілом ймовірностей  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_N\}$ , (зважена) середня інформація, представлена  $N$  спільними подія, визначається як:

$$H(X) = -p_1 \log p_1 - p_2 \log p_2 - \dots - p_N \log p_N = \quad (3)$$

$$= -\sum_{i=1}^N p_i \log p_i, \quad \sum_{i=1}^N p_i = 1, \quad p_i \geq 0.$$

де  $H(X)$  – гранична ентропія випадкової величини  $X$ .

У рівнянні (3) можна використовувати будь-яку основу логарифма, вибір залежить від поставленої проблеми. У бінарних запитаннях (тобто питаннях «так» або «ні») слід використовувати двійку, а відповідну одиницю ентропії – біт. Подібним чином, одиниця трит для основи 3, одиниця нат для основи  $e$  та одиниця децибел або децит для основи 10 є прикладами одиниць інформації. Оскільки ми розглядаємо застосування ентропії для проектування гідрометричної мережі, то і очікувана відповідь процесу проектування може бути або «використовувати / включати / встановлювати станцію» або «не використовувати / включати / встановлювати станцію», щоб мережа була оптимальною. Таким чином, логарифм у розрахунку ентропії Шеннона для проектування гідрометричної мережі є найбільш прийнятним з основою два. Тоді значення  $H(X)$  з рівняння (3) буде розумітися як інформаційний вміст станції  $X$ , який може бути отриманий у разі її встановлення.

Якщо змінна  $X$  має відоме значення, ймовірність події буде дорівнювати одиниці, а всі інші альтернативні ймовірності будуть рівні нулю. Інформаційний вміст у змінній  $X$ ,  $H(X)$  дорівнюватиме нулю за рівнянням (3), що означає відсутність невизначеності або певного результату. З іншого боку, якщо змінна  $U$  має рівномірний розподіл (тобто ймовірність кожної події дорівнює  $1/N$ ), ентропія змінної  $U$  буде:

$$H(U) = \log N \quad (4)$$

Значення рівняння (4) часто називають максимальною ентропією або насиченою ентропією. Ці дві ентропії,  $H(X)$  і  $H(U)$ , визначають мінімальну та максимальну межі значень ентропії, тобто:

$$0 \leq H(X) \leq \log N \quad (5)$$

Важливість мереж моніторингу якості вод полягає в їх здатності допомогти у визначенні тих параметрів, які перевищують нормативи якості води. Кілька стратегій моніторингу якості вод, в тому числі два методи, які використовують вимірювання ентропії [21, 22], були розглянуті у роботі [10]. Побудова єдиного підходу до розробки мережі моніторингу якості вод є практично неможливим.

Незважаючи на це, різні застосування методів трансінформації показали перспективність оптимального перепроєктування та зменшення мереж моніторингу якості води [21–22]. У роботі [24] виявлено, що шляхом максимізації багатовимірної передачі інформації між вибраними та невибраними станціями, використовуючи модель керування зливовими водами для імітації загального вмісту завислих речовин і генетичний алгоритм для оптимізації, можна спроектувати мережу оптимальної якості води для каналізаційної системи. Дослідники [25] порівнювали теорію інформації, час виявлення та показники надійності для проектування мережі моніторингу каналізаційної системи за допомогою підходів оптимізації як з одним, так і з кількома цілями. Було показано, що для невеликої мережі моніторингу методи мали однакову продуктивність, тоді як метод виявлення на основі одного об'єкта, заснований на часі, мав дещо кращі результати, коли кількість станцій моніторингу більша. У роботі [26] використовували ймовірності перевищення для визначення ентропії порушення розчиненого кисню та хлорофілу- $a$  в гирлі річки Нойс. Поряд з ентропією порушення, загальна ентропія системи використовувалася як міра для визначення областей важливості моніторингу. Багатоцільова схема оптимізації, заснована на вагових коефіцієнтах, призначених експертом, була використана для розробки компромісного рішення з трьох мір ентропії. Зрештою, метод дозволив ідентифікувати зони з високою невизначеністю, які виграють від майбутнього моніторингу якості води. Доступність даних є проблемою при використанні ентропійних методів, особливо при спробі використати їх у проєкті мережі моніторингу в басейні, де не проводилося вимірювань. Щоб вирішити це питання, у дослідженні [27] розроблено метод, який використовує міру, аналогічну граничній ентропії. Цей метод використовує такі характеристики басейну, як довжина та кількість ділянок у річковій мережі у якості функції витрат, яка потім оптимізується за допомогою комбінованого генетичного алгоритму та фільтрації. Було показано, що це обчислювально ефективний метод для використання в оптимальному проєктуванні мережі басейну річки без вимірювання.

Гідрологічні процеси взаємопов'язані кругообігом води, існують причини та наслідки між гідрологічними змінними. Наприклад, якщо випадає значна кількість опадів, ймовірно, збільшиться стік або рівень ґрунтових вод; отже, інформаційний вміст змінної може впливати на вміст інших змінних. Дослідниками [28] розроблено метод проектування багатовимірної мережі, взявши умовну ентропію як міру інформації, яка не залежить від даної змінної. У їхньому дослідженні метод передбачає одночасне проектування мережі моніторингу опадів і потоків. Зокрема, метод дотримувався традиційного багатоцільового підходу, який максимізує спільну ентропію.

піню та мінімізує загальну кореляцію, але додає ще одну задачу, яка максимізує умовну ентропію мережі потоку з урахуванням мережі опадів, щоб імітувати напрямок кругообігу води, оскільки річковий стік може коливатися через опади. Після порівняння інтегрованого плану з планом однієї змінної, їхні результати показали, що ефективність мережевої інтеграції здебільшого досягається від зменшення кількості додаткових станцій для випадіння опадів. Було також виявлено, що інтегрований підхід до проектування мережі дозволяє додати станцію моніторингу опадів в місці, яке буде корисним для водонісної мережі.

**Головні висновки.** Успішного управління водними ресурсами неможливо досягти без належних мереж моніторингу вод. Незважаючи на значний прогрес у методах проектування мереж, стандартизована методологія проектування ще не напрацьована. Після розробки теорії інформації в 1940-х роках концепції ентропії були застосовані в різних програмах щодо проблем проектування мереж моні-

рингу вод. Унікальна перевага цього підходу полягає в тому, що мережу моніторингу вод можна оцінити або спроектувати на основі інформації, яку мережа контролює, що відрізняється від заданої щільності станцій, запропонованої в керівних принципах ВМО. Крім того, у поєднанні з методами багатоцільової оптимізації в оптимальний процес проектування мережі можна включити специфічні критерії водокористувачів.

**Перспективи подальших досліджень.** Майбутні дослідження мають бути зосереджені на порівняльних дослідженнях методів проектування множинної ентропії, підходів до дискретизації та характеристик даних. Сучасна література надає багато нових підходів до проектування ентропії та еволюції концепцій, але ретельні порівняння мають вирішальне значення для надання загальних рекомендацій для проектування мережі. Незважаючи на виявлені потенційні джерела суб'єктивності, ентропійні методи залишаються одним із найбільш об'єктивних підходів до проектування мережі.

### Література

1. Nemes J., Askew A.J. Mean and variance in network-design philosophies. *In Integrated Design of Hydrological Networks (Proceedings of the Budapest Symposium); International Association of Hydrological Sciences Publication*: Washington, DC, USA, 1986; P. 123–131.
2. Rodda J.C., Langbein W.B. Hydrological Network Design-Needs. *Problems and Approaches*; World Meteorological Organization: Geneva, Switzerland, 1969.
3. Shannon C.E. A Mathematical Theory of Communication. *Bell Syst. Tech. J.* 1948, 27, P. 379–423.
4. World Meteorological Organization. Casebook on Hydrological Network Design Practice. World Meteorological Organization: Geneva, Switzerland, 1972.
5. Mishra A.K., Coulibaly P. Developments in Hydrometric Network Design: A Review. *Rev. Geophys.* 2009.
6. Chacon-hurtado J.C., Alfonso L., Solomatine D.P. Rainfall and streamflow sensor network design: A review of applications, classification, and a proposed framework. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2017, 21, P. 3071–3091.
7. Moss M.E. Concepts and Techniques in Hydrological Network Design. World Meteorological Organization: Geneva, Switzerland, 1982.
8. Van der Made J.W., Schilperoort T., van der Schaaf S., Buishand T.A., Brouwer G.K., van Duyvenbooden W., Becinsky P. Design Aspects of Hydrological Networks. *Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO: The Hague*. The Netherlands, 1986.
9. Pyrcie R.S. Review and Analysis of Stream Gauge Networks for the Ontario Stream Gauge Rehabilitation Project. *2nd ed.; Watershed Science Centre*: Peterborough, ON, Canada, 2004.
10. Behmel S., Damour M., Ludwig R., Rodriguez M.J. Water quality monitoring strategies – A review and future perspectives. *Sci. Total Environ.* 2016, 571, P. 1312–1329.
11. Безсонний В.Л. Методика оцінки екологічного стану водойми на основі ентропійно зваженого індексу якості води. *Екологічні науки : науково-практичний журнал*, 2023. № 2(47). С. 44–48.
12. Pilon P.J., Yuzik T.R., Hale R.A., Day T.J. Challenges Facing Surface Water Monitoring in Canada. *Can. Water Resour. J.* 1996, 21, P. 157–164.
13. U.S. Geological Survey. Streamflow Information for the Next Century – A Plan for the National Streamflow Information Program of the U.S. *Geological Survey; U.S. Geological Survey*: Denver, CO, USA, 1999.
14. Langbein W.B. Overview of Conference on Hydrologic Data Networks. *Water Resour. Res.* 1979, 15, P. 1867–1871.
15. Davis D.R., Duckstein L., Krzysztofowicz R. The Worth of Hydrologic Data for Nonoptimal Decision Making. *Water Resour. Res.* 1999, 15, P. 1733–1742.
16. Shannon C.E. A Mathematical Theory of Communication. *Bell Syst. Tech. J.* 1948, 27, P. 379–423.
17. Batty M. Space, scale, and scaling in entropy maximizing. *Geogr. Anal.* 2010, 42, P. 395–421.
18. Singh V.P. Entropy Theory in Hydrologic Science and Engineering. *McGraw-Hill Education*. New York, NY, USA, 2015.
19. Lathi B.P. An Introduction to Random Signals and Communication Theory. *International Textbook Company*. Scranton, PA, USA, 1968.
20. Tribus M. Rational Descriptions, Decisions and Designs. *Pergamon Press*: Oxford, UK, 1969.
21. Mahjouri N., Kerachian R. Revising river water quality monitoring networks using discrete entropy theory: The Jajrood River experience. *Environ. Monit. Assess.* 2011, 175, P. 291–302.
22. Memarzadeh M., Mahjouri N., Kerachian R. Evaluating sampling locations in river water quality monitoring networks: Application of dynamic factor analysis and discrete entropy theory. *Environ. Earth Sci.* 2013, 70, P. 2577–2585.

23. Boroumand A., Rajaei T. Discrete entropy theory for optimal redesigning of salinity monitoring network in San Francisco bay. *Water Sci. Technol. Water Supply* 2017, 17, P. 606–612.
24. Lee J.H. Determination of optimal water quality monitoring points in sewer systems using entropy theory. *Entropy*. 2013, 15, P. 3419–3434.
25. Banik B.K., Alfonso L., di Cristo C., Leopardi A., Mynett A. Evaluation of Different Formulations to Optimally Locate Sensors in Sewer Systems. *J. Water Resour. Plan. Manag.* 2017, P. 143.
26. Alameddine I., Karmakar S., Qian S.S., Paerl H.W., Reckhow K.H., Optimizing an estuarine water quality monitoring program through an entropy-based hierarchical spatiotemporal Bayesian framework. *Water Resour. Res.* 2013, 49, P. 6933–6945.
27. Lee C., Paik K., Yoo D.G., Kim J.H. Efficient method for optimal placing of water quality monitoring stations for an ungauged basin. *J. Environ. Manag.* 2014, 132, P. 24–31.
28. Keum J., Coulibaly P. Information theory-based decision support system for integrated design of multi-variable hydrometric networks. *Water Resour. Res.* 2017, 53, P. 6239–6259.

UDC 502.36:504.064.4:504.53

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.3-48.23>

## ENVIRONMENTAL MONITORING OF EUTROPHICATION PROCESS IN WATER BODIES ACROSS UKRAINE

Dmitrieva O.O.<sup>1</sup>, Tsapko N.S.<sup>1</sup>, Koldoba I.V.<sup>1</sup>, Lysov B.V.<sup>1</sup>, Teliura N.O.<sup>2</sup><sup>1</sup>Scientific Research Institution "Ukrainian Scientific Research Institute of Ecological Problems"

Bakylyna str., 6, 61166, Kharkiv

<sup>2</sup>O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

Marshal Bazhanov str., 17, 61002, Kharkiv

dmitrieva.olena@gmail.com, tsapko@niiep.kharkov.ua, lysoff@ukr.net,  
i.koldoba@ukr.net, natalya.telyura@kname.edu.ua

The article is devoted to the study of the development of processes of eutrophication of environmental components and its consequences in the form of «blooming», which can lead to the degradation of natural biocenoses, populations and even ecosystems, and in the future poses a threat to human health. To assess the degree of ecological and social (medical) danger of the development of processes of eutrophication of surface water bodies, soils and polluted atmospheric air (bioaerosols) by cyanobacteria and their products of vital activity and to prevent the negative impact of a high level of eutrophication on various types of water use (drinking water supply, recreation, energy, agriculture, etc.), proposals for improving special ecological monitoring in regions with a high level of eutrophication of aquatic ecosystems are offered. It is proposed to organize special complex observations of water bodies during the growing season, which will include data from ground observations and data from remote sensing of the Earth. On the basis of the obtained data, it is proposed to calculate 2 indicators, namely, an integrated assessment of the impact of wastewater on aquatic ecosystems, which helps determine long-term implementation measures, and an indicator that determines the concentration of chlorophyll in the reservoir water above discharges downstream and is used in the process of making operational decisions. When determining the appropriate categories of the quality of water bodies according to the level of their eutrophication, authorities at different levels can rely on the developed operational-preventive recommendations for ecological, social and technical solutions and organize the implementation of these recommendations in the relevant settlements, which will ensure timely protection of the population and reduce the negative impact of eutrophication of water bodies. *Key words*: eutrophication, environmental components, special observations, water quality, remote sensing of the Earth.

**Екологічний моніторинг процесу евтрофікації водойм України. Дмитрієва О.О., Цапко Н.С., Колдоба І.В., Лисов Б.В., Телюра Н.О.**

Розглянуто та систематизовано питання розвитку процесів евтрофікації компонентів навколишнього природного середовища та наслідків даного процесу у вигляді «цвітіння», яке може призвести до деградації природних біоценозів, популяцій і навіть екосистем, а в майбутньому становить загрозу здоров'ю людини, умовам його життєдіяльності. Оцінити ступінь екологічної та соціальної (медичної) небезпеки розвитку процесів евтрофікації поверхневих водойм, ґрунтів і забрудненого атмосферного повітря (біоаерозолі) ціанобактеріями та продуктами їх життєдіяльності та запобігти негативному впливу високого рівня евтрофікації на різні види водокористування (питне водопостачання, рекреація, енергетика, сільське господарство тощо). Авторами запропоновані пропозиції щодо вдосконалення спеціального екологічного моніторингу в регіонах з високим рівнем евтрофікації водних екосистем. Пропонується протягом вегетаційного періоду організувати спеціальні комплексні спостереження за водоймами, які включатимуть дані наземних спостережень та дані дистанційного зондування Землі. На основі отриманих даних обґрунтовано доцільність розрахунку двох показників, а саме інтегральної оцінки впливу стічних вод на водні екосистеми, яка допомагає визначити довгострокові заходи впровадження, та показник, що визначає концентрацію хлорофілу, дані показники особливо є актуальними і використовуються в процесі прийняття управлінсько-експлуатаційних рішень. При визначенні відповідних категорій якості водних об'єктів за рівнем їх евтрофікації органи влади різних рівнів можуть спиратися на розроблені оперативно-профілактичні рекомендації щодо екологічних, соціальних і технічних рішень та організувати виконання цих рекомендацій у відповідних населених пунктах, що забезпечить своєчасний захист населення та зменшить негативний вплив евтрофікації водойм як джерел питаного водопостачання та рекреаційного використання. *Ключові слова*: евтрофікація, компоненти навколишнього середовища, спеціальні спостереження, якість водойм, дистанційне зондування Землі.

**Analysis of the existing problem.** The deterioration of the environment as a result of intensive eutrophication is one of the most challenging environmental and social issues on a global scale. The elevated rate of eutrophication is a factor contributing significantly to the development of environmental diseases [1–4]. Understanding the synergetic effects of eutrophicated components of the environment on living conditions across Ukraine is one of the most topical issues in the context of Ukraine's sustainable development.

**Relevance of research.** Poor condition of water resources is one of the most pressing issues globally, including our country. Significant water deficit faced by Ukraine is a result of overconsumption and deterioration of limited water sources. These studies should involve the identification and assessment of environmental, social and health threats associated with the progressive eutrophication of surface water bodies, soil and ambient air (due to the release of bioaerosols) caused by cyanobacteria and their lifecycle products, which will ensure

timely protection of the population and reduce the negative impact of eutrophication of water bodies.

**The connection of the author's work with important scientific and practical tasks.** Signing the Association Agreement between Ukraine, on the one hand, and the European Union and its countries, on the other, member states open up new opportunities and create new standards in various spheres of public life, including the sphere of environmental protection [8-9].

**Analysis of recent research and publications.** Anthropogenic eutrophication and effects thereof such as algal blooms could ultimately result in the degradation of natural biocoenoses, populations and even ecosystems and lead to homeostatic disorders and accumulation of toxic metabolites threatening human health. Ongoing military operations cause ecocide, massive destruction, and release of pollutants to the ambient air, water and soil promoting eutrophication processes. This calls for the need for environmental, social and health studies focusing on their impacts on human life [5-6].

These studies should involve the identification and assessment of environmental, social and health threats associated with the progressive eutrophication of surface water bodies, soil and ambient air (due to the release of bioaerosols) caused by cyanobacteria and their lifecycle products.

Water resources play a vital role in ensuring and maintaining sustainable development because water is an integral component of the environment, a natural resource and a social and economic good. Water resource use is a crucial factor shaping the development of the society, human health and living conditions. Having enough water of good quality is considered as a pillar of national security [7].

Before the war, Ukraine ranked 87th in the world's water quality ranking [10-12]. It is now important to ensure a regular water quality monitoring in the active combat zones including «vulnerable» areas.

The authors [13-15] defined groups of indicators and indicators for the implementation of the selection procedure. Using the proposed approach makes it possible to involve local self-government specialists of various profiles in the management of environmental security of agglomerations from the standpoint of their sustainable development. The advantage of the proposed [14-15] multi-criteria methodical approach is the possibility to combine into a single decision-making algorithm raw data that differ in content (ecological, social and economic-technological) and form of presentation (statistical, predictive, direct measurements) data, expert assessments).

**Highlighting previously unsolved parts of the general problem, to which the specified article is devoted.** The recommendations outlined below aim to enhance the environmental monitoring of aquatic ecosystems affected by eutrophication in order to prevent adverse effects thereof on various water uses (drinking water supply, recreation, energy, agriculture etc.):

1. Special observations over water bodies should be organised and conducted throughout the vegetation period (i.e., from April through October).

2. These special observations should combine both ground-based monitoring and space observations involving the use of remote-sensing technologies (RST). The latter would serve to collect primary information while the ground-based monitoring would be used to verify remote sensing data.

3. The results of special observations would be used to estimate the following two indicators describing the level of eutrophication: 1) E as an integral value characterising the impact of wastewater discharges on aquatic ecosystems and supporting the identification of long-term actions; and 2) chl1, which is the chlorophyll concentration measured upstream of a discharge and used to support operational decision-making.

4. The ground-based and space observation protocol outlining specific observation actions for water bodies with different eutrophication levels (see a draft shown in Table 1) should be developed and approved as required.

The value of the indicator E (an integral assessment of impact of wastewater discharges on aquatic ecosystems) could be used to support funding decisions on allocating resources from the national, regional and local environmental funds for financing priority environmental projects aiming to reduce wastewater impacts on aquatic ecosystems [5].

**Originality.** The value of the integral indicator E would be used to prioritise projects by urgency, i.e., the higher the estimated impact of wastewater discharges on an aquatic ecosystem, the more urgent the project. So, the site whose wastewater discharges have the highest estimated impact resulting in the most significant deterioration of water bodies would rank first in terms of urgency of intervention required (E1), followed by the site with the second-highest value (E2) etc.

$$(1) \quad (2) \quad (3)$$

$$E1 > E2 > E3 > \dots$$

**Methodological importance and Presentation of the main material.** Funds allocated to reduce the impact of wastewater discharges on aquatic ecosystems should be used to finance the following environmental projects:

- Provide treatment to municipal wastewater discharges;
- Ensure the continuous operation of wastewater treatment facilities, and upgrade/construction of existing/new facilities;
- Prevent storm sewers from clogging and blockage by litter in populated areas;
- Provide routine maintenance, repair and upgrade of domestic, industrial and storm sewers etc.

All these actions extend over a long period of time and would achieve the expected reduction in impact of wastewater discharges on water bodies in the longer-term future.



Table 1

**Ground-based and space observations over eutrophication processes in water bodies**

Eutrophication Indicator TSI(chl)*	Water Quality Status	Ground-based Observations			RS Data Analysis Frequency
		Monitored Parameters	Monitoring Frequency	Monitoring Location	
TSI(chl) ≤ 53	Clean, slightly polluted (Categories I and II)	Chlorophyll-a, pigment index, turbidity, colour, oxidability	Once or twice per month	1 location for calibrating remote sensing imagery	Weekly
54 < TSI(chl) ≤ 71	Moderately polluted, heavily polluted (Categories III–IV)	Chlorophyll-a, pigment index, turbidity, colour, oxidability	Weekly	1 location for calibrating remote sensing imagery	Daily
		A complete list of parameters required to assess the level of danger to the environment and society based on the intensity of algal bloom	Monthly	Locations considered as most representative for assessing the effects of algal blooms	
TSI(chl) > 71	Very polluted (Category V)	A complete list of parameters required to assess the level of danger to the environment and society based on the intensity of algal bloom	Weekly	Locations considered as most representative for assessing the effects of algal blooms	
TSI(chl) > 71 (quick assessment)	Very polluted (Category V)	Chlorophyll-a, pigment index, algal indicators	Weekly	1 location for calibrating remote sensing imagery	

The other indicator, i.e., the chlorophyll concentration in a water body upstream of the discharge (chl<sub>1</sub>), is proposed to be used to support operational decision making and actions designed to reduce direct effects of eutrophication on water users receiving water from eutrophic water bodies (Table 2).

A timely response to changes in the chlorophyll-a concentrations in water layer near drinking water intakes would help make adequate management decisions on reducing adverse effects of eutrophication.

When assigning a relevant water quality category to a water body based on the eutrophication level, decision

Table 2

**Operational and preventive measures to reduce the direct impact on water use of eutrophic water bodies**

Water Quality Status / Eutrophication Indicator TSI(chl)	Assessment of Eutrophication Impact on the Condition of the Anthropogenically Modified Natural System	Forecast Based on the Analysis of Satellite Imagery and Phytoplankton Indices	Recommendations (Actions) on Reducing Environmental and Social Threats Related to Algal Blooms		
			Recommended Environmental and Social Actions (Solutions)		Recommended Technical Actions (Solutions)
			Water Quality Monitoring	Social Actions (Solutions)	
1	2	3	4	5	6
Category I, Clean / TSI(chl) ≤ 40	No indication of any adverse impact	Deterioration of current status (Category I) is unlikely	As per recommended monitoring programme for Category I–II waters	All water uses are allowed based on the existing water use permits	Water treatment systems operate as normal
		Deterioration of current status (Category I) is highly likely			
Category II, Slightly Polluted / 40 < TSI(chl) ≤ 53	A film develops on water surface, sensitive organisms are inhibited. Water treatment process is impeded due to the presence of live algal cells	Deterioration of current status (Category II) is unlikely			

Continuation of the table 2

1	2	3	4	5	6
		Deterioration of current status (Category II) is highly likely		1. Inform the public that a deterioration of water quality is possible 2. Inform water management companies that environmental situation might get worse	
Category III, Moderately Polluted / $53 < TSI(chl) \leq 63$	An algal layer floating on the surface; production/destruction balance distorted; self-purification processes slowed down, changes in species and population diversity. Water treatment process complicated. Deterioration of microbiological indices, unpleasant odour and taste in water	Deterioration of current status (Category III) is unlikely	As per recommended monitoring programme for Category III–IV waters	1. Inform the public that tap water should be boiled for longer time 2. Recommend the public to use advanced water treatment appliances at their homes (filters etc.) 3. Restrict recreational water uses	1. More thorough water disinfection. 2. Develop recommendations on water treatment system upgrades for the future
		Deterioration of current status (Category III) is highly likely		Inform water management companies that environmental situation may get unfavourable	

makers at the national, regional and local levels could use proposed recommendations on mitigation and prevention measures to make appropriate environmental, social and technical decisions and organise their implementation within their jurisdictions and thus ensure the timely protection of human health and reduction of adverse effects of eutrophication.

**Main conclusions.** Eutrophication is a process that has a seasonal pattern and starts in water as a result of increases in the availability of nutrients. Under conducive climate conditions, this process can affect soil and ambient air.

The anthropogenic eutrophication of the environment leading to algal blooms and overabundance of nutrients

can eventually result in the degradation of natural bio-coenoses, populations and ecosystems; and lead to accumulation of toxic metabolites threatening human health. Ongoing military operations significantly exacerbate eutrophication processes and this requires further study.

**The discussions in this paper** also suggest that green innovation in the public sector should be given more attention in future research. The implementation of environmental standards requires special requirements for monitoring technology that can regulate the level of pollution. Such methods of multi-criteria multi-level hierarchy of choice may be particularly relevant for understanding possible future ways of greening key industries.

### References

- Zhang J. Z. Cyanobacteria blooms induced precipitation of calcium carbonate and dissolution of silica in a subtropical lagoon, Florida Bay. *Scientific Reports*. 2023. Vol. 13(1), № 4071. 771 p. DOI: 10.1038/s41598-023-30905-4. (Last accessed: 29.05.2023).
- San Miguel G., Martín-Girela I., Ruiz D., Aguado P.L., Fernández J. Environmental and economic assessment of a floating constructed wetland to rehabilitate eutrophicated waterways. *Science of the Total Environment*. 2023. Vol. 884, P. 163817. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.163817.
- Barco M. Borin. Treatment performance and macrophytes growth in a restored hybrid constructed wetland for municipal wastewater treatment. *Ecol. Eng.*. 2017. Vol. 107, P. 160–171. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2017.07.004.
- Ilyas M., Kassa F.M., Darun M.R. Life cycle cost analysis of wastewater treatment: a systematic review of literature. *J. Clean. Prod.* 2021. Vol. 310, P. 127549. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.127549.

5. Pasciucco F., Pecorini I., Iannelli R. Planning the centralization level in wastewater collection and treatment: A review of assessment methods. *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 375, P. 134092. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.134092.
6. Bhavya P.S., Kim B.K., Jo N., Kim K., Kang J.J., Lee J.H., Lee D., Lee S.H. A Review on the Macromolecular Compositions of Phytoplankton and the Implications for Aquatic Biogeochemistry. *Ocean Science Journal*. 2019. Vol. 54 (1). P. 1–14. DOI: 10.1007/s12601-018-0061-.
7. Флавін К. Стан світу 2002. / пер. з англ. ВГО «Україна. Порядок денний на XXI століття та інститут сталого розвитку». Київ : Інтелсфера, 2002. 310 с.
8. Про Стратегію сталого розвитку України до 2030 року : Проект Закону України від 07.08.2018 р. № 9015. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/JH6YF00A> (Last accessed: 09.10.2022).
9. Про схвалення Водної стратегії України на період до 2050 року : Розпорядження Каб. Мін. України від 09 грудня 2022 р. № 1134 – р. (дата звернення: 29.05.2023).
10. Савлущинська М. О., Горбатюк Л. О. Фосфор у водних екосистемах. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія : Біологія*. 2014. № 4. С. 153–162. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/NZTNPU\\_2014\\_4\\_27](http://nbuv.gov.ua/UJRN/NZTNPU_2014_4_27).
11. Писаренко П. В., Корчагін О. П. Прогнозування процесів евтрофікації водойм на прикладі річки Ворскла. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2019. № (3). С. 103–110. DOI: 10.31210/visnyk2019.03.13.
12. Степова Н., Кушка О., Калугін Ю. вплив екологічних норм на евтрофікацію на прикладі українського законодавства про вміст загального фосфору. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. 2021. № 35, С. 56–64. DOI: 10.32347/2524-0021.2021.35.56-64.
13. Teliura N., Tsapko N., Khabarova H. Selection methodology of ecological safety priorities of sustainable development goals of urban agglomerations. *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering – 2021*. 2022. Vol. 367, P. 941–950. DOI: 10.1007/978-3-030-94259-5\_73.
14. Dmitrieva O., Khorezhaja I., Vasylenko V. Choosing the phytoremediation technologies for cleaning various types of wastewater. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 2(10), P. 27–37 DOI: 10.15587/1729-4061.2020.200591.
15. Teliura N.O.: Development of the methodological approach to the selection of technologies for environmentally safe water drainage in populated areas. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 6(10-96), P. 55–63. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.148689.

УДК 556.16

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.3-48.24>

## ПРОСТОРОВА І ЧАСОВА МІНЛИВІСТЬ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ В БАСЕЙНІ ВІСЛИ В УМОВАХ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН

Мартинюк М.О., Овчарук В.А.

Одеський державний екологічний університет

вул. Львівська, 15, 65016, м. Одеса

valeriya.ovcharuk@gmail.com, martyniuk0904@gmail.com

У статті виконаний гідролого-генетичний аналіз часових рядів максимального стоку річок в басейні р. Вісла в межах України. Не зважаючи на те, що площа досліджуваного басейну становить лише 2,13% території держави, він налічує 3112 річок, і представлений двома суббасейнами – р. Західний Буг та р. Сян, в межах яких періодично виникають повені внаслідок паводків різного походження. Значна частина річного стоку на досліджуваній території переважно проходить навесні під час танення снігу, але в теплий період року також можуть спостерігатися значні паводки, які значно перевищують стік меженого періоду, і можуть спричинити повені різного масштабу. Просторова і часова мінливість максимального стоку річок досліджуваного басейну має значний вплив на галузі господарства, водозабезпечення, гідроенергетики, а також на життя та безпеку людей, а отже потребує комплексного підходу і прийняття відповідних мір для мінімізації збитків. В якості вихідної інформації використані дані стаціонарних спостережень по 17 гідрологічних постах за період з початку спостережень по 2015 р. включно. У роботі наведено визначення однорідності часових рядів даних спостережень за максимальним стоком весняного водопілля та дощових паводків, а також проаналізована циклічність коливань максимального стоку та виділені фази водності. Розрахунки статистичних параметрів проведені у відповідності до чинних нормативних документів з використанням методу моментів та найбільшої правдоподібності. Витрати води та шари стоку рідкісної імовірності перевищення для періоду весняного водопілля та дощових паводків розраховані за трьохпараметричним гамма-розподілом С.М. Крицького – М.Ф. Менкеля. Наведене в роботі порівняння розрахованих характеристик максимального стоку рідкісної імовірності перевищення з максимальними спостереженими показало добру збіжність відповідних величин, що, враховуючи точність вихідної інформації дозволяє використовувати отримані результати в подальших розрахунках. *Ключові слова:* максимальний стік, кліматичні зміни, Вісла, дощові паводки, весняні водопілля.

**Spatial and temporal transition of maximum runoff in the Vistula river basin under the conditions of climate changes.**  
Martyniuk M., Ovcharuk V.

The article considers a hydro-genetic analysis of time series of the maximum runoff of rivers in the Vistula River basin within Ukraine is performed. Despite the fact that the area of the studied basin is only 2.13% of the territory of the country, it has 3,112 rivers and is represented by two sub-basins – the Western Bug River and the Sian River, within which floods periodically occur due to floods of various origins. A significant part of the annual runoff in the study area mainly occurs in the spring during the melting of snow, but in the warm period of the year, significant floods can also be observed, which significantly exceed the runoff of the watershed period, and can cause floods of various scales. The spatial and temporal variability of the maximum runoff of the rivers of the studied basin has a significant impact on the fields of economy, water supply, hydropower, as well as on the life and safety of people, and therefore requires a comprehensive approach and the adoption of appropriate measures to minimize losses. The data of stationary observations at 17 hydrological posts for the period from the beginning of observations to 2015 were used as the initial information. including. The paper defines the homogeneity of the time series of observations of the maximum runoff of spring and rain floods, as well as analyzes the cyclicity of fluctuations in the maximum runoff and selected phases of water. Calculations of statistical parameters were carried out in accordance with current regulatory documents using the method of moments and maximum likelihood. Water consumption and runoff layers with a rare probability of exceedance for the period of spring and rain floods are calculated according to the three-parameter gamma distribution distribution of S. Krytskiy – M. Menkel. The comparison of the calculated characteristics of the maximum runoff of the rare probability of exceedance with the maximum observed showed a good convergence of the corresponding values, which, taking into account the accuracy of the initial information, allows the use of the obtained results in further calculations. *Key words:* maximum flow, climate changes, Vistula, rain floods, spring irrigation.

**Постановка проблеми.** Вісла – найбільша річка, що впадає в Балтійське море. Вона бере свій початок у Західних Бескидах в Польщі від злиття Чорної та Білої Вісли і впадає у Гданську затоку. Басейн р. Вісли на території України розташований у межах Львівської та Волинської областей, а його площа в межах України становить 12892 км<sup>2</sup>, що становить 2,13% території держави і налічує 3112 річок, загальна довжина яких складає 7356 км [1]. На території України басейн р. Вісла представлений двома суббасейнами – р. Західний Буг та р. Сян, на тери-

торії яких періодично виникають повені внаслідок паводків різного походження.

Перші історичні відомості про паводки у басейні р. Вісла знаходять у різноманітних архівах та літописах від 988 року. Кількість друкованих джерел, що збереглися, суттєво збільшилося на початку XVI сторіччя, а з початку XIX сторіччя велике розповсюдження набула картографічна інформація про масштаби паводків. Дослідженню цих джерел присвячені роботи вчених університету імені Яна Казимира (Львівський державний університет

ім. Івана Франка) [2, 3]. Починаючи з 1919 року за вимірювання кількості опадів, рівнів води та дослідження паводків відповідав Інститут Гідрології та Метеорології (згодом – Інститут Метеорології та Водного Управління Польщі). Найбільш повно історія вивчення паводків і водопіль у всьому басейні р. Вісла описана в роботах [4, 5].

В українській частині басейну р. Вісла затоплення внаслідок паводків різного походження також є серйозною проблемою, яка потребує комплексного підходу і прийняття відповідних мір для мінімізації збитків. Так, наприклад, аналіз затоплень в українській частині басейну р. Вісла показує, що за період з 1987 по 2010 роки спостерігалось 67 затоплень, в його дослідженні також представлені масштаби та наслідки затоплень [6].

**Актуальність дослідження.** В період кліматичних змін, які за дослідженнями провідних українських вчених-гідрологів, почали активно впливати на стік річок України з 1989 р. [7], представляє безумовний науковий і практичний інтерес дослідження процесів формування максимального стоку та визначення просторового та часового розподілу його чисельних характеристик. Отримані максимальні витрати води та шари стоку 1%-ої ймовірності перевищення, тобто ті що можуть спостерігатися один раз на 100 років, можуть бути в подальшому використані для визначення територій, що мають потенційно значні ризики затоплення, а також для побудови карт загроз та ризиків затоплення.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Дане дослідження виконане в межах науково-дослідної тематики кафедри гідрології суші Одеського державного екологічного університету «Гідрологічний і гідрохімічний режими річок України в сучасних умовах водокористування і зміни клімату» (№ держреєстрації 0123U101578), та відповідає пріоритетному напрямку наукових досліджень «Раціональне природокористування».

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Одними з перших досліджень басейну р. Вісла в межах України, а саме її притоки р. Західний Буг, слід відзначити роботи К.І. Геренчука [8, 9], в яких наведено фізико-географічне районування значної території басейну в межах Львівської та Волинської областей.

Важливий внесок у вивченні водотоків і водойм басейну р. Західний Буг складають роботи О.М. Маринича [10] (Українське Полісся). Результати дослідження водойм, лімно-географічні характеристики озер Волинської області наведені в роботах Я.О. Мольчака і Л.В. Ільїна [11, 12].

Дослідженню максимального стоку в басейні р. Західний Буг та формуванню дощових паводків в басейні р. Вісла в межах України присвячені роботи В.О. Розлач та М.М. Соседко [13].

Характеристика водного, льодового, термічного режиму та стоку наносів була виконана

В.К. Хільчевським та І.П. Ковальчуком [14]. В роботі В.І. Вишневецького та О.О. Косовця [15] наведені дані про характерні рівні та витрати води за деякими гідрологічними постами включно по 2000 р.

Аналізуючи публікації останніх років серед закордонних вчених, перш за все необхідно відмітити масштабне дослідження часових трендів у рядах максимального стоку річок Європи [16, 17]. Згідно з цими роботами, для басейну р. Вісла спостерігається стійкий тренд до більш ранніх дат формування максимального річкового стоку.

Ю. Дідовець у своєму дисертаційному дослідженні та подальших роботах [18, 19] займався оцінкою впливу зміни клімату на водні ресурси в басейнах Тетерева, Самари та Західного Бугу до кінця століття. Аналізу результатів оцінки впливу зміни клімату на річковий стік досліджуваних рівнинних річкових басейнів виконувався з використанням 7 кліматичних сценаріїв з проекту IMPRESSIONS, які створено на основі двох РТК (РТК 4.5 та РТК 8.5) та п'яти МЗЦАО. Для трьох досліджуваних басейнів результати різняться в залежності від групи сценаріїв та показують широке поле невизначеності для сценаріїв високого та середнього рівнів. Тим не менш, зміни в сезонній динаміці водного стоку досить схожі для всіх періодів, що розглядалися – весняне водопілля настає раніше у зв'язку з підвищенням температури та більш раннім таненням снігу. Досить стійкою тенденцією є збільшення стоку рік у зимовий період, і більшість сценаріїв показують потенційне зменшення стоку річок навесні.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Дослідження динаміки та просторового розподілу величин максимального стоку річок є задачею, яка потребує постійного моніторингу та ретельного вивчення, враховуючи потенційну небезпеку, яку може завдати шкідлива дія вод під час проходження паводків різного генетичного походження. В період кліматичних змін ймовірність появи екстремально високих паводків збільшується, тому необхідно постійно доповнювати існуючу базу спостережень сучасними даними та їх аналізом.

**Новизна** представленого дослідження полягає у тому, що вперше для басейну р. Вісли в межах України на сучасних вихідних даних з періодом спостережень від їх початку до 2015 року включно, комплексно проаналізовані розрахункові характеристики паводків і водопіль, їх циклічність та однорідність у часі.

**Методологічне значення** пропонованої роботи полягає в удосконаленні статистично-генетичного аналізу гідрологічних характеристик максимального стоку річок.

**Викладення основного матеріалу.** Дослідження просторової та часової мінливості характеристик максимального стоку проведене за матеріалами періодичних видань гідрологічної інформації по

17 гідрологічних постах за період від початку спостережень по 2015 рік [20, 21]. Схема розташування гідрологічних постів представлена на рис. 1.

Відомо, що у багатьох випадках впродовж всього періоду спостережень, який рідко складає більше 100 років, можлива зміна умов формування стоку внаслідок водогосподарських перетворень, кліматичних змін та інших факторів. В таких випадках доцільно виконати аналіз статистичної однорідності вихідних стокових рядів. Для перевірки гіпотези про статистичну однорідність двох рядів даних, які підлягають нормальному закону розподілу, в гідрології широко використовуються параметричні критерії Стьюдента та Фішера-Снедекора, наряду з непараметричними критеріями, які засновані на порівнянні

емпіричних кривих розподілу, наприклад критерій Вілкоксона [22, 23].

Оцінка однорідності проводилась окремо для максимальних витрат води та шарів стоку весняного водопілля та аналогічних характеристик дощових паводків. Слід також відмітити, що для рядів тривалістю менше 20 років розрахунки не виконувались. За результатами аналізу однорідності характеристик максимального стоку басейну р. Вісла в межах України побудовані відповідні діаграми (рис. 2).

З рис. 2 видно, що 52 рядів даних лише 12 є неоднорідними, тобто однорідні 72%. Також, однорідність рядів даних більша для періоду дощових паводків (84%) ніж для періоду весняного водопілля (69%).

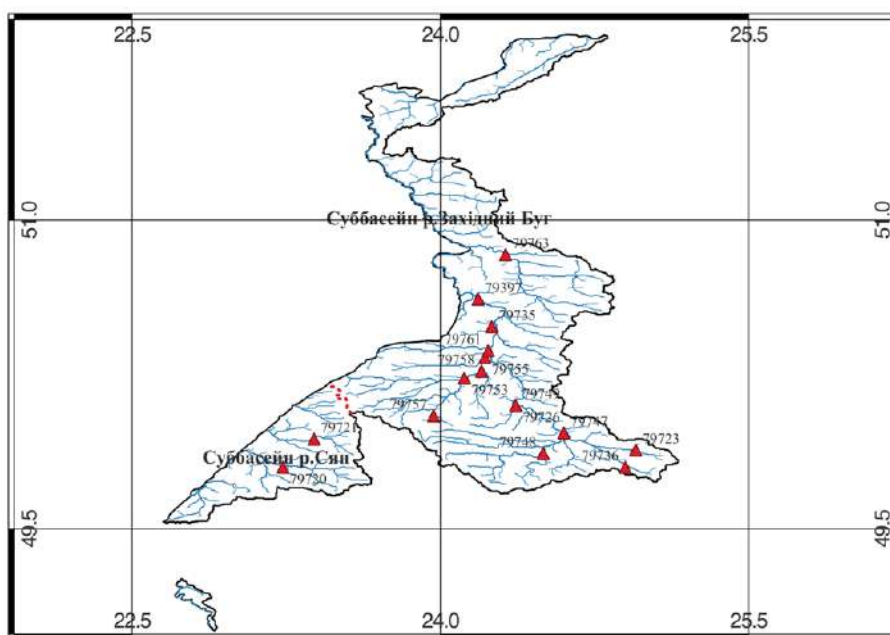


Рис. 1. Карта-схема розташування гідрологічних постів у басейні р. Вісли в межах України

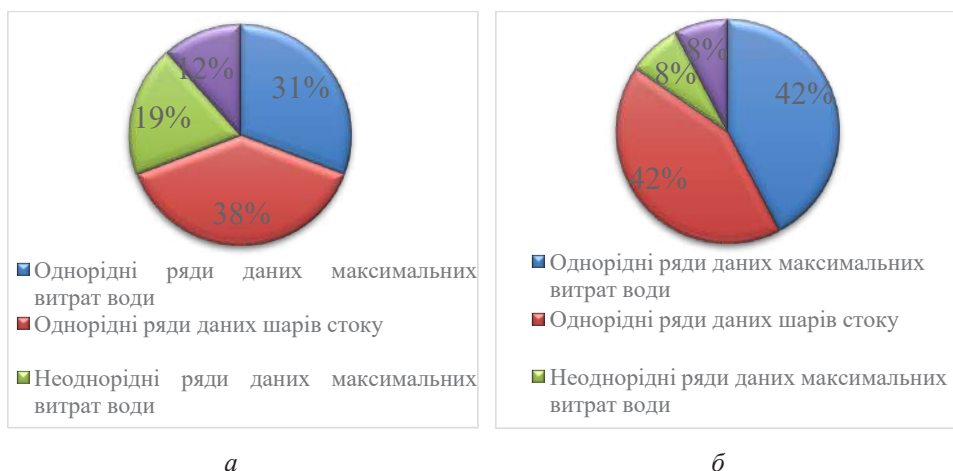


Рис. 2. Розподіл однорідних і неоднорідних рядів даних витрат води та шарів стоку за період весняного водопілля (а) та дощових паводків (б) басейну р. Вісла у межах України

З рис. 3 видно, що гідрологічні пости, на яких спостерігається спадаючий тренд водності розташовані у південно-східній частині басейну. Пости зі зростаючим трендом водності відмічені у центральній та південно-західній частині (суббасейн Сяну).

Наступним етапом аналізу часових рядів максимального стоку на розглядуваній території стало дослідження його циклічності. Для цього можливо використовувати різні методи – хронологічні гра-

фіки, метод лінійної фільтрації, сумарні та різницево-інтегральні криві. Останні добре себе зарекомендували для виділення маловодних та багатоводних років та циклів водності в цілому.

Для визначення синхронності коливань характеристик максимального стоку, таких як максимальні витрати води і шари стоку, були побудовані осереднені різницево-інтегральні криві окремо для весняного водопілля і дощових паводків (рис. 4–5).

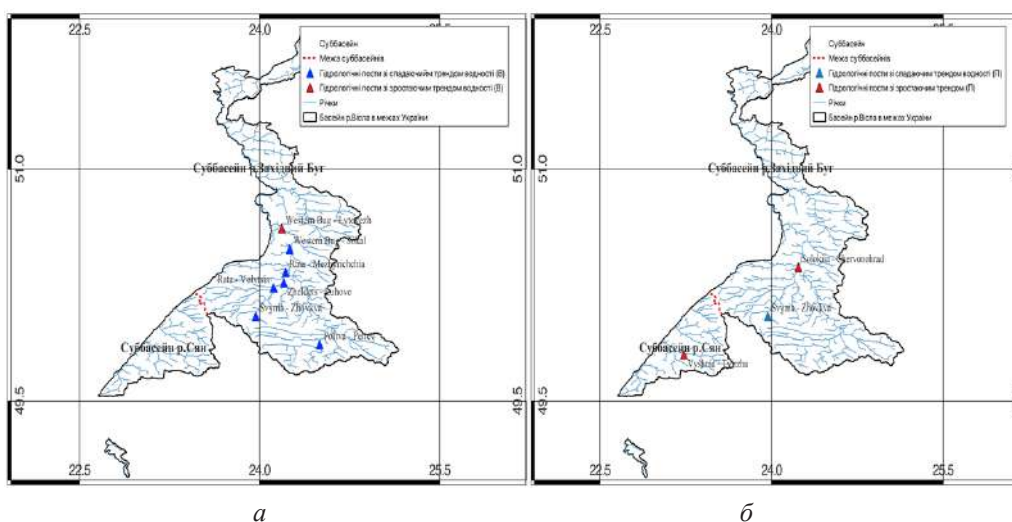


Рис. 3. Розташування гідрологічних постів з різнонаправленими трендами водності під час весняних водопіль (а) та дощових паводків (б)

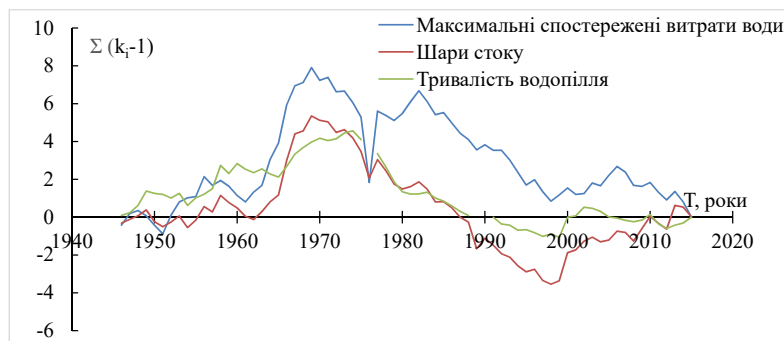


Рис. 4. Осереднені різницево-інтегральні криві витрат води та шарів стоку весняного водопілля річок басейну р. Вісла

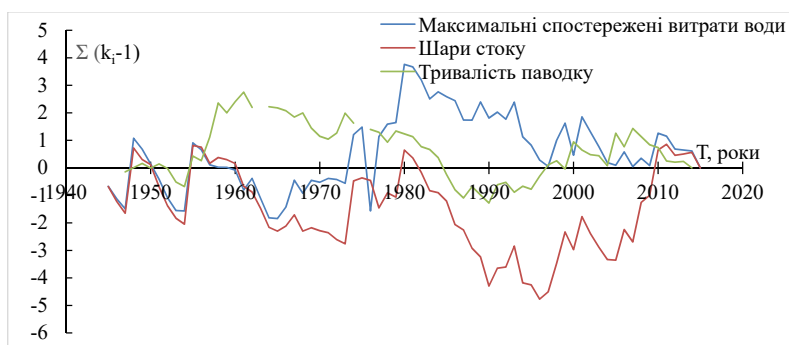


Рис. 5. Осереднені різницево-інтегральні криві витрат води та шарів стоку дощових паводків річок басейну р. Вісла

За осередненими різницево-інтегральними кривими витрат води та шарів стоку виділені фази водності для весняного водопілля та дощових паводків (табл. 1).

Аналізуючи в цілому циклічність максимального стоку в басейні р. Вісла, можна відмітити, що починаючи з 1980-х років і до тепер має місце тривала маловодна фаза як для паводків так й для весняних водопіль. На фоні загального спадаючого тренду, в окремі роки спостерігались нетривалі підйоми, які тим не менш загальну тенденцію до зменшення стоку не змінили. Цікавим також є той факт, що шари стоку з середини 1990-х років мали тенденцію до

зростання, яка потім все ж також змінилась на протилежну, й у 2010–2015 рр. знову відмічається спадаючий тренд. Таку розбіжність у циклічності витрат та шарів стоку можна пояснити тим, що змінився характер гідрографів паводків, тобто його підстава стала більш розтягнутою у часі, отже шари стоку в результаті мають тенденцію до зростання.

Останнім етапом розрахунків стало визначення максимальних витрат та шарів стоку заданої ймовірності перевищення. З цією метою виконана стандартна статистична обробка, згідно з рекомендаціями [24], а її результати представлені табл. 2 та 3. Як видно з цих таблиць, в якості розрахункових

Таблиця 1

## Фази водності весняного водопілля і дощових паводків в басейні р. Вісла (в межах України)

Фаза водності	Весняне водопілля		Дощові паводки	
	Витрати води	Шари стоку	Витрати води	Шари стоку
Багатоводна	1945–1969	1946–1969	1945–1948	1945–1948
Маловодна	1970–1979	1970–1988	1949–1954	1949–1954
Багатоводна	1980–1982	1989–2013	1955–1956	1955–1956
Маловодна	1983–1998	2014–2015	1957–1965	1957–1973
Багатоводна	1999–2006		1966–1980	1974–1980
Маловодна	2007–2015		1981–1997	1981–1996
Багатоводна			1998–2001	1997–2001
Маловодна			2002–2009	2002–2005
Багатоводна			2010–2011	2006–2011
Маловодна			2012–2015	2012–2015

Таблиця 2

Розрахунок максимальних витрат (при  $C_s = 3,0 C_v$ ) та шарів стоку дощових паводків (при  $C_s = 2,5 C_v$ ) забезпеченістю  $P=1\%$  в басейні р. Вісла в межах України

№ з/п	Річка-пост	$F$ , км <sup>2</sup>	$\bar{Q}_m$ , м <sup>3</sup> /с	$C_v$	$K_{1\%}$	$\bar{Q}_{1\%}$ , м <sup>3</sup> /с	$\sigma Q_{1\%}$	$Y_m$ , мм	$C_v$	$K_{1\%}$	$Y_{1\%}$ , мм	$\sigma Y_{1\%}$		
1	р. Вишня – с. Твіржа	562	28,4	0,82	4,05	115	15,1	17,3	0,89	4,28	74,0	16,6		
2	р. Шкло – м. Яворів	236	9,15	0,78	3,87	35,4	26,7	13,5	0,99	4,73	64,0	33,5		
3	р. Західний Буг – смт. Сасів	107	5,92	1,31	6,31	37,4	22,1	25,7	0,96	4,60	118	17,6		
4	р. Західний Буг – м. Кам'янка-Бузька	2350	50,5	0,82	4,05	205	15,0	18,6	0,81	3,91	73,0	14,5		
5	р. Західний Буг – м. Сокаль	6250	86,9	1,16	5,61	488	31,6	15,5	1,74	8,40	130	40,8		
6	р. Золочевка – с. Золочевка	90,0	7,00	0,52	2,74	19,2	33,9	11,6	0,74	3,60	42,0	44,9		
7	р. Західний Буг – с. Литовеж	6740	81,8	0,70	3,50	286	18,0	14,0	0,88	4,23	59,0	20,7		
8	р. Полтва – м. Буськ	1440	29,2	0,69	3,46	101	13,5	15,8	0,76	3,69	58,0	13,9		
9	руч. Каменка – м. Каменка-Бугская	141	5,62	1,00	4,87	27,3	41,6	17,4	1,42	6,81	119	50,7		
10	р. Рата – с. Волиця	1140	26,2	0,73	3,64	95,5	15,0	12,8	0,75	3,64	46,0	15,1		
11	р. Рата – с. Межиріччя	1740	37,0	0,92	4,50	167	17,4	13,3	0,82	3,96	53,0	16,2		
12	р. Свиня – м. Жовква (м. Нестерів)	98,6	3,71	0,81	4,00	14,8	15,8	9,12	0,96	4,60	42,0	17,8		
13	р. Желдець – с. Лугове	246	9,32	1,06	5,15	48,0	26,9	14,1	1,14	5,45	77,0	29,3		
14	р. Солокія – м. Червоноград	931	12,6	0,70	3,50	44,0	16,3	11,8	0,94	4,50	53,0	19,6		
15	р. Луга – м. Володимир-Волинський	1270	9,08	0,64	3,24	29,4	17,4	9,22	0,85	4,09	38,0	20,5		
16	р. Полтва – с. Пельтев	725	19,0	0,88	4,32	81,9	30,1	12,3	0,91	4,37	54,0	30,3		
								$\overline{\sigma Q_{1\%}} \pm 22,3\%$					$\overline{\sigma Y_{1\%}} \pm 25,1\%$	



Таблиця 3

Розрахунок максимальних витрат (при  $C_s = 2,0C_v$ ) та шарів стоку весняного водопілля (при  $C_s = 1,5C_v$ ) забезпеченістю  $P=1\%$  в басейні р. Вісла в межах України

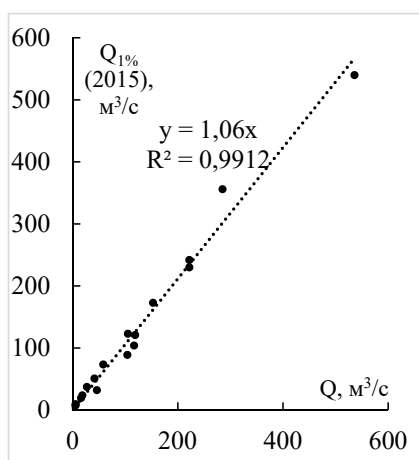
№ з/п	Річка-пост	$F, \text{км}^2$	$\bar{Q}_m, \text{м}^3/\text{с}$	$C_v$	$K_{1\%}$	$Q_{1\%}, \text{м}^3/\text{с}$	$\sigma Q_{1\%}$	$Y_m, \text{мм}$	$C_v$	$K_{1\%}$	$Y_{1\%}, \text{мм}$	$\sigma Y_{1\%}$
1	р. Вишня – с. Твіржа	562	34,8	0,76	3,54	123	13,1	49,0	0,70	3,11	152	12,7
2	р. Шкло – м. Яворів	236	9,83	0,82	3,80	37,3	25,2	27,8	0,56	2,62	72,8	20,6
3	р. Західний Буг – смт. Сасів	107	6,19	1,13	5,19	32,1	15,6	64,3	0,56	2,62	168	10,8
4	р. Західний Буг – м. Кам'янка-Бузька	2350	75,3	0,64	3,05	230	11,6	49,0	0,54	2,56	125	10,3
5	р. Західний Буг – м. Сокаль	6250	153	0,76	3,54	540	18,6	44,5	0,81	3,53	157	19,0
6	р. Золочевка – с. Золочевка	90,0	2,22	0,94	4,33	9,60	49,0	43,5	0,44	2,22	96,6	29,8
7	р. Західний Буг – с. Литовеж	6740	115	0,65	3,09	356	15,8	39,1	0,62	2,83	111	15,5
8	р. Полтва – м. Буськ	1440	41,4	0,61	2,93	121	10,9	44,9	0,53	2,52	113	10,2
9	руч. Каменка – м. Каменка-Бугская	141	9,08	0,53	2,62	23,8	21,2	48,2	0,64	2,90	140	24,5
10	р. Рага – с. Волиця	1140	43,5	0,86	3,97	173	13,9	43,2	0,72	3,19	138	13,0
11	р. Рага – с. Межиріччя	1740	61,0	0,86	3,97	242	13,9	41,5	0,72	3,19	132	13,0
12	р. Свиня – м. Жовква (м. Нестерів)	98,6	4,56	0,93	4,28	19,5	15,6	31,6	0,75	3,30	104	13,3
13	р. Желдець – с. Лугове	246	13,7	0,80	3,71	51,0	17,0	37,9	0,78	3,41	129	17,2
14	р. Солокія – м. Червоноград	931	21,2	0,91	4,20	89,0	15,4	37,7	0,78	3,41	128	14,8
15	р. Луга – м. Володимир-Волинський	1270	20,6	1,10	5,05	104	18,8	26,9	0,67	3,01	80,8	13,9
16	р. Полтва – с. Пельтев	725	31,1	0,46	2,37	73,6	14,6	54,0	0,45	2,26	122	15,2
17	р. Холоевка – х. Бирок	46,0	2,42	0,64	3,05	7,39	26,3	49,2	0,50	2,42	119	22,2
$\sigma Q_{1\%} \pm 18,6\%$								$\sigma Y_{1\%} \pm 16,2\%$				

представлені характеристики максимального стоку 1%-ої забезпеченості, тобто ті які можуть бути перевищені не більше ніж 1 раз у 100 років. На рис. 6 та 7 представлено порівняння отриманих величин з максимальними спостереженими за весь період, їх аналіз показує добру збіжність між розрахунковими та спостереженими величинами. Так для весняного водопілля розрахункові величин в середньому вище за спостережені на 6%, а для дощових паводків – на

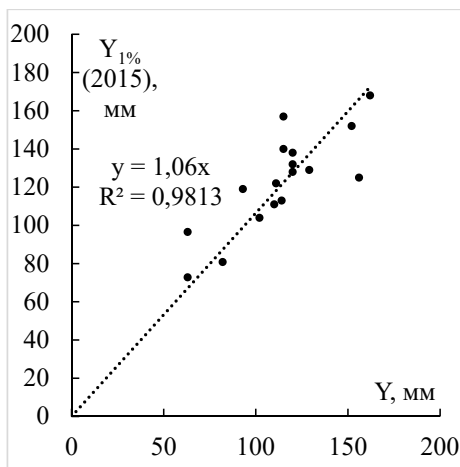
15–16%, однак враховуючи точність вихідної інформації, яка представлена в табл. 2 та 3, такий результат можна вважати задовільним та рекомендувати отримані параметри для практичного використання при гідротехнічному проектуванні.

**Головні висновки:**

– басейн р. Вісла займає незначну територію в Україні, але стік його річок відіграє важливу роль у економіці західного регіону. На жаль, періодично

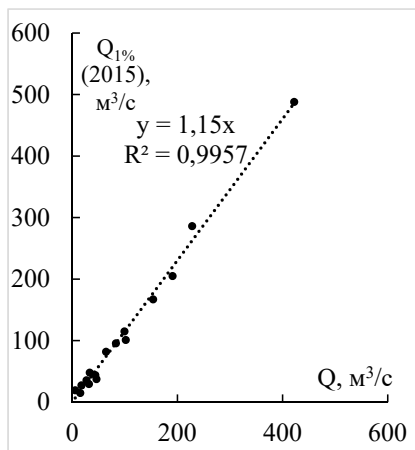


а

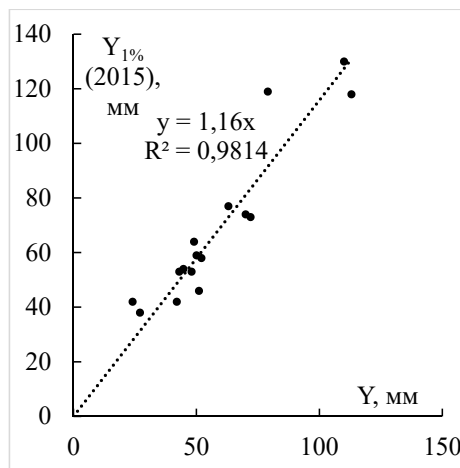


б

Рис. 6. Порівняння розрахованих витрат води (а) та шарів стоку (б) 1%-ї забезпеченості весняного водопілля з максимальними спостереженими



а



б

Рис. 7. Порівняння розрахованих витрат води (а) та шарів стоку (б) 1%-ї забезпеченості дощових паводків з максимальними спостереженими

виникаючі повені, внаслідок весняного водопілля та дощових паводків, завдають збитків суб'єктам господарювання регіону, а іноді можуть призводити до жертв серед його населення;

– дослідження максимального стоку річок розглядуваного регіону є актуальною науково-практичною задачею, яка набуває ще більшого значення в зв'язку зі змінами клімату, що відбуваються;

– гідролого-генетичний аналіз часових рядів максимального стоку в басейні р. Вісла в межах України показав, що більшість з них (72%) однорідні у часі; що стосується просторового розподілу виявлених неоднорідних рядів, то гідрологічні пости, на яких спостерігається спадаючий тренд водності розташовані у південно-східній частині басейну, пости зі зростаючим трендом водності відмічені у центральній та південно-західній частині (суббасейн Сяну);

– циклічність коливань максимального стоку річок басейну Вісли характеризується тривалою маловодною фазою, починаючи з 1980-их років, що підтверджує дослідження провідних українських вчених-гідрологів стосовно початку впливу кліматичних змін на стік річок України з 1989 року;

– в результаті дослідження отримані розрахункові величини максимальних витрат води та шарів стоку 1% ймовірності перевищення під час проходження весняного водопілля та дощових паводків.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Отримані результати будуть використані при подальшому виконанні науково-дослідної тематики кафедри гідрології суші ОДЕКУ, а також є складовою дисертаційного дослідження Мартинюка М.О.

### Література

1. Забокрицька М. Р., Хільчевський В. К. Західний Буг. Енциклопедія сучасної України / ред. рада: І.М. Дзюба (гол.) та ін.; НАН України, НТШ. Київ: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2001–2022.
2. Walawender, A. Kronika klks elementarnych w Polsce i w krajach ssiednich w latach 1450–1586. I. Zjawiska meteorologiczne i pomory (z wykresami) (Chronicle of elemental disasters in Poland and in neighbouring countries in the years 1450–1586. I. Meteorological phenomena and blights (with graphs), in Polish). Badania z Dziejów Spoecznych i Gospodarczych, nr. 10, Lwów, 1932.
3. Szewczuk, I. Kronika klks elementarnych w Galicji w latach 1772–1848 (Chronicle of elemental disasters in Galicia in 1772–1848, in Polish). Badania z Dziejów Spoecznych i Gospodarczych, nr. 35, Lwów, 1938.
4. Bielaski, A. K. Materiay do historii powodzi w dorzeczu górnej Wisy (Materials on the history of floods in the Upper Vistula Basin, in Polish). Monografia Politechniki Krakowskiej im. T. Kociuszki no 217, Kraków, 1997.
5. Cyberski J., Grzes M., Gutry-Korycka M., Nalchik E. & Kundzewicz Z. W. History of floods on the River Vistula, Hydrological Sciences Journal, 2006, 799–817 pp.
6. План управління ризиками затоплення на окремих територіях у межах району басейну річки Вісла на 2023–2030 роки. Затверджено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 жовтня 2022 р. № 895-р / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/895-2022-p#Text> (дата звернення: 23.05.2023).
7. Н. С. Лобода, Ю. В. Божок. Вплив кліматичних змін на водні ресурси Північно-Західного Причорномор'я у сценарних умовах (за RCP4.5 та RCP8.5). Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, Т. 2, 2016. С. 48–58.
8. Геренчук К.І. Природа Волинської області. Вид.во Львів. Ун-ту, 1975. 147 с.
9. Хільчевський В.К., Гребінь В.В. Гідрографічне та водогосподарське районування території України, затверджене у 2016 р.–реалізація положень ВРД ЄС. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2017. № 1(44). С. 8–20.
10. Маринич А.М. Українське Полісся. К.: Радянська школа, 1962. 163 с.

11. Ільїн Л.В., Мольчак Я.О. Озера Волині. Лімно-географічна характеристика. Луцьк: Вид-во «Надстир'я», 2000. 149 с.
12. Мольчак Я.О., Ільїн Л.В. Озерні ресурси Волині. Український географічний журнал, № 4, 1994. С. 45–50.
13. Дутко, В. О., Сосєдко, М. М. Из досвіду ідентифікації параметрів математичної моделі дощового стоку в залежності від орографії місцевості. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, (3), 2011. С. 73–80.
14. Ковальчук І.П., Хільчевський В.К. Гідроекологічні проблеми Поліського регіону. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, Т. 5, 2003. С. 179–194.
15. Вишневецький В.І., Косовець О.О. Гідрологічні характеристики річок України. К., 2003. 324 с.
16. Bloschl, G, Hall, J, Parajka, J, Perdigo, RAP, Merz, B, Arheimer, B & Kjeldsen, T. Changing climate shifts timing of European floods, *Science*, vol. 357, no. 6351, 2017. pp. 588–590.
17. Blöschl, G., Hall, J., Viglione, A. et al. Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature* 573, 2019. pp. 108–111.
18. Didovets, I.; Lobanova, A.; Bronstert, A.; Snizhko, S.; Maule, C.F.; Krysanova, V. Assessment of Climate Change Impacts on Water Resources in Three Representative Ukrainian Catchments Using Eco-Hydrological Modelling. *Water* 2017, 9. P. 204.
19. Didovets I., Bronstert A., Snizhko S., Balabukh V., Krysanova V., 2019. Climate change impact on regional floods in the Carpathian region. *Journal of Hydrology: Regional Studies*.
20. Державний водник кадастр. Багаторічні дані про режим та ресурси поверхневих вод суші (за 1981–2000 рр. та весь період спостережень), Вип. 1, ч. 1. Річки. Басейни Західного Бугу, Дунаю, Дністра, Південного Бугу. Київ: центральна геофізична обсерваторія, 2008
21. Державний водник кадастр. Щорічні дані про режим та ресурси поверхневих вод суші. Ч.1. Річки і канали. Витрати води Т. II, Вип. 1 Басейн Західного Бугу, Дунаю, Дністра, Південного Бугу. Київ: центральна геофізична обсерваторія.
22. Riggs, Henry Chiles. Some statistical tools in hydrology. US Government Printing Office, 1968.
23. Wilcoxon, Frank. "Individual Comparisons by Ranking Methods." *Biometrics Bulletin*, vol. 1, no. 6, 1945, pp. 80–83.
24. Гопченко Є.Д., Лобода Н.С., Овчарук В.А. Гідрологічні розрахунки: підручник. Одеса: ТЕС, 2014. 484 с.

## ГІДРОЛОГО-ГІДРОХІМІЧНИЙ РЕЖИМ РІЧКИ САМАРИ З УРАХУВАННЯМ ЇЇ АНТРОПОГЕННОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ

Сердюк С.М., Довганенко Д.О.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

вул. Казакова, 22, 49107, м. Дніпро

semicvetik25@i.ua, dovhabenko\_d@if.dnu.edu.ua

Стаття присвячена нормуванню гідролого-гідрохімічних характеристик р. Самара. Використано стандартизований підхід оцінки стоку річки за наявності повного ряду спостережень. Підтверджено значну мінливість стоку річок басейну р. Самари. Збільшення варіативності відбувається з північного сходу на південний захід. На фоні асиметричного збільшення варіативності стоку виявлено виражену рівномірність розподілу стоку з наростанням площі басейну. З'ясовано, що стік річки знаходиться на фазі підвищення водності. Переважаючим типом води річки є хлоридно-сульфатна кальцієво-магнієво-натрієва. За мінералізацією води відносяться до солонуватих. Переважання катіону  $\text{Na}^+$  та аніонів  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  у поверхневих водах р. Самари пов'язано з особливостями хімічного складу четвертинних відкладів. Басейн річки розташований у степовій зоні, для якої характерна трансформація іонного складу на сульфатно-хлоридно-натрієвий. Води в річці Самара за ІЗВ та ІЗВ\* за останню декаду залишаються помірно забрудненими. За критеріями іонного складу вода річки належить до сульфатного класу, групи натрію, тип II (індекс  $S_{II}^{\text{Na}}$ ). За хлоридами якість води (за ступенем їх чистоти) в р. Самар відноситься до III класу 4 категорії (слабко забруднені), а за сульфатами – V клас 7 категорії (дуже брудні). За трофо-сапробіологічними критеріями води р. Самара відносяться до III класу 4 та 5 категорій – слабо та помірно забруднені. За категорією трофності – евтрофні. Для цих поверхневих вод характерно антропогенне забруднення за рахунок збагачення поверхневих вод речовинами біогенного походження (особливо азотом і фосфором). Серед забруднюючих специфічних речовин виділено: залізо загальне, мідь, цинк, марганець, СПАР, хром. За цією групою показників води р. Самара характеризуються як слабо забруднені. *Ключові слова*: норма стоку, хімічний склад, якість води, індекс забрудненості води, узагальнений екологічний індекс.

**Hydrological and hydrochemical regime of the Samar river and considering its anthropogenic transformation. Serdiuk S., Dovganenko D.**

The article is devoted to the normalization of hydrological and hydrochemical characteristics of the Samara river. A standardized approach to estimating river runoff in the with a full range of observations is used. High variability of river flow of the Samara river basin is confirmed. The increase in variation occurs from the northeast to the south-west. Against the background of an asymmetric increase of  $C_v$ , an equality of runoff distribution with the growth of the basin square was revealed. It was found that the river runoff is on the rise phase. The type of river water is chloride-sulfate calcium-magnesium-sodium. According to mineralization, the river water related to medium salinity level. Domination of cation  $\text{Na}^+$  and anion,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  in the Samara river is linked with the composition of the quaternary sediments. The watershed of the river is placed in the steppe zone, where the Ion Class exchange on sulfate-chloride-sodium. For the last decade, the Water Contamination Index (WCI) for Samara River have remained moderately contaminated. According to the criteria of ion classes the river water lies in the sulfate class, group sodium, type II (index,  $S_{II}^{\text{Na}}$ ). According to the chlorides concentration, the quality of water (with the degree of their purity) in the river Samar belongs to the III class 4-th category (medium contamination), and with sulfates – V-th class 7-th category (very contaminated). According to the saprobic criteria the Samara River, lies to III class, 4 and 5 categories – moderate and relatively low polluted. According to the trophic criteria – eutrophic. Main anthropogenic pollution is due to the saturation the surface water with substances of biogenic origin (especially nitrogen and phosphorus). Among the polluting specific substances: ferrum, copper, zinc, manganese, SSAS, chromium are highlighted. With this group of parameters, the Samara River a low polluted level is being characterized. *Key words*: hydrological and hydrochemical regime, suitability of water for household-drinking, technical purposes and for irrigation, geoeological consequences.

**Постановка проблеми.** Сучасний нестабільний стан екосистем Самари та її приток зумовлений інтенсивним довготривалим антропогенним впливом. Початок трансформації відбувся після створення Запорізького вдсх. та спорудження Дніпрогесу: у нижній течії відбулася деградація типово річкових, реофілних біотопів і, відповідно, угруповань гідробіонтів, з одночасним розвитком комплексу лімнофілних видів [1]. Інтенсифікація сільськогосподарського виробництва, розвиток різногалузевої промисловості призвели до евтрофікації річок по всій течії, їх обміління, падіння рівня біологічного різноманіття особливо в місцях над-

ходження стічних вод. Наймогутніший трансформаційний вплив пов'язаний з вугледобуванням та скидом шахтних вод (40% балансових запасів вугілля залягають під заплавою р. Самари та 11 приток) [2]. По руслу р. Самара та її приток р. Бик, Водяна і р. Гнілуша здійснюється скид шахтних вод з шахт Центрального Донбасу. В басейні річок Водяна і Гнілуша розташовано 4 відстійника шахтних вод площею 120 га. Значні скиди шахтних вод з шахт Західного Донбасу здійснюються по балках Свідовок, Таранова і Косьминна. Тут побудовано 3 водосховища-накопичувача шахтних вод площею 320 га і об'ємом 11,3 млн. м<sup>3</sup> [2, 3, 4].

Що стосується безпосередньо техногенного впливу в межах басейну р. Самара, то для потреб господарства щорічно використовується 258 млн. м<sup>3</sup> води, в тому числі промисловістю 62,4 млн. м<sup>3</sup>, сільським господарством 176,6 млн. м<sup>3</sup>, житлово-комунальним господарством 18,54 млн. м<sup>3</sup>. Щорічно в річку Самара скидається 295 млн. м<sup>3</sup> стічних вод, в тому числі: забруднених – 210 млн. м<sup>3</sup>. Найбільшими забруднювачами басейну є КП «Новомосковськ водоканал», ВО «Павлоградвугілля», ВО «Селидоввугілля», ДРЕС м. Курахове, шахтоуправління «Жовтневе», виробниче управління водно-каналізаційного господарства, а також фільтраційні води шахтних горизонтів [5].

Багатофакторність впливу, складне економічне положення в Україні унеможливають своєчасне ефективне вирішення екологічних проблем в басейні р. Самара. Дослідження фіксують посилення екологічної дестабілізації первинних та антропогенно змінених гідроекосистем, ділянки р. Самара та її приток з повною деградацією [2–10]. Саме тому обрана проблематика дослідження є актуальною та потребує детальної розробки та аналізу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В екологічному та гідрологічному відношеннях Самара є доволі вивченою річкою. В різні часи р. Самара була об'єктом таких вчених як Довгаль Л. І., Охотник К. К., Аніщенко О. Л., Оніщенко В. І., Хільчевський В. К., Яцок М.В., Вишневський В. І., Барановський Б. О., Дем'янов В. В. та інші. Дослідження перелічених вчених мали, в цілому, різноплановий характер. Майже всі дослідження, перелічених вчених, висвітлюють стан річки, що формується під впливом видобувної промисловості Західного Донбасу. Частина дослідження [2, 6, 8] висвітлюють проблеми стану біотичної складової екосистеми р. Самари. Так Кочет В. М. та ін. [2, 6] приходять до думки, що поточний режим скидів шахтних вод в річку майже ніяк не впливає на стан бентосних екосистем та іхтіофауни Самари, попри помірний рівень забрудненості води. Хоча в роботі [6] Кочетом В. М. відмічається кількісна зміна у видовому складі іхтіофауни та деградація нерестовищ в гирловій частині річки. Автор не вказує конкретний фактор, що вплинув на це. Зважаючи на висновки авторів цих досліджень, можна стверджувати, що стан біоти річки є цілком задовільним. Проте жодне з наведених досліджень не розкривають проблему накопичення забруднювачів гідробіонтами.

В інших дослідженнях [1, 3, 5, 7, 9, 10, 17, 18] більш детально розкривається стан абіотичної складової аквасистеми річки, а саме формування водного та іонного стоку. Слід відзначити, що у всіх згаданих дослідженнях, висвітлює більше природоохоронний аспект мінливості хімічного складу води в річці, а ніж балансний. Якщо узагальнювати досвід цих досліджень, то загальний алгоритм гідрохі-

мічних та гідроекологічних досліджень вкладається в три основні етапи: аналіз сольового складу; характеристика трофо-сапробіологічних показників; аналіз специфічних речовин токсичної дії. Це цілком вкладається у загальноприйняту практику оцінки якості поверхневих вод [13, 14]. Оцінка показників рідкого стоку, здебільшого, носить допоміжний характер попри безпосередній зв'язок водного та іонного стоку [1, 10, 17, 18].

#### **Матеріал та методика дослідження.**

Теоретичним підґрунтям дослідження були фондові та наукові літературні матеріали, а саме інформація щодо: фізико-географічного положення, ландшафтно-екологічної специфіки та природних умов басейну р. Самара, особливостей антропогенного впливу [17–19]. Гідрологічні ряди – 1957–2021 рр.; гідрохімічні дані – 2009–2021 рр. надані НДІ геології ДНУ, Дніпропетровським регіональним центром з гідрометеорології.

**Гідрологічна оцінка.** Стартовим етапом дослідження гідрологічних величин була перевірка рядів спостережень на гідрологічних постах на однорідність з використанням методів статистики та генетичного аналізу. Нормування гідрологічних характеристик виконувалось згідно СНиП 2.01.14-83 «Визначення розрахункових гідрологічних характеристик» [11]. В басейні річки Самара знаходиться 10 гідрологічних постів (табл. 1).

**Гідрохімічна оцінка.** Хімічний склад поверхневих вод р. Самара визначався по створах: р. Самара – 1 км вище м. Новомосковська; р. Самара – 6 км нижче м. Новомосковська. За класифікацією О. О. Альокіна виділялися класи, групи і типи поверхневих вод [12]. Гідроекологічний стан оцінювався за методикою КНД 211.1.4.010–94 «Екологічна оцінка якості поверхневих вод суші та естуаріїв України» [13]. Визначалися три основних блокових індекси: для забруднення компонентами сольового складу ( $I_1$ ), трофо-сапробіологічного (еколого-санітарного) ( $I_2$ ), специфічними компонентами токсичної дії ( $I_3$ ). Для того щоб простежити тенденцію просторово-часової зміни стану вод річки під впливом антропогенних процесів узагальнення проводили за об'єднаним екологічний індекс ( $I_E$ ). Також розраховувався індекс забрудненості води з врахуванням водності ( $I_{ЗВ}^*$ ), який описує ситуацію із забрудненням води в різні за водністю роки і сезони. Визначалися класи і категорії якості вод [13, 14]. ГДК шкідливих речовин визначалися на основі ДСанПіН 2.2.4-171-10 для об'єктів культурно-побутового водокористування [15].

**Результати та їх обговорення.** Під час перевірки розрахованої величини  $Q_0$  річного стоку відносна середня похибка перевищила 10%. Тому ряд спостережень було збільшено на 64 роки (з 1957 р. по 2021 р.) згідно показників інтегральних кривих. Були використані два різновиди інтегральних кривих. Перший тип було побудовано шляхом додавання відхилень модульних коефіцієнтів ( $K_i$ )

Гідрологічні пости, їхні номери та місцезнаходження

Номер посту	Назва водного об'єкта	Місцезнаходження поста	Площа водозбору, км <sup>2</sup>
99	р. Самара	с. Коханівка	1430
100	р. Самара	м. Павлоград	5460
101	р. Самара	с. Кочеріжки	19800
102	р. Велика Тернівка	с. Богданівка	924
103	р. Вовча	с.мт Васильківка	11600
104	р. Мокрі Яли	х. Грушівський	2660
105	р. Солона	с. Новопавлівка	680
106	р. Гайчур	с. Андріївка	2100
107	р. Мала Терса	с. Троїцьке	750
108	р. Кільчень	Олександрівка I	376

від середнього, другий – з врахуванням коефіцієнта варіації ( $C_v$ ). Було підтверджено репрезентативність вибірок та виявлена загальна тенденція формування водності р. Самара. За результатами обробки інтегральних кривих вдалось виділити шість багатоводних та маловодних угруповань різної тривалості (від 3 до 12 років), що загалом характерно для всіх річок басейну р. Самари. Також було з'ясовано, що на всіх річках окрім р. Солона (пост. р. Солона – с. Новопавлівка) та р. Самара (пост. р. Самара – с. Коханівка) відбувається підвищення водності. На вказаних двох річках спостерігається зниження та асинхронність коливань циклів водності. Нормовані показники стоку річок басейну р. Самари наведені табл. 2. Басейн р. Самара знаходиться в зоні недостатньої зволоженості. Мінливість стоку в межах басейну річки є достатньо високою ( $C_{v_0} = 0,67$ ) в порівнянні з північними ландшафтно-гідрологічними районами. Порівняно з більш ранніми періодами варіативність стоку залишилась сталою. При цьому загальний просторовий розподіл варіативності в межах басейну р. Самари також не зазнав змін по відношенню до загальноукраїнської тенденції в даному районі. Тобто збільшення варіативності відбувається з північного сходу на південний захід. При цьому загальний просторовий розподіл варіативності в межах басейну р. Самари

також не зазнав змін по відношенню до загальноукраїнської тенденції в даному районі.

При цьому загальний просторовий розподіл варіативності в межах басейну р. Самари також не зазнав змін по відношенню до загальноукраїнської тенденції в даному районі. Тобто збільшення варіативності відбувається з північного сходу на південний захід. Водність річок в басейні Самара зменшується у південно-західному напрямку, а збільшується у північно-східному. В центральній частині басейну стік розподіляється відповідно із наростанням площі басейну. Встановлено, що в межах басейну р. Самара середнє значення модулю стоку становить 0,75 л/(с·км<sup>2</sup>), максимальне – 1,59 л/(с·км<sup>2</sup>), мінімальне – 0,042 л/(с·км<sup>2</sup>).

**Гідрохімічна характеристика.** Вихідні дані хімічного складу води р. Самара мають погрішність не більше 5%. Тому всі дані вважаються репрезентативними.

За формулою М. Г. Курлова переважаючим типом води є хлоридно-сульфатна кальцієво-магнієво-натрієва. За класифікацією О. О. Алекіна вода р. Самара відноситься до сульфатного класу, групи натрію, тип II. За мінералізацією води відносяться до солонуватих. Для графічного зображення хімічного складу вод р. Самара використано коло Н. І. Толстїхіна (рис. 1 а, б).

Таблиця 2

Параметри річного стоку річок басейну р. Самара

№ поста	$Q_0$ , м <sup>3</sup> /с	$M$ , л/(с·км <sup>2</sup> ),	$\sigma'Q_0$ , %	$C_v$	$\sigma C_v$ , %
99	1,33	0,93	10	0,75	12
101	14,75	0,74	8	0,61	11
102	0,83	0,9	8	0,65	11
103	8,66	0,75	10	0,76	12
104	1,01	0,38	7	0,59	11
105	1,09	1,59	7	0,54	11
106	1,22	0,58	9	0,75	12
107	0,64	0,85	10	0,84	12
108	0,50	0,042	7	0,58	11

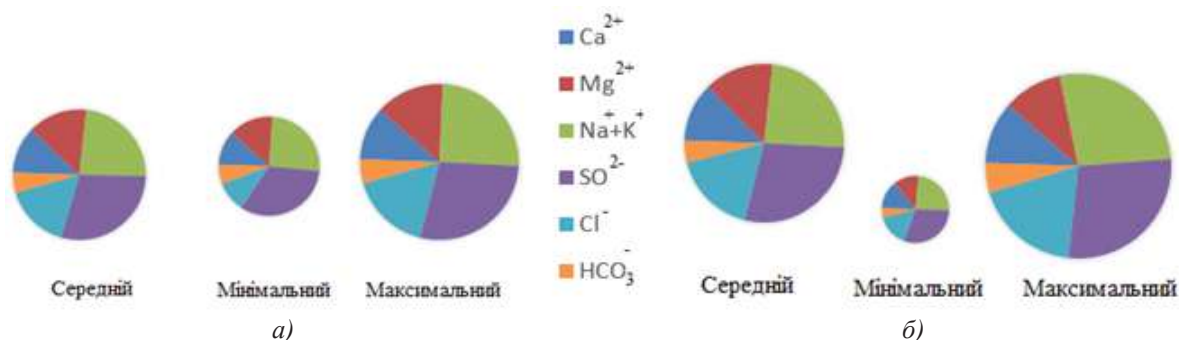


Рис. 1. а) р. Самара – 1 км вище м. Новомосковськ; б) р. Самара – 6 км нижче м. Новомосковськ

При цьому загальний просторовий розподіл варіативності в межах басейну р. Самари також не зазнав змін по відношенню до загальноукраїнської тенденції в даному районі. Тобто збільшення варіативності відбувається з північного сходу на південний захід. Водність річок в басейні Самара зменшується у південно-західному напрямку, а збільшується у північно-східному. В центральній частині басейну стік розподіляється відповідно із наростанням площі басейну. Встановлено, що в межах басейну р. Самара середнє значення модулю стоку становить  $0,75 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$ , максимальне –  $1,59 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$ , мінімальне –  $0,042 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$ .

**Гідрохімічна характеристика.** Вихідні дані хімічного складу води р. Самара мають погрішність не більше 5%. Тому всі дані вважаються репрезентативними.

За формулою М. Г. Курлова переважаючим типом води є хлоридно-сульфатна кальцієво-магнієво-натрієва. За класифікацією О. О. Алекіна вода р. Самара відноситься до сульфатного класу, групи натрію, тип II. За мінералізацією води відносяться до солонуватих. Для графічного зображення хімічного складу вод р. Самара використано коло Н. І. Толстїхіна (рис. 1 а, б).

Значення мінералізації води за останню декаду у створі р. Самара вище м. Новомосковськ становить: середнє –  $3022 \text{ мг}/\text{дм}^3$ , мінімальне –  $2370 \text{ мг}/\text{дм}^3$ , максимальне –  $3550 \text{ мг}/\text{дм}^3$ ; нижче м. Новомосковськ – середнє –  $3184 \text{ мг}/\text{дм}^3$ , мінімальне –  $1289 \text{ мг}/\text{дм}^3$ , максимальне –  $3804 \text{ мг}/\text{дм}^3$ .

Характерним для річкових вод Самари є переважання  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ . Це може бути пов'язано з тим, що басейн річки розташовано у степовій зоні, для якої характерна трансформація іонного складу на сульфатно-хлоридно-натрієвий. Збільшення поверхневого іонного стоку пояснюється вимиванням легкорозчинних солей із ґрунту та гірських порід. В цій зоні фіксується засолення ґрунтового покриву даними іонами [16, 18]. При недостатньому зволоженні в породах і ґрунтах переважають висхідні потоки вологи внаслідок випаровування капілярної смуги ґрунтових вод. За таких умов в товщі сольового обміну в результаті випаровування накопичується велика кількість солей. При цьому в осад переважно

випадають сульфатні солі натрію і кальцію. Вагомий вплив на формування гідрохімічного режиму також надає склад ґрунтових вод. Ґрунтові води сульфатно-кальцієвого і сульфатно-натрієвого складу, а також води хлоридно-сульфатно-натрієвого складу беруть участь у живленні річок басейну Самара та її приток [16, 18].

**Гідроекологічний стан річки.** У виконаному дослідженні за основу взято наступні групи компонентів хімічного складу вод р. Самара: фізико-хімічні показники (рН,  $\text{O}_2$ , біхроматна окиснюваність (БО), БСК<sub>5</sub>); головні іони ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) та мінералізація; біогенні речовини ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{P}_{\text{заг}}$ ); мікроелементи ( $\text{Fe}_{\text{заг}}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$ ); специфічні забруднювальні речовини (СПАР, феноли, фосфати). Під час оцінювання якості води р. Самара речовин I-ого та II-ого класів небезпеки не виявлені. Постійними забруднювачами є феноли,  $\text{P}_{\text{заг}}$ ,  $\text{Fe}_{\text{заг}}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$  (III клас небезпеки) та  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  (IV клас небезпеки). За цими речовинами та показниками  $\text{O}_2$ , БСК<sub>5</sub> вода є непридатною для комунально-побутового використання.

По досліджуваним створам найбільші значення ІЗВ зафіксовані в період з 2009 по 2013 рр. Забрудненими (IV клас) води річки були у 2009–2011 рр. у створі 6 км нижче м.Новомосковськ та у 2010–2011 рр. по обом досліджуваним створам. З 2014–2021 рр. відзначається поліпшення екологічного стану. Загалом якість річкових вод можна охарактеризувати III класом (помірно забруднені). Показники якості води у створі 6 км нижче м. Новомосковськ гірше, ніж 1 км вище міста, що може бути пов'язано зі значним техногенно-антропогенним навантаженням.

Для більш повного опису гідроекологічної ситуації розраховувався індекс забрудненості води з врахуванням водності (ІЗВ\*). Середньорічні дані витрат води прийняти за найближчим гідрологічним постом, а саме р. Самара – с. Кочеріжки за відповідний період (табл. 3).

Відповідно до розрахунків період підвищеної водності – 2009–2011 рр. (перевищує стік в 1,17 р.). В ці роки стік інгредієнтів-забруднювачів був більш інтенсивним. Це відбилося на показниках якості води. Загалом за ІЗВ\* річкові води відносяться

ІЗВ з врахуванням водності (ІЗВ\*)

Період	1 км вище м. Новомосковськ	6 км нижче м. Новомосковськ	Q <sub>ф</sub>	Q <sub>с</sub>	Коефіцієнт водності (к)
	Клас якості води	Клас якості води			
2009–2011	2,17 (III)	2,69 (III)	17,2	14,74	1,17
2012–2014	1,78 (III)	2,20 (III)	12,0		0,81
2015–2017	1,38 (III)	1,43 (III)	7,73		0,52
2018–2020	1,79 (III)	1,79 (III)	10,1		0,68
2021	1,01 (III)	1,06 (III)	9,22		0,63

до III класу (помірно забруднені) за весь термін дослідження.

Оцінка якості води за показниками сольового складу. Вміст Mg<sup>2+</sup> у водах річки за обома створами коливається від 105,6 мг/дм<sup>3</sup> до 234,4 мг/дм<sup>3</sup>. Середнє значення становить 180,5 мг/дм<sup>3</sup>. Вміст Na<sup>+</sup> у водах річки за обома створами коливається від 419,8 мг/дм<sup>3</sup> до 696,5 мг/дм<sup>3</sup>. Середнє значення становить 551,675 мг/дм<sup>3</sup> (ГДК для культурно-побутового використання 200 мг/дм<sup>3</sup>). Спостерігається перевищення концентрації Na<sup>+</sup> над ГДК. Вміст Ca<sup>2+</sup> у водах річки за обома створами коливається від 198,0 мг/дм<sup>3</sup> до 266,4 мг/дм<sup>3</sup>. Середнє значення становить 224,7 мг/дм<sup>3</sup>. Ca<sup>2+</sup> є домінуючим катіоном для слабкомінералізованих вод, а води р. Самара відносяться до вод високої мінералізації. Тому при зростанні мінералізації вміст даного катіону зменшується. У створі 6 км нижче концентрація вмісту катіонів вища, ніж у створі 1 км вище міста.

Вміст Cl<sup>-</sup> у водах річки за обома створами коливається від 391,3 мг/дм<sup>3</sup> до 654,5 мг/дм<sup>3</sup>. Середнє значення становить 566,8 мг/дм<sup>3</sup> (ГДК для культурно-побутового використання – 350 мг/дм<sup>3</sup>). Спостерігається перевищення концентрації Cl<sup>-</sup> над ГДК. Вміст сульфатів у водах річки за обома створами коливається від 1155 мг/дм<sup>3</sup> до 1440 мг/дм<sup>3</sup>. Середнє значення становить 1315,6 мг/дм<sup>3</sup> (ГДК 500 мг/дм<sup>3</sup>). Спостерігається перевищення концентрації SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> над ГДК. Вміст HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> у водах річки за обома створами коливається від 208,5 мг/дм<sup>3</sup> до 348,5 мг/дм<sup>3</sup>. Середнє значення становить 290,7 мг/дм<sup>3</sup>. У створі 6 км нижче концентрація аніонів вища, ніж у створі 1 км вище міста. Можна констатувати, що у водах р. Самара переважає SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Найменше у воді річки HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Тобто можна відзначити переважання Na<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup> у поверхневих водах р. Самари.

Мінералізація води в р. Самара по двох створах змінюється від 2656,8 мг/дм<sup>3</sup> до 3420 мг/дм<sup>3</sup>. Середнє значення становить 3122,6 мг/дм<sup>3</sup>. ГДК становить 1000 мг/дм<sup>3</sup>. Води відносяться до високомінералізованих, за класифікацією О. О. Алекіна до солонуватих. Це II клас якості води – солонуваті, категорія якості – β – мезо-галінні – 3. За критеріями іонного складу (класифікація О. О. Алекіна) вода річки належить до сульфатного класу, групи натрію, тип II (індекс S<sub>II</sub><sup>Na</sup>). За хлоридами якості води

(за ступенем їх чистоті) відноситься до III класу 4 категорії (слабко забруднені), а за сульфатами – V клас 7 категорія (дуже брудні).

Жорсткість води Самари за обома створами змінюється від 21,0 мг-екв./дм<sup>3</sup> до 29,9 мг-екв./дм<sup>3</sup>, при середньому значенні 26,1 мг-екв./дм<sup>3</sup>. ГДК жорсткості води – 7 мг-екв./дм<sup>3</sup>.

Тобто мінералізація та жорсткість води Самари за 2010–2021 рр. значно перевищує ГДК. У створі нижче міста спостерігається вища мінералізація та жорсткості, ніж у створі вище за течією. Усе це може бути обумовлено скидом високомінералізованих шахтних вод з шахт Центрального Донбасу.

Оцінка якості води за трофо-сапробіологічними критеріями. Води Самари відносяться до III класу 4 та 5 категорій – слабо та помірно забруднені. За категорією трофності – евтрофні. Для цих поверхневих вод характерно антропогенне забруднення за рахунок збагачення поверхневих вод речовинами біогенного походження (особливо сполуками азоту та фосфору). Це підтверджують натурні спостереження «цвітіння води» на певних ділянках ріки.

Вміст завислих часток у воді Самари загалом коливався від 15,9 мг/дм<sup>3</sup> до 26,1 мг/дм<sup>3</sup>, а середнє арифметичне значення за весь період спостережень – 21,9 мг/дм<sup>3</sup>. Це відповідає III класу 4 категорії якості за еколого-санітарними критеріями. Можна відмітити тенденцію зниження концентрації завислих речовин починаючи з 2014 року.

За усередненими значеннями рН=7,8 вода відноситься до слаболужних, а граничні рівні становили: найнижче значення – 7,3, а найвище – 8,6. За середньою величиною рН вода відноситься до II класу 3 категорії якості. При цьому рН у всіх досліджуваних створах за весь період спостережень відповідає нормі (ГДК для водойм 6,5–8,5).

Вміст O<sub>2</sub> у воді Самари змінювався від 8,2 мг/дм<sup>3</sup> до 14,2 мг/дм<sup>3</sup>. Середнє значення – 11,5 мг/дм<sup>3</sup> (ГДК < 4 мг/дм<sup>3</sup>). Дана умова для поверхневих вод річки практично во всіх випадках виконується. За створом 6 км нижче міста спостерігається зниження вмісту O<sub>2</sub>, але не критично. За цим показником вода р. Самара відноситься до I класу I категорії якості. Якщо розглянути насичення води розчинним O<sub>2</sub>, то середньоарифметичні значення – 105%. Перевищення відносного вмісту O<sub>2</sub> відносно нор-



мального (96–105%), може відбуватися внаслідок вироблення його в процесі фотосинтезу при недостатньому перемішуванні шарів води, або ж під впливом фізичних чинників.

Концентрація  $\text{NH}_4^+$  в р. Самара змінюється від 0,25 мг/дм<sup>3</sup> до 0,75 мг/дм<sup>3</sup>, при середньому значенні 0,43 мг/дм<sup>3</sup> (ГДК = 2 мг/дм<sup>3</sup>). Можна виділити два піки зростання концентрації  $\text{NH}_4^+$  за обома створами, які спостерігаються у 2012 та 2014 роках. За період досліджень вміст  $\text{NH}_4^+$  не перевищує ГДК. За середнім значенням вмісту  $\text{NH}_4^+$  вода в Самарі відноситься до III класу 4 категорії.

Концентрація  $\text{NO}_2^-$  у воді р. Самара змінювалась від 0,018 мг/дм<sup>3</sup> до 0,061 мг/дм<sup>3</sup>. Середньоарифметичне значення у воді 0,033 мг/дм<sup>3</sup> (ГДК=3,3 мг/дм<sup>3</sup>). Тобто перевищення ГДК за весь період досліджень не спостерігається. Середнє значення концентрації  $\text{NO}_2^-$  відповідає III класу 5 категорії. Найвища концентрація  $\text{NO}_2^-$  спостерігається у 2013 р., далі вміст поступово знижується.

Вміст  $\text{NO}_3^-$  в р. Самар змінюється від 0,05 мг/дм<sup>3</sup> до 0,44 мг/дм<sup>3</sup> (ГДК=45 мг/дм<sup>3</sup>). Середнє значення 0,20 мг/дм<sup>3</sup>. Перевищення ГДК не спостерігається. За середньоарифметичним вмістом  $\text{NO}_3^-$  води річки відносяться до II класу 2 категорії. З 2012 р. концентрація  $\text{NO}_3^-$  знижується.

Вміст  $\text{P}_{\text{заг}}$  у воді р. Самара змінювався від 0,223 мг/дм<sup>3</sup> до 0,619 мг/дм<sup>3</sup>. За середньоарифметичним вмістом (0,393 мг/дм<sup>3</sup>) вода відноситься до II класу 3 категорії. ГДК=3,5 мг/дм<sup>3</sup>. З 2012 р. спостерігається зниження його концентрації.

Показник БСК<sub>5</sub> у воді р. Самарі змінювався від 1,6 мг/дм<sup>3</sup> до 7,5 мг/дм<sup>3</sup>. При середньоарифметичному значенні 4,6 мг/дм<sup>3</sup> (ГДК = 6 мг/дм<sup>3</sup>). З 2011 по 2013 рр. спостерігається перевищення БСК<sub>5</sub> над ГДК. З 2013 р. для показника БСК<sub>5</sub> характерне зниження. Загалом води р. Самара за БСК<sub>5</sub> відносяться до III класу 5 категорії. Показник БО у воді р. Самарі змінювався від 14,3 мг/дм<sup>3</sup> до 33,8 мг/дм<sup>3</sup>. При середньоарифметичному значенні 28,5 мг/дм<sup>3</sup>. Загалом води р. Самара за БО відносяться до V класу 7 категорії.

*Оцінка якості води за критеріями вмісту специфічних речовин.* За цією групою показників води р. Самара відносяться до III класу 4 категорії (слабко забруднені).

Вміст СПАР у воді р. Самара змінювався від 0,03 мг/дм<sup>3</sup> до 0,08 мг/дм<sup>3</sup>, при середньому 0,06 (ГДК=0,5 мг/дм<sup>3</sup>). Перевищення ГДК не спостерігалось.

Вміст фенолів змінювався від 0,001 мг/дм<sup>3</sup> до 0,006 мг/дм<sup>3</sup>, при середньому 0,004 мг/дм<sup>3</sup> (ГДК=0,001 мг/дм<sup>3</sup>). Спостерігається значне перевищення над ГДК фенолів.

Вміст  $\text{Fe}_{\text{заг}}$  змінювався у межах 0,03–0,22 мг/дм<sup>3</sup> при середньому значенні 0,11 мг/дм<sup>3</sup> (ГДК=0,3 мг/дм<sup>3</sup>). Вміст  $\text{Cu}^{2+}$  у воді р. Самара змінювався

у межах 0,001–0,004 мг/дм<sup>3</sup> при середньому значенні 0,003 мг/дм<sup>3</sup> (ГДК=1,0 мг/дм<sup>3</sup>). Вміст  $\text{Zn}^{2+}$  у воді р. Самара змінювався від 0,009 мг/дм<sup>3</sup> до 0,069 мг/дм<sup>3</sup>, при середньому значенні 0,028 мг/дм<sup>3</sup>. (ГДК=1,0 мг/дм<sup>3</sup>). Концентрація  $\text{Cr}^{6+}$  змінювалась від 0,002 мг/дм<sup>3</sup> до при 0,006 мг/дм<sup>3</sup>, при середньому значенні 0,003 мг/дм<sup>3</sup> (ГДК=0,05 мг/дм<sup>3</sup>). Тобто концентрація  $\text{Fe}_{\text{заг}}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$  у воді р. Самара за весь термін досліджень не перевищувала ГДК.

Вміст  $\text{Mn}^{2+}$  змінювався від 0,02 мг/дм<sup>3</sup> до 0,16 мг/дм<sup>3</sup>, при середньому значенні 0,06 мг/дм<sup>3</sup> (ГДК=0,1 мг/дм<sup>3</sup>). Різка підвищення концентрації  $\text{Mn}^{2+}$  та перевищення над ГДК відбувалося з 2010 по 2012 р. за створом 6 км нижче міста, далі поступово концентрація знижувалася і вже була нижчою за ГДК.

*Узагальнений екологічний індекс  $I_E$*  у створі р. Самара – 1 км вище м. Новомосковськ за середнім значенням становить 4,2 та відноситься до III класу 4 категорії (слабко забруднені), а за найгіршим значенням 4,8 – III клас 5 категорія (помірно забруднені). Узагальнений екологічний індекс  $I_E$  у створі р. Самара – 6 км нижче м. Новомосковськ за середнім значенням становить 4,4 та відноситься до III класу 4 категорії (слабко забруднені), а за найгіршим значенням 4,9 – III клас 5 категорія (помірно забруднені).

**Висновок.** Результати аналізу мінливості стоку річки дають можливість стверджувати про відповідний до ландшафтно-гідрологічного району характер багаторічної динаміки гідрологічних процесів. Нормовані показники стоку мають відхилення в межах лімітованих характеристик, що опосередковано може свідчити про стабільний рівень антропогенного навантаження в межах басейну річки. Встановлено, що водність річки на поточному часовому відрізку знаходиться в фазі зростання. За класифікації О. О. Алекіна вода відноситься до сульфатного класу, групи натрію, тип II. За класифікацією переважаючим типом є хлоридно-сульфатний тип кальцієво-магнієво-натрієва.

Аналіз якості води в річці Самара відповідно до ІЗВ та ІЗВ\* відноситься до III класу (помірно забруднені). За кратністю перевищення забруднюючих речовин ГДК виявлено, що найбільший внесок у забруднення поверхневих вод річки вносять феноли. Генезис забруднення не встановлено. Узагальнений екологічний індекс  $I_E$  у створі р. Самара – 1 км вище м. Новомосковськ та 6 км нижче міста за середнім значенням відноситься до III класу 4 категорії (слабко забруднені), а за найгіршим значенням – III клас 5 категорія (помірно забруднені). Встановлено поступове поліпшення якості води в річці з 2014 року. Серед ймовірних причин поліпшення якості води чітко простежується вплив загального збільшення водності річки.

## Література

1. Довгаль Л. І. Геоекологічні основи зниження впливу зворотних вод шахт при їх скиданні в річкові басейни (на прикладі р. Самари): автореф. дис... канд. геогр. наук: 11.00.11 Харків, 2003. 19 с
2. Кочет В. М., Христов О. О., Загубіженко Н. І. Проблема скиду шахтних вод у Р. Самара в контексті впливу на біотичні компоненти її екосистеми. *Biosystems Diversity*. 2006. №14. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problema-skidu-shahtnih-vod-u-r-samara-v-konteksti-vplivu-na-biotichni-komponenti-yiyi-ekosistemi> (дата звернення: 20.05.2023)
3. Горб А. С. Гідрохімічні аспекти техногенного впливу на довкілля Дніпропетровської області: монографія / А. С. Горб. Дніпропетровськ, 2014. 231 с.
4. Черненко М. М., Петльований М.В. Екологічні проблеми видобутку вугілля на шахтах Західного Донбасу. *Тиждень студентської науки – 2021*: Матеріали сімдесят шостої студентської науково-технічної конференції (Дніпро, 12–16 квітня 2021 року). Дніпро: НТУ «ДП», 2021. URL: <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/157813>
5. Про стан навколишнього природного середовища в Дніпропетровській області за 2019 рік / Н. Тішкова та ін. Дніпро. 321 с. URL: [https://adm.dp.gov.ua/storage/app/media/uploaded-files/region\\_dopov\\_ecology\\_2019.pdf](https://adm.dp.gov.ua/storage/app/media/uploaded-files/region_dopov_ecology_2019.pdf) (дата звернення: 20.05.2023).
6. Кочет В. М. Фауна риб техногенних акваторій, суміжних басейну р. Самара, в умовах гіпермінералізації середовища мешкання. *Вісник Дніпровського університету – Серія Біологія. Екологія*, 2005. Вип.13. Т.1. С. 118–123.
7. Оніщенко В. І., Дворецький А.І. Мікроелементний склад скидних шахтних вод в басейн річки Самара. *Питання біоіндикації та екології*. Запоріжжя, 2005. Вип.10. №1. С. 119–123.
8. Коваленко С.А., Пономаренко Р.В., Асоцький В.В. Визначення екологічного стану річки Самара. «Надзвичайні ситуації: безпека та захист»: матеріали XII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю (м. Черкаси, 27 – 28 жовтня 2022 р.). Черкаси, 2022. С. 99–100.
9. Сердюк С.М., Гайдай А.М. Гідролого-гідрохімічна оцінка якості води р. Самара. *Вода та зміни клімату – Прискорення дій*: Матеріали науково-практичної конференції. Дніпро: ДДАЕУ, 2020. С. 30–31.
10. Сердюк С. М. Особливості антропогенного впливу на води р. Самара. *Сучасний стан та перспективи розвитку меліорації земель*: Матеріали міжнародної науково-практичної інтернет-конференції. Дніпро: ДДАЕУ, 2020. С. 56–57.
11. Гопченко Є. Д., Лобода Н. С., Овчарук В. А. Гідрологічні розрахунки: підручник. Одеса: ТЕС, 2014. 484 с.
12. Осадчий В. І., Набиванець Б. Й., Осадча Н. М., Набиванець Ю. Б. Гідрохімічний довідник. Поверхневі води України. Гідрохімічні розрахунки. Методи аналізу : довідник. К.: Ніка-Центр, 2008. 656 с.
13. Екологічна оцінка якості поверхневих вод суші та естуаріїв України. Методика . Київ, 1994. 37 с. КНД 211.1.4.010–94
14. Романенко В. Д., Жулинський В. М., Оксіюк О. П. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. К. : СИМВОЛ-Т, 1998. 48 с.
15. ДСанПіН 2.2.4-171-10 Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 12.05.2010 р № 400. 34 с.
16. Хільчевський В. К., Винарчук О. О., Гончар О. М. Гідрохімія річок лісостепу України. К.: Ніка-центр, 2014. 230 с.
17. Dovhanenko, D., Horb, A., Serdiuk, S., Lunova, O., & Dotsenko, L. A study on flood run[ff of the steppe river based on the modern trends of precipitation for-mation in Dnipropetrovsk region. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2017. 25(2). P. 38–48. URL:<https://doi.org/https://doi.org/10.15421/111718> (Last accessed: 20.05.2023).
18. Хільчевський В. К., Осадчий В. І., Курило С. М. Регіональна гідрохімія України: підручник. Київ: ВПЦ «Київський університет», 2019. 343 с.

## ФОРМУВАННЯ КАРБОНАТНОЇ СИСТЕМИ ОБОРОТНОЇ ОХОЛОДЖУЮЧОЇ ВОДИ АТОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ТА ВЛИВ НА pH ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ПРИ ЗВОРОТНИХ СКИДАХ

Бедункова О.О., Кузнєцов П.М.

Національний університет водного господарства та природокористування України  
вул. Соборна, 11, 33028, м. Рівне

[o.o.biedunkova@nuwm.edu.ua](mailto:o.o.biedunkova@nuwm.edu.ua), [kuznetpavel@gmail.com](mailto:kuznetpavel@gmail.com)

Метою роботи є аналіз формування КС зворотної системи охолодження (ОСО) Рівненської АЕС та її впливу на зміни pH поверхневих вод р. Стир для оптимізації використання хімічних реагентів у технології водопідготовки з мінімізацією екологічного впливу зворотних вод на поверхневі води та удосконалення ефективності ведення водно-хімічного режиму ОСО. Вимірювання pH проводили іонометром «І-160» за нормативною методикою. Аналіз даних хімічного контролю ОСО Рівненської АЕС проводився відповідно до наведених у звітах з оцінки впливу нерадіаційних факторів ВП РАЕС згідно з нормативами. Проаналізовані дані по зміні pH та відповідні зміщення рівноваги КС технологічних і зворотних вод оборотної системи охолодження (ОСО) Рівненської АЕС (ВП РАЕС) при проведенні водопідготовки. Помічено, що в додатковій охолоджуючій воді, яка попередньо освітлена шляхом вапнування, відсутній розчинений вуглекислий газ та наявна залишкова вільна лужність. При застосуванні сірчаної кислоти для стабілізаційної обробки відбувається нейтралізація вільної лужності вапнованої додаткової води, що супроводжується виділенням вуглекислого газу. У процесі досліджень зафіксовано впливи на охолоджуючу воду, що відбуваються при нагріванні в конденсаторі та охолодженні, аерації в градирні ОСО, які викликають зміщення рівноваги КС охолоджуючої води зі зменшенням або підвищенням вмісту вуглекислого газу, бікарбонат- та карбонат-іонів і pH. При скиданні зворотних вод ВП РАЕС у природний водний об'єкт – річку Стир відмічено зсув у карбонатній системі та зміни pH. Показано недоцільність використання сірчаної кислоти для забезпечення природоохоронних норм зворотних вод ОСО по водневому показнику. Результати дослідження можуть бути застосовані до будь-якої електростанції з ОСО, де реалізована попередня водопідготовка охолоджуючої води вапнуванням та стабілізаційна обробка мінеральною кислотою. *Ключові слова:* атомна електростанція, водопідготовка, поверхневі води.

### **The formation of the carbonate system of circulating cooling water and effect on changes in surface water pH during return water discharge. Biedunkova O., Kuznietsov P.**

The purpose of the work is to analyze the formation of the carbonate system of the recirculating cooling system (RCS) of the Rivne NPP and its influence on changes in the pH of the surface waters of the Styr River in order to optimize the use of chemical reagents in water treatment technology with the minimization of the ecological impact of return water on surface waters and to improve the efficiency of the water-chemical regime of the WWTP. The pH was measured with an ionometer "I-160" according to the normative method. The analysis of chemical control data of the Rivne NPP RCS was carried out in accordance with the reports on the assessment of the impact of non-radiation factors of the RNPP VP in accordance with the regulations with the regulations. Analyzed data on changes in pH and corresponding shifts in the balance of the carbonate system of the process water and return water of the circulating cooling system (CCS) of the Rivne NPP during water treatment. Additional cooling water pre-clarified by liming has no dissolved carbon dioxide and residual free alkalinity. When using sulfuric acid for stabilization treatment, the free alkalinity of limed additional water is neutralized, which is accompanied by the release of carbon dioxide. Impacts are recorded effects on the cooling water that occur during heating in the condenser and cooling, aeration in cooling towers CCS, cause a shift in the equilibrium of the carbonate system of the cooling water with a decrease or increase in the content of carbon dioxide, bicarbonate and carbonate ions, and pH. A shift in the carbonate system and changes in pH were noted during the discharge of return water from the RAEP into a natural water body – the Styr River. The impracticality of using sulfuric acid to ensure the environmental protection norms of return waters of the CCS according to the hydrogen indicator is shown. The results of the study can be applied to any power plant with CCS, where preliminary water treatment of cooling water by liming and stabilization treatment with mineral acid is implemented. *Key words:* nuclear power plant, water treatment, surface water.

**Постановка проблеми.** Вода є незамінним компонентом для роботи атомних електростанцій (АЕС), оскільки вона потрібна для охолодження в процесах пароводяного циклу [1]. Скиди відпрацьованих вод у природні водойми можуть призводити до змін хімічної рівноваги їх компонентів, що становить потенційну техногенну небезпеку та вимагає постійного контролю в роботі АЕС [2].

**Актуальність проблеми.** Важливими параметрами контролю водно-хімічного режиму системи охолодження АЕС є вуглекислий газ, бікарбонат- та карбонат- іони. Це основні компоненти карбонатної буферної системи природних вод, що забезпечують здатність нейтралізувати кислоти та визначають лужність води. Саме тому, в технологіях водопідготовки оборотних систем охолодження (ОСО) АЕС

компоненти карбонатної системи (КС) мають задовольняти ряду екологічних стандартів [3], що також має суттєве значення з огляду сталого розвитку всього енергетичного сектору [4].

**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 [5] та оцінкою нерадіаційного екологічного впливу АЕС зі скидом зворотних вод [6].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомо, що у природних водах співвідношення вуглекислого газу, бікарбонат та карбонат-іонів є формуючим чинником рН водного середовища. Кожна з форм компонентів КС води існує в певному інтервалі рН, наявність тієї чи іншої форми визначає певне значення рН води, що обумовлює знаходження співіснуючих форм карбонатів. Розчинений вуглекислий газ взаємодіє з водою і утворює бікарбонат- та карбонат-іони, а підвищення рН води, як важливого компонента карбонатної рівноваги, призводить до зсуву карбонатної рівноваги в бік утворення карбонату кальцію [7, 8]. При дослідженні КС річок було встановлено, що у водах з більш високою лужністю атмосферна рівновага настає повільніше, оскільки частина вуглекислого газу, що надходить у потік річки, переходить у бікарбонатні іони [9]. Результатом цієї прямої буферності є сталість збереження рН, показника лужності та збільшення показника розчиненого неорганічного вуглецю. Крім того, на компоненти КС води мають вплив гідробіологічні процеси. Зокрема, у сезон активної вегетації планктонних організмів, за рахунок споживання вуглекислого газу під час фотосинтезу водних рослин, відбувається асиміляція вуглекислого газу з утворенням бікарбонат-іонів, що проявляється у підвищенні рН води [10].

У технологічних циклах систем водного охолодження, на стехіометрію рН водного середовища впливають і такі фактори як температура води, швидкість руху води, час перебування в системі, інтенсивність аерації і випаровування води, а також додавання хімічних реагентів і металургія комплекуючих системи [11].

Наприклад, при модельному дослідженні вивільнення вуглекислого газу та змін КС при нагріванні без аерації, з утворенням накипу карбонату кальцію, відтворювались умови багатоступеневого випаровування ОСО. Було встановлено, що при випаровуванні без аерації, рН зміщується до вищих значень і значно впливає на концентрацію бікарбонат- та карбонат-іонів у охолоджуючій воді [12]. Ефект концентрування розчинних солей і випадіння в осад бікарбонату кальцію у зворотних водах був помічений і при багатократному нагріванні охолоджуючої води в конденсаторі турбіни, що свідчило про зміщення рівноваги КС ОСО [13]. Доведено також, що наявні у промислових системах охолодження інші хімічні

компоненти, після скидів у природні водні об'єкти, роблять хімічний склад поверхневих вод складнішим та здатні змінювати їх рН [14]. Проведені експериментальні дослідження зміни компонентів КС охолоджуючої води, яка попередньо пройшла водопідготовку вапнуванням, залежно від коефіцієнтів концентрації та аерації повітря, що імітує процеси концентрації та аерації в оборотних системах охолодження електростанцій, було встановлено, що в охолоджуючій воді при аерації в градирні та концентруванні при випаровуванні в ОСО відбувається зміщення рівноваги КС зі зменшенням або підвищенням карбонатної лужності, вмісту бікарбонату, карбонатних іонів і рН при застосуванні або без застосування стабілізаційної обробки сірчаною кислотою [15].

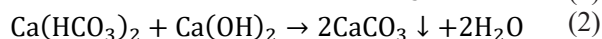
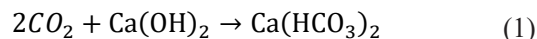
Очевидно, що при експлуатації систем охолодження атомних електростанцій, у кожному конкретному випадку важливо відстежувати водно-хімічний режим як самих ОСО, так і природних водних об'єктів, до яких потрапляють їх скидні води. Це дозволить покращити розуміння умов захисту природних поверхневих вод, а отже сприятиме екологічній безпеці експлуатації атомних електростанцій.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Недостатньо висвітленим та вивченим є питання формування КС ОСО при застосуванні процесів водопідготовки, зокрема вапнуванні та стабілізаційній обробці сірчаною кислотою. Дослідження впливу скидів вапнованої та підкисленої зворотної води ОСО на зміни рН поверхневих вод не вивчались. Такі дослідження дозволять оптимізувати використання хімічних реагентів у технології водопідготовки та мінімізувати екологічний вплив зворотних вод на поверхневі води.

**Новизна.** Зафіксовано впливи на охолоджуючу воду, що відбуваються при нагріванні в конденсаторі та охолодженні, аерації в градирні ОСО, які викликають зміщення рівноваги КС охолоджуючої води зі зменшенням або підвищенням вмісту вуглекислого газу, бікарбонат- та карбонат-іонів і рН.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Водопідготовка охолоджуючої води ОСО ВП РАЕС проводиться освітленням шляхом вапнування в бікарбонатному режимі з наступною стабілізаційною обробкою сірчаною кислотою та є складовою загального балансу технологічних вод ОСО ВП РАЕС (рис. 1).

Суть освітлення вапнуванням полягає у видавленні з води бікарбонат-іонів, при цьому відбуваються наступні процеси: зв'язується вуглекислий газ – реакція (1) та іони кальцію та випадають в осад – реакція (2):



Для додаткового інгібування утворення накипу застосовується стабілізаційна обробка сірчаною кис-

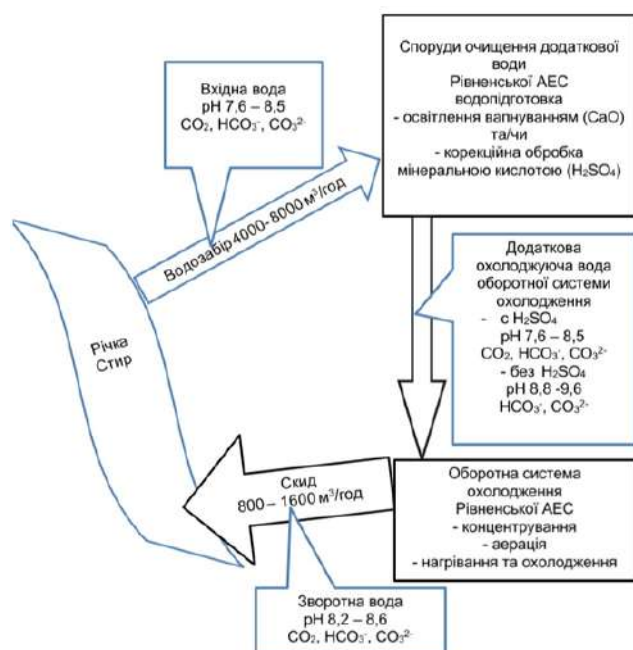
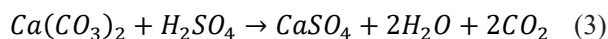


Рис. 1. Баланс технологічних вод ОСО ВП РАЕС

лотою. При використанні сірчаної кислоти, частина карбонатної жорсткості перетворюється на постійну за реакцією – рівняння (3), вільна лужність бікарбонат- та карбонат-іонів нейтралізується:



Водопідготовка додаткової охолоджуючої води вапнуванням знижує вміст іонів кальцію в середньому до 40%, стабілізаційна обробка збільшує вміст сульфат-іонів в середньому на 18 мг/дм<sup>3</sup>. Стабілізаційна обробка сірчаною кислотою проводиться до зниження значення водневого показника додаткової охолоджуючої води рН 7,5–7,8 од. та підвищує вміст сульфат-іонів (табл. 1).

Вимірювання рН проводили іономіром «И-160» за нормативною методикою (Методика МВВ 081/12-0317-06, 2006). Аналіз даних хімічного

контролю ОСО Рівненської АЕС проводився відповідно до наведених у звітах з оцінки впливу нерадіаційних факторів ВП РАЕС згідно з нормативами [6]. Відповідно до вимог національних стандартів України щодо складу та властивостей водних об'єктів питного водокористування, води водойм зон відпочинку, а також води рибогосподарських водойм, рН не повинен виходити за межі значень 6,5–8,5.

Для оцінки ведення водно-хімічного режиму (ВХР) застосовуються різні критерії: індекс Ланжелє, Індекс Ризнера, індекс Ларсона-Скольда, різниці коефіцієнтів випаровування  $\varphi$  –  $\psi$ , встановлення обмежень за допустимими значеннями жорсткості охолоджуючої води. Для оцінки якості ведення ВХР ОСО на Рівненській АЕС, протягом тривалого часу експлуатації, контроль утворення накипу проводиться за критерієм різниці значень коефіцієнтів випаровування  $\varphi$  –  $\psi$ , величина якої не повинна перевищувати 0,2. Коефіцієнт випаровування  $\varphi$  розраховується за хлорид іонами,  $\psi$  розраховується за жорсткістю загальною за рівнянням (4), де  $\text{Cl}$ , ( $\text{Ж}_{\text{заг}}$ ) – вміст хлорид-іонів (загальна жорсткість), мг/дм<sup>3</sup> (ммоль/дм<sup>3</sup>) в охолоджуючій та додатковій водах:

$$\varphi = \frac{\text{Cl}^{\text{ц.в}}}{\text{Cl}^{\text{дод.в}}} \quad \psi = \frac{\text{Ж}_{\text{заг}}^{\text{ц.в}}}{\text{Ж}_{\text{заг}}^{\text{дод.в}}} \quad (4)$$

Збереження пропорційності зміни значень  $\varphi$  та  $\psi$  свідчить про пропорційність упарювання іонів кальцію, магнію та хлоридів з відсутністю інтенсивного протікання процесу осадження кальцію у вигляді карбонату кальцію.

Впродовж 2012–2021 рр. показник рН води р. Стир відповідає вимогам національних стандартів України та обумовлений вмістом бікарбонат-іонів. Дані контролю рН води р. Стир свідчать, що протягом року показник схильний до сезонних коливань, взимку рН знижується до 7,5–8,0 од., а влітку підвищується до 7,8–8,5 од.

При водопідготовці вапнуванням, рН збільшується до 9,4–9,8 од., відбувається зсув карбонатної

Таблиця 1

## Якість води р. Стир та додаткової охолоджуючої води ВП РАЕС (2012–2021 рр.)

Показник, мг/дм <sup>3</sup>	Вода р. Стир	Додаткова охолоджуюча вода ВП РАЕС, мг/дм <sup>3</sup>	
		без стабілізаційної обробки H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	зі стабілізаційною обробкою H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Мінералізація загальна	<u>369.7</u> <sup>1)</sup> 339,32 – 621,6	<u>290.3</u> 305,62 – 526,42	<u>374.5</u> 368,25 – 647,62
Масова концентрація сульфат-іонів	<u>38.63</u> 23,79 – 61,28	<u>40.35</u> 25,61 – 60,26	<u>58.4</u> 50,36 – 85,63
Масова концентрація хлорид-іонів		<u>15.04</u> <sup>2)</sup> 11,34 – 19,15	
Масова концентрація іонів кальцію	<u>95.41</u> 87,35 – 105,96	<u>36.4</u> <sup>2)</sup> 25,64 – 38,52	

Примітка:

<sup>1)</sup> – середнє значення у чисельнику, у знаменнику діапазон мінімального та максимального значення за 2012–2021 рр.

<sup>2)</sup> – значення не змінюється при водопідготовці вапнуванням та/чи стабілізаційній обробці.

рівноваги з утворенням карбонат-іонів та осадженням карбонату кальцію та утворюється вільна лужність. При стабілізаційній обробці сірчаною кислотою відбувається нейтралізація лужності до рН 7,5–7,8 з утворенням бікарбонатів (рис. 2).

За період проведення наших досліджень, спостерігались періоди підживлення додатковою водою, що нейтралізована (2012–2016 рр.) чи не нейтралізована сірчаною кислотою (2017–2021 рр.) при вибіркового застосуванні стабілізаційної обробки сірчаною кислотою.

При підживленні водою, що нейтралізована сірчаною кислотою в охолоджуючій воді ОСО спостерігалось збільшення рН (рис. 2), а не нейтралізованої – зменшення рН (рис. 3), що в обох випадках обумовлено накопиченням бікарбонат-іонів.

Стабілізація значень рН охолоджуючої води ОСО, незалежно від способу стабілізаційної обробки спостерігається в діапазоні 8,3–8,7.

Середньорічні результати контролю технологічних вод ОСО ВП РАЕС та води р. Стир наведена на рис. 4.

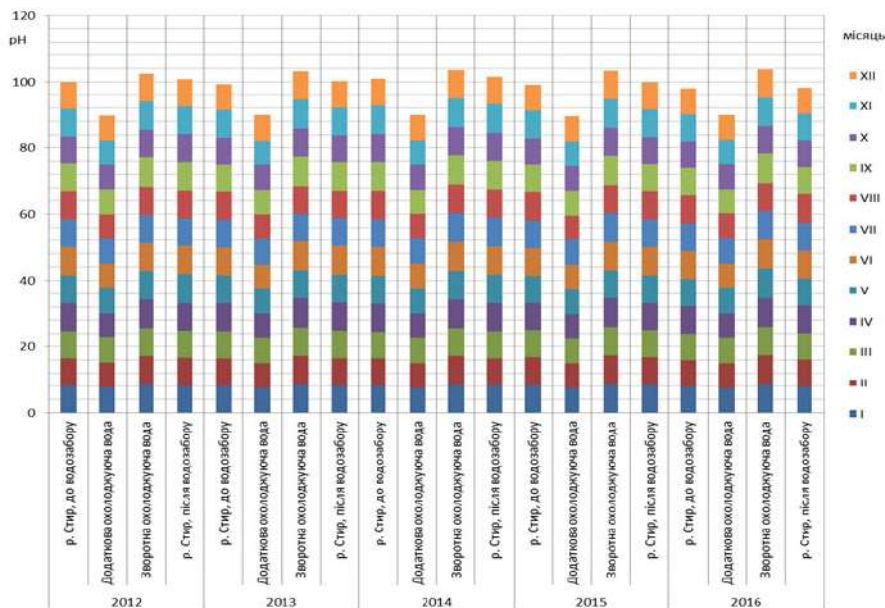


Рис. 2. Зміна рН технологічних вод ВП РАЕС та води р. Стир за період сталого дозування сірчаної кислоти для стабілізаційної обробки 2012–2016 рр. (діаграма з накопиченням)

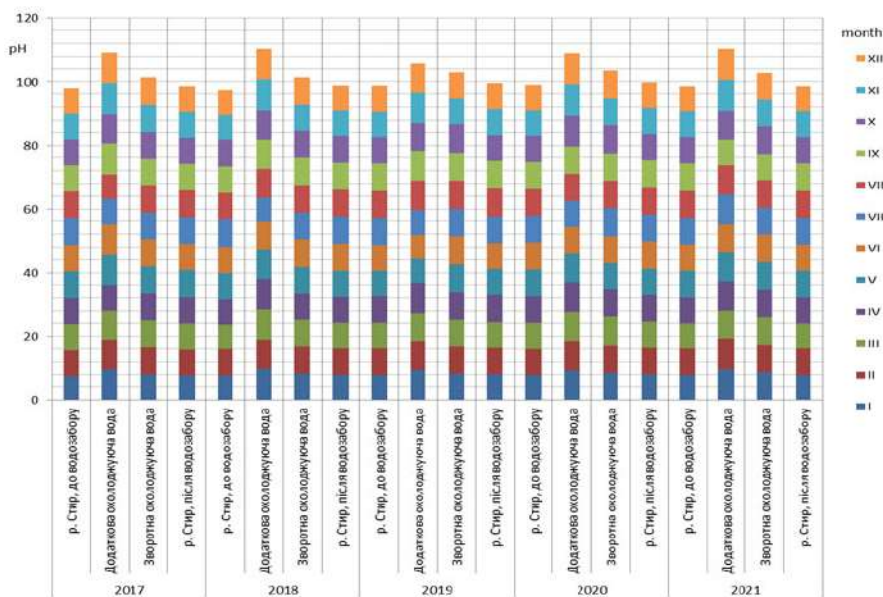


Рис. 3. Зміна рН технологічних вод ВП РАЕС та води р. Стир за період часткового дозування сірчаної кислоти для стабілізаційної обробки 2017–2021 рр. (діаграма з накопиченням)

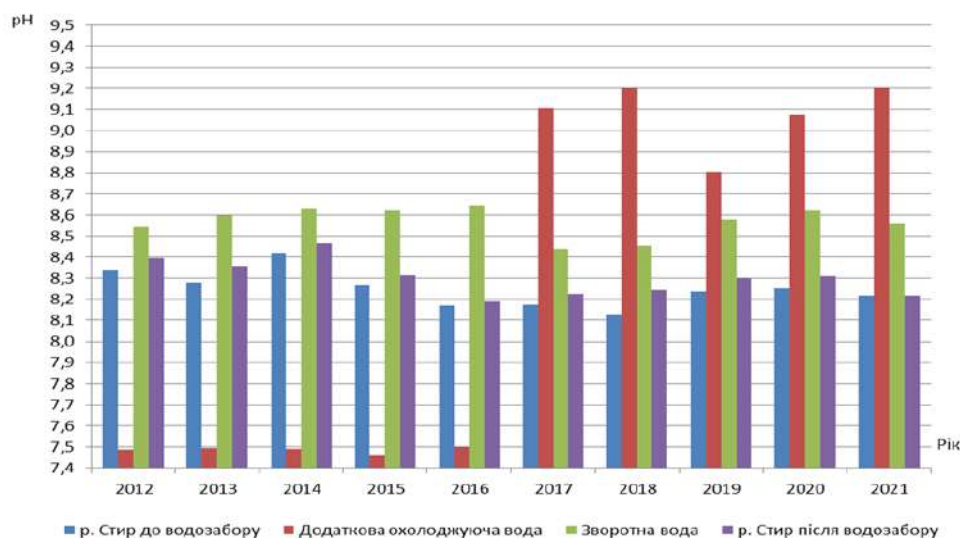


Рис. 4. Середньорічні данні змін рН води р. Стир та додаткової охолоджуючої води Рівненської АЕС

Таким чином, скид зворотної води з рН 8,3–8,7 Рівненської АЕС не впливає на показники рН води р. Стир.

**Обговорення.** При експлуатації ОСО важливим є забезпечення ВХР, з метою недопущення утворення накипу, корозії та біологічних перешкод [2]. За результатами наших досліджень було з'ясовано, що в технологічному циклі ОСО ВП РАЕС додаткова охолоджуюча вода повністю позбавлена вуглекислого газу при попередньому вапнуванні, а утворення вуглекислого газу відбувається при нейтралізації сірчаною кислотою та при нагріванні в теплообмінниках споживачах із виділенням осаду карбонату кальцію. В градирні при охолодженні та аерації охолоджуючої води з рН  $9,6 \pm 0,2$ , без попередньої стабілізаційної обробки сірчаною кислотою, може спостерігатися абсорбція вуглекислого газу з повітря для встановлення рівноваги КС за нейтралізації залишкової вільної лужності попередньо вапнованої води. Така ситуація пояснюється тим, що при використанні неочищеної вхідної води для підживлення ОСО утворення накипу неможливо запобігти навіть за низьких рівнів концентрування охолоджуючої води [12]. Тому застосовують методи попереднього очищення, що може включати фізичні, фізико-хімічні та хімічні методи водопідготовки. Освітлення вапнуванням є одним із найпоширеніших технологічних рішень водопідготовки, доза вапна, що використовується для водопідготовки, визначає значення водневого показника рН додаткової охолоджуючої води [15].

За результатами наших досліджень при проведенні стабілізаційної обробки сірчаною кислотою, вільна лужність попередньо вапнованої охолоджуючої води з рН 7,5–7,8 вже нейтралізована, абсорбції вуглекислого газу з повітря з нейтралізацією залишкової вільної лужності в градирні не відбувається,

при охолодженні в градирні, можливе вивільнення вуглекислого газу, що утворився при осадженні карбонату кальцію за реакцією з підвищенням водневого показника рН, що обумовлено концентруванням проби при випаровуванні та накопиченням бікарбонат іонів, для охолоджуючої води, що пройшла вапнування та оброблена сірчаною кислотою і не містить вільну лужність. Це пояснюється тим, що властивості КС води, залежать від протікання двох конкуруючих реакцій, які обумовлюють розчинення вуглекислого газу при аерації, з утворенням бікарбонат-іонів, зі зменшенням рН, та, при концентруванні, розкладом частини бікарбонат-іонів і утворенням карбонат-іонів, що збільшує рН [10, 11]. Тобто, визначальним фактором зміщення рівноваги реакцій є початковий стан розподілу компонентів КС, визначений початковим рН.

Помічені нами сезонні коливання показника рН в р. Стир, зокрема його зниження взимку та підвищення влітку можуть бути пояснені сезонними особливостями розвитку фітопланктонних угруповань та проявом їх фотосинтетичної активності [9]. Очевидно, що зміна рівноваги рН поверхневих вод р. Стир протягом року пов'язана передусім із природними факторами.

**Висновки.** Зміна рН технологічних вод ОСО при водопідготовці вапнуванням та стабілізаційній обробці зумовлена накопиченням природних компонентів вуглекислого газу, бікарбонат- та карбонат-іонів, що існують в природній системі за рахунок зміщення рівноваги, при аерації та випаровуванні внаслідок випаровування.

При дослідженні рівноваги КС в технологічних водах ОСО Рівненської АЕС та природних водах р. Стир з'ясовано, що застосування стабілізаційної обробки сірчаною кислотою у водопідготовці, виключно для забезпечення екологічних норм за

значенням рН, є недоцільним. Накопичення бікарбонат-іонів і нейтралізація карбонат-іонів з екологічної точки зору не компенсує штучне введення сульфат-іонів у природні об'єкти для використання сірчаної кислоти лише для зменшення рН води з метою забезпечення природоохоронних норм. Застосування сірчаної кислоти доцільно проводити лише для нормалізації водно-хімічного режиму.

Враховання даного факту дозволить оптимізувати технологію водопідготовки ОСО Рівненської АЕС із гарантією дотримання екологічно безпечного водно-хімічного режиму скидних вод на р. Стир. Результати дослідження можуть бути також застосовані до будь-якої електростанції з ОСО, де реалізована попередня водопідготовка охолоджуючої води вапнуванням та стабілізаційна обробка мінеральною кислотою.

### Література

1. Macknick J., Newmark R., Heath G., Hallett K. C. Operational water consumption and withdrawal factors for electricity generating technologies: a review of existing literature. *Environmental Research Letters*. 2012. Vol. 7(4). P. 045802.
2. Argüelles R., Toledo M., Martín M. A. Study of the Tagus River and Entrepeñas reservoir ecosystem around the Trillo nuclear power plant using chemometric analysis: Influence on water, sediments, algae and fish. *Chemosphere*. 2021. Vol. 279. P. 130532.
3. Lim-Wavde K., Zhai H., Kauffman R. J., Rubin E. S. Assessing carbon pollution standards: Electric power generation pathways and their water impacts. *Energy Policy*. 2018. Vol. 120. P. 714–733.
4. Cole J. J., Prairie Y. T. Dissolved CO<sub>2</sub>. *Encyclopedia of Inland Waters*. 2009. P. 30–34.
5. 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>
6. Звіт з оцінки впливу нерадіаційних факторів ВП «Рівненська АЕС» ДП «НАЕК «Енергоатом» на довкілля за 2013–2021. Вараш : Рівненська АЕС. 2022 р.
7. Tarazona J. V. Pollution, water. *Reference Module in Biomedical Sciences*. 2023. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-824315-2.00188-3> (date of access: 11.04.2023).
8. Stets E. G., Butman D., McDonald C. P., Stackpoole S. M., DeGrandpre M. D., Striegl R. G. Carbonate buffering and metabolic controls on carbon dioxide in rivers. *Global Biogeochemical Cycles*. 2017. Vol. 31(4). P. 663–677.
9. Ramos e Silva C. A., Monteiro N. S. C., Cavalcante L. M., Junior W. T., Rocha Carneiro M. E., Soares de Souza F. E., Borges Garcia C. A., Damasceno R. N., de Araújo Rocha A. Inventory of water masses and carbonate system from Brazilian's northeast coast: Monitoring ocean acidification. *PLOS ONE*. 2022. Vol. 17(7). P. e0271875.
10. Хорунжий П. Д., Хомутецька Т. П., Хоружий В. П. Ресурсозберігаючі технології водопостачання. К. : Аграрна наука, 2008. 543 с.
11. Meier D. A., Chen B., Myers C. Chapter 11 – Cooling water systems: An overview. Editor(s): Amjad Z., Demadis K. D. *Water-Formed Deposits*. 2022. P. 239–267.
12. Al-Rawajfeh A. E., Glade H., Ulrich J. Scaling in multiple-effect distillers: the role of CO<sub>2</sub> release. *Desalination*. 2005. Vol. 182(1–3). P. 209–219.
13. Si Z., Xiang J., Han D. Performance analysis of a vacuum membrane distillation system coupled with heat pump for sulfuric acid solution treatment. *Chemical Engineering and Processing – Process Intensification*. 2022. Vol. 171. P. 108734.
14. Moudgil H. K., Yadav S., Chaudhary R. S., Kumar D. Synergistic effect of some antiscalants as corrosion inhibitor for industrial cooling water system. *Journal of Applied Electrochemistry*. 2009. Vol. 39(8). P. 1339–1347.
15. Kuznietsov P. N., Biedunkova O. O., Yaroshchuk O. V., Experimental study of transformation of carbonate system components cooling water of Rivne Nuclear Power Plant during water treatment by liming. *Problems of Atomic Science and Technology*. 2023. № 2(144). P. 69–73.
16. Mitchell M. J., Jensen O. E., Cliffe K. A., Maroto-Valer M. M. A model of carbon dioxide dissolution and mineral carbonation kinetics. *Proceedings of the Royal Society. Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 2009. Vol. 466(2117). P. 1265–1290.
17. Поверхневі, підземні та зворотні води. Методика виконання вимірювань водневого показника (рН) електрометричним методом МВВ 081/12-0317-06. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=76469](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=76469) (дата звернення 07.02.2023). (дата звернення 07.02.2023).



## АСПЕКТИ ЕКОЛОГІЇ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРИ ПРОГНОЗУВАННІ ВИКИДІВ ДІОКСИДУ СІРКИ, ПОВ'ЯЗАНИХ ІЗ ЗАБРУДНЕННЯМ ТЕПЛООБМІННИХ ПОВЕРХОНЬ КОНДЕНСАТОРІВ ПАРОВИХ ТУРБІН

Бондар О.І.<sup>1</sup>, Гаєвський В.Р.<sup>2</sup>, Курилюк О.М.<sup>3</sup>, Цюй Бо<sup>4,5</sup>, Менжерес Я.Ю.<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління  
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, м. Київ

<sup>2</sup> Національний університет водного господарства та природокористування України  
вул. Соборна, 11, 33028, м. Рівне

<sup>3</sup> Українська технологічна академія  
пров. Куренівський, 19/5, 04073, м. Київ

<sup>4</sup>Українсько-Китайський міжнародний інноваційно-промисловий екопарк»,

<sup>5</sup>Дослідне підприємство «ВОДЕНЬ» Ltd.  
вул. Гагаріна, 39, 33003, м. Рівне

<sup>6</sup>Науково-виробниче підприємство «МЕНКОР» Ltd.  
вул. Пожарського, 4, 02094, м. Київ

dei2005@ukr.net, v.r.haievskiy@nuwm.edu.ua, alewa86@gmail.com,  
quboodessa6888@gmail.com, evrobudm@gmail.com

Вугільна теплова енергетика – одна із найбільш енергоємних і екологічно брудних галузей, одним із каналів забруднення якої є значна кількість викидів шкідливих речовин, тому зменшення емісії діоксиду сірки – надважливе екологічним завданням. На сьогодні частка обсягів виробництва електроенергії тепловими електростанціями та теплоелектроцентралями залишається вагомою у всьому електроенергетичному комплексі, що призводить до значних викидів і скидів такими підприємствами шкідливих речовин у навколишнє середовище, а отже, до істотних екологічних ризиків. Величина шкідливих викидів, таких як тверді частинки (зола), діоксид сірки, діоксид азоту, оксид та діоксид вуглецю та викиди тепла залежить від ефективності роботи оборотних систем охолодження, важливим елементом якої є конденсатори парових турбін. Варто зазначити, що системи охолодження оборотного водопостачання вугільних теплових електростанцій безпосередньо впливають на ефективність використання вугілля та води, а отже, й на екологічний стан навколишнього природного середовища. Основним результатом неефективної роботи охолоджувальних систем водопостачання є підвищення температури відпрацьованої насиченої пари у конденсаторах парових турбін. Таке підвищення температури відбувається переважно від забруднення теплообмінних поверхонь конденсаторів. Забруднюючою речовиною виступають в основному малорозчинні солі та біоплівка, що мають значно нижчу теплопровідність, ніж матеріал теплообмінників, тому таке забруднення значно зменшує передачу тепла від відпрацьованої пари до охолоджувальної води, створюючи перегрів пари, що знижує потужність турбін ТЕС в цілому. Зменшення потужності призводить до збільшення обсягів використання палива, а, відповідно, й до зростання кількості викидів шкідливих речовин. Мета дослідження – означення основних аспектів екології та автоматизації під час прогнозування кількості шкідливих викидів діоксиду сірки в залежності від товщини шару відкладення карбонату кальцію на теплообмінній поверхні конденсаторів парових турбін теплоелектростанцій. У праці лексично вжиті такі поняття як екологічні аспекти та частки шкідливих викидів, пов'язані із товщиною шару забруднення теплообмінних поверхонь конденсаторів парових турбін теплових електростанцій. Використовуючи поняття частки шкідливих викидів, теорію спалювання вугілля та теплообміну, сформувався вираз для визначення величини викидів, пов'язаних із спалюванням палива в залежності від товщини шару забруднення теплообмінної поверхні конденсаторів парових турбін. Зазначено, що забруднення теплообмінної поверхні конденсатора парових турбін карбонатом кальцію, товщиною 1 мм, призводить до збільшення викидів діоксиду сірки на 3,5%, що становить, без врахування сіркоочищення, 3,3 тис. тон на рік. *Ключові слова:* забруднення навколишнього середовища, екологічні аспекти, автоматизація, викиди шкідливих речовин, діоксид сірки, теплові електростанції, конденсатори парових турбін, забруднення теплообмінних поверхонь.

**Aspects of ecology and automation in the forecasting of sulfur dioxide emissions associated with contamination of the heat exchange surfaces of steam turbine condensers. Bondar A., Gaevsky V., Kuryliuk O., Qu Bo, Menzheres Ya.**

Coal thermal energy is one of the most energy-intensive and ecologically dirty industries, one of the channels of pollution of which is a large number of emissions of harmful substances, and therefore the reduction of sulfur dioxide emissions is an important environmental task. At present, the share of electricity production by thermal power plants and thermal power plants remains significant in the entire electric power complex, which leads to large emissions and discharges of harmful substances by these enterprises into the environment and, therefore, to significant environmental risks. The amount of harmful emissions such as solid particles (ash), sulfur dioxide, nitrogen dioxide, oxide and carbon dioxide and heat emissions depends on the efficiency of the circulating cooling systems, an important element of which is the steam turbine condensers. It should be noted that the cooling systems of circulating water supply of coal-fired thermal power plants directly affect the effective use of coal and water, which means that they significantly

affect the ecological state of the environment. The main result of inefficient operation of water supply cooling systems is an increase in the temperature of spent saturated steam in the condensers of steam turbines. Such an increase in temperature occurs mainly due to contamination of the heat exchange surfaces of the condensers. The pollutant is mainly poorly soluble salts and biofilm, which have a much lower thermal conductivity than the material of the heat exchangers, and therefore such pollution significantly reduces the transfer of heat from the spent steam to the cooling water, creating steam overheating and reducing the power of the turbines and therefore of the entire TPP. A decrease in power leads to the need to increase fuel burning and to an increase in the number of emissions of harmful substances. The purpose of the work is to predict the amount of harmful emissions of sulfur dioxide depending on the thickness of the layer of calcium carbonate deposits on the heat exchange surface of the condensers of steam turbines of thermal power plants. In the work, the concept of the share of harmful emissions related to the thickness of the contamination layer of the heat exchange surfaces of the condensers of steam turbines of thermal power plants was introduced and an analytical expression was obtained for this share. Using the concept of the share of harmful emissions, the theory of coal combustion and the theory of heat exchange, an expression was obtained for determining the amount of emissions associated with fuel combustion depending on the thickness of the contamination layer on the heat exchange surface of steam turbine condensers. The work shows that contamination of the heat exchange surface of the condenser of steam turbines with calcium carbonate, 1 mm thick, leads to an increase in sulfur dioxide emissions by 3.5%, which is, without taking into account desulfurization, 3.3 thousand tons per year. *Key words:* environmental pollution, emissions of harmful substances, environmental aspects, automation, sulfur dioxide, thermal power plants, steam turbine condensers, contamination of heat exchange surfaces.

**Вступ.** Зменшення енергоємності вироблення електроенергії ТЕС призводить до обмеження викидів шкідливих речовин, зокрема діоксиду сірки, тому розв'язання такої проблеми – це важливе екологічне завдання [1]. За 2021 рік в Україні, згідно [2] частка теплових електростанцій (ТЕС) та теплоелектроцентралей (ТЕЦ) становила 29,3% і вироблена ними кількість електроенергії становила 45,830 млн. МВт годин. Не зважаючи на зменшення обсягів виробництва електроенергії ТЕС і ТЕЦ [3], нині їхня частка залишається значною, що призводить до екологічних ризиків, пов'язаних з великою кількістю шкідливих речовин, що потрапляють у навколишнє природне середовище у вигляді викидних та скидних потоків. Величина таких забруднень залежить від стану (чистоти) трубок конденсаторів парових турбін. Під час утворення відкладення підвищується температура відпрацьованої пари, зростає тиск, що, в свою чергу, знижує потужність турбін та підвищує споживання палива. При спалюванні додаткового палива, відбувається емісія в атмосферу значної кількості шкідливих речовин, що часто перевищує відповідні регламентні норми [3]. Такими шкідливими речовинами є: тверді частинки (зола), діоксид сірки ( $\text{SO}_2$ ), діоксид азоту ( $\text{NO}_2$ ), оксид та діоксид вуглецю ( $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ ) та викиди тепла. З огляду на це, визначення і прогнозування кількості шкідливих викидів, пов'язаних з надлишковим спалюванням палива, що негативно впливає як на стан повітряного басейну, так і на навколишнє середовище в цілому, є важливою екологічною задачею.

**Аналіз досліджень.** Кількість шкідливих викидів під час використання палива на ТЕС залежить від багатьох факторів, зокрема, значною мірою від товщини шару забруднення на теплообмінній поверхні конденсаторів парових турбін. Якість розрахунку і автоматизація прогнозування екологічних аспектів шкідливих викидів залежить від максимального врахування технологічних параметрів, режимів роботи та якості теплоносія. Таке завдання може бути вирішено завдяки поєднанню теоретичних основ процесів згоряння палива, теплообміну та фізико-хімічних процесів утворення та осадження малорозчинних

сполук і стабілізації водного теплоносія щодо процесів осадження та корозії. Такий підхід досить складний, проте найінформативніший і перспективний з точки зору подальшого розвитку розроблення ефективних технологій спалювання палива, технологічних параметрів і режимів роботи охолоджувальних систем, а також охорони навколишнього природного середовища та автоматизації розрахунків шкідливих викидів.

Розрахунки шкідливих викидів базуються на законах збереження маси і теплоти і враховують особливості технології спалювання палива. Поряд з тим, що якість теплоносія є одним із найважливіших параметрів у роботі охолоджувальних систем, він є найменш технологічно контрольованим у порівнянні, наприклад, з витратами пари чи охолоджувальної води і тому потребує безперервного контролю та корекції різними хімічними і фізичними методами. Отже, враховуючи вищевикладене, для прогнозування кількості шкідливих викидів необхідно удосконалювати методики розрахунків, що дозволить створювати більш детальні моделі залежності кількості викидів шкідливих речовин від товщини шару забруднення теплообмінних поверхонь конденсаторів парових турбін, технологічних параметрів і режимів, а також від фізико-хімічних властивостей теплоносія. З точки зору якості теплоносія є важливим врахування процесів утворення малорозчинних сполук, перш за все, таких як карбонат кальцію та дигідрат сульфату кальцію. З метою попередження утворення і відкладення малорозчинних солей та виникнення корозії на поверхнях теплообміну необхідно розробляти нові стабілізаційні методи і методики реагентної та безреагентної обробки теплоносія, розвивати методи визначення стабільності теплоносія до вищевказаних процесів.

Дослідження впливу забруднень теплообмінних поверхонь на процес теплопередачі виконується декількома шляхами. Один із них – визначення впливу забруднень на значення коефіцієнта теплопередачі без урахування товщини шару забруднень. За такого підходу в процесі утворення відкладень основним контролюючим параметром є спад темпе-

ратури через теплообмінну поверхню (температурний напір) з подальшим розрахунком коефіцієнта теплопередачі [4, 5]. Такий підхід не враховує величину товщини шару відкладень і його можна застосовувати в умовах, близьких до експериментальних. Інший підхід базується на розрахунку коефіцієнта теплопередачі за певними моделями [6–8], у яких використовуються критерії Прандтля, Рейнольдса та ін. Використання моделей у критеріальній формі є недостатньо інформативним тому що вони, в свою чергу, залежать від інших важливих фізичних та технологічних параметрів, хоча вони є зручними для здійснення загальних розрахунків. У деяких дослідженнях зазначається відносна зміна, тобто відношення коефіцієнтів теплопередачі  $K/K_0$  ( $K_0$  – незабруднена поверхня,  $K$  – забруднена поверхня) [9–11]. Такий спосіб не враховує фізичних параметрів, технологічних режимів та якості теплоносія. Він є малоінформативним і дає змогу тільки якісно оцінити відносний вплив забрудненої поверхні на зміну коефіцієнта теплопередачі. До того ж такий підхід не є прогностичним щодо впливу різних фізичних величин, технологічних факторів і якості теплоносія на зміну коефіцієнта теплопередачі і отже на зміну кількості шкідливих викидів від спалювання палива на ТЕС. Отже, необхідно розробляти підхід, який дозволяв би найбільш повно та якісно визначити зміну коефіцієнта теплопередачі і на цій підставі робити прогностичні оцінки щодо комплексного впливу різних факторів на якість процесу теплообміну й на кількість шкідливих викидів у навколишнє середовище від спалювання палива. Такий підхід, на думку авторів, має базуватися на взаємопов'язаному, багатаетапному розрахунку, сформуватися у окрему цільну методику послідовних розрахунків з мож-

ливістю аналізу та прогнозування впливу технологічних параметрів роботи ТЕС, фізичних величин і якості охолоджувальної води на викиди шкідливих речовин від спалювання палива.

**Метою даної роботи** є розрахунок основних екологічних аспектів та можливості автоматизації розрахунків викидів діоксиду сірки при спалюванні палива на ТЕС в залежності від технологічних параметрів роботи конденсаторів парових турбін, товщини шару відкладення на теплообмінній поверхні, якості теплоносія і виду палива за допомогою розрахунку коефіцієнта теплопередачі теплообмінників.

**Результати досліджень.** Для розрахунку залежності кількості викидів діоксиду сірки від товщини шару забруднення використаємо схему процесу теплообміну в теплообміннику конденсатора парової турбіни. Згідно схеми, ми нехтуємо забрудненням з боку відпрацьованої пари (рис. 1). На схемі видно, що процес теплообміну відбувається через шар плівки конденсату, стінку теплообмінника та нашарування забруднення охолоджувальної води. Розрахунок виконаємо для ТЕС, потужністю 2500 МВт, що комплектується п'ятьма турбінами по 500 МВт кожна. Загальні витрати палива марки АШ (АСШ) становить у середньому  $6,0 \cdot 10^9$  кг за рік. Розрахунок викидів  $SO_2$  виконуються у такій послідовності:

Маса викидів  $SO_2$  визначається за формулою [12]:

$$M_{\text{тв}} = 2 \cdot 10^{-2} \cdot V \cdot S^p \cdot (1 - \eta') \cdot (1 - \eta''), \quad (1)$$

де  $S^p$  – кількість сірки у паливі на робочу масу, %;  $\eta'$  – доля  $SO_2$ , що зв'язується леткою золою у котлі, що рівна  $10^{-3}$  (0,1%) [12];  $\eta''$  – доля  $SO_2$ , що вловлюється вологим золовловлювачем і що залежить

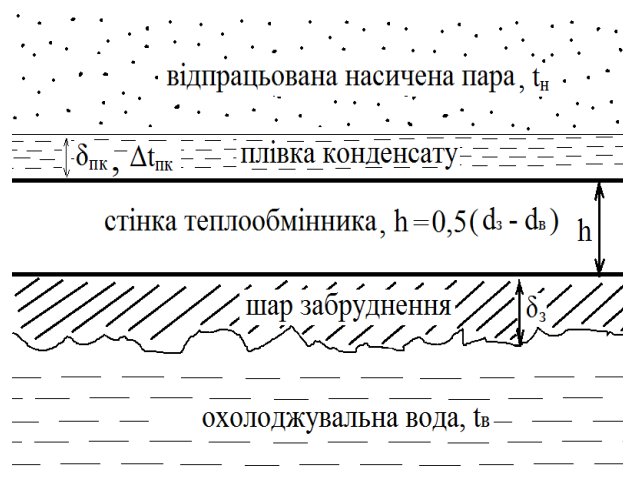


Рис. 1. Схема процесу теплообміну через поверхню теплообмінних трубок конденсатора парової турбіни:  $h$  – товщина стінки теплообмінної трубки;  $d_з$  – зовнішній діаметр стінки;  $d_в$  – внутрішній діаметр стінки;  $t_n$  – температура відпрацьованої пари;  $\Delta t_{\text{нк}}$  – температурний напір плівки конденсату;  $t_в$  – температура охолоджувальної води;  $\delta_{\text{нк}}$  – товщина плівки конденсату;  $\delta_з$  – товщина шару забруднення

від сірності палива (приведеної)  $S^p/Q^p$  (де  $Q^p$  – теплота згоряння палива, віднесена до робочої маси, МДж/кг), що рівна  $S^p/Q^p = 0,08$  і при середній лужності зрошувальної води ( $5 \text{ ммоль/дм}^3$ ) рівна  $\eta'' = 2 \cdot 10^{-2}$  (2%). Отже, за відсутності сіркоочищення, при  $V = 6,0 \cdot 10^9 \text{ кг/рік}$ , кількість викидів становитиме 200 тис.тон/рік  $\text{SO}_2$  ( $6,342 \cdot 10^3 \text{ г/с}$ ), що становить 3.3% від маси палива.

Температура насичення відпрацьованої пари в конденсаторі ( $t_n$ ) визначається за рівнянням:

$$t_n = t_{\text{вх}} + \Delta t_b + \delta t, \quad (2)$$

де  $t_{\text{вх}}$  – температура вхідної охолоджувальної води;  $\Delta t_b = t_{\text{вих}} - t_{\text{вх}}$  – нагрів води у конденсаторі;  $t_{\text{вих}}$  – температура вихідної води;  $\delta t$  – температурний напір (див. рис. 1). Рівняння (4, 6) визначає ефективність роботи як конденсатора так і всієї конденсаційної установки і є основним рівнянням роботи конденсатора. Температура охолоджувальної води залежить як від місцерозташування ТЕС, так і від пори року, а також істотно залежить від системи водопостачання. Середньорічну температуру охолоджувальної води, як правило, беруть з ряду – 10 °С, 12 °С, 15 °С або 20 °С. Враховуючи, що теплота фазового переходу пара – конденсат змінюється мало, то в першому наближенні вона може бути прийнята 2430 кДж/кг і теплоємність конденсату за постійного тиску  $c_p = 4,185 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ . Тоді, для оціночних розрахунків, нагрів охолоджувальної води розрахуємо за формулою:

$$\Delta t_b = 580 \cdot \frac{D_n}{G_b} = \frac{580}{m}, \quad (3)$$

де  $D_n$  – витрата пари, що надходить в конденсатор;  $G_b$  – витрата охолоджувальної води через конденсатор. Температурний напір ( $\delta t$ ) визначається за рівнянням :

$$\delta t = \frac{\Delta t}{\exp\left(\frac{KF}{G_b c_p}\right) - 1}, \quad (4)$$

де  $K$  – коефіцієнт теплопередачі;  $F$  – площа поверхні через яку відбувається теплообмін;  $c_p$  – теплоємність води при постійному тиску. Для наших умов (див. рис. 1) коефіцієнт теплопередачі буде мати вигляд:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{пс}}} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_{\text{св}}} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}}, \quad (5)$$

де  $\alpha_{\text{пс}}$ , – коефіцієнти тепловіддачі пара – стінка;  $\alpha_{\text{св}}$  – коефіцієнти тепловіддачі стінка – вода,  $\text{Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ ;  $\delta_c$ , – товщина стінки теплообмінної трубки;  $\delta_3$  – товщина внутрішнього шару забруднення, м;  $\lambda_c$ ,  $\lambda_3$  – коефіцієнти теплопровідності стінки трубки та шару забруднення зі сторони охолоджувальної води відповідно,  $\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . Враховуючи (7), основне рівняння роботи конденсатора зазначимо у вигляді:

$$t_n = t_{\text{вх}} + 580 \cdot \frac{D_n}{G_b} \cdot \left\{ 1 + \left[ \exp\left( \left( \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{пс}}} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_{\text{св}}} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} \right) \cdot \frac{F}{G_b \cdot c_p} \right) - 1 \right] \right\}^{-1}, \quad (6)$$

де

$$\alpha_{\text{пс}} = 27,015 \cdot \left( \frac{\lambda_{\text{пк}} \rho_{\text{пк}}^{0,2}}{\eta_{\text{пк}}^{0,14} \rho_{\text{п}}^{0,08}} \right) \cdot \left( \frac{F^{0,14} D_n^{0,02}}{S^{0,16} d_3^{0,8}} \right) i \quad (7)$$

$$\alpha_{\text{св}} = 4,86 \cdot 10^{-2} \cdot \left( \frac{Pr^{0,4} \cdot \lambda_b}{\nu_b^{0,8} \cdot \rho_b^{0,8}} \right) \cdot \left( \frac{G_b}{n \cdot d_b^{2,25}} \right)^{0,8} \quad (8)$$

$\nu_b$  – кінематична в'язкість води,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $\eta_{\text{пк}}$  – динамічна в'язкість води,  $\text{Па}\cdot\text{с}$ ;  $\rho_b$  – густина води,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\rho_{\text{пк}}$  – густина плівки конденсату,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\rho_{\text{п}}$  – густина відпрацьованої водяної пари,  $\text{кг/м}^3$ ;  $d_b$  – внутрішній діаметр трубки теплообмінника, м;  $d_3$  – зовнішній діаметр теплообмінної трубки, м;  $n$  – кількість теплообмінних трубок у конденсаторі, шт.;  $S$  – площа горловини конденсатора,  $\text{м}^2$ .

Зменшення потужності визначимо, використавши (6). Розрахунки здійснюються для турбіни марки К-500-240-2 та конденсатора марки К-11520-2 виробництва ХТЗ з урахуванням табличних фізичних величин  $\lambda_c$ ,  $\lambda_3$ ,  $\nu_b$ ,  $\eta_{\text{пк}}$ ,  $\rho_b$ ,  $\rho_{\text{п}}$ ,  $Pr$ ,  $c_p$  та постійних технологічних величин  $\delta_c$ ,  $G_b$ ,  $F$ ,  $d_b$ ,  $d_3$ ,  $n$ ,  $D_n$ ,  $S$  [16–17]. Коефіцієнт теплопровідності забруднюючої речовини беремо для  $\text{CaCO}_3$  і він рівний  $\lambda_3 = 1,9 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$  [18]. Температуру охолоджувальної води беремо рівною  $\Delta t = 15 \text{ }^\circ\text{С}$ . Для визначення втрати потужності турбіни К-500-240-2 ( $\Delta N$ ) враховуємо поправку до потужності, пов'язану з відхиленням тиску відпрацьованої пари в конденсаторі (3,88 МВт на 1 кПа). Тиск пари в конденсаторі (кПа) розрахуємо, використовуючи окреслену апроксимаційну залежність температурну ( $^\circ\text{С}$ ) залежність (9). Визначена апроксимаційна залежність для діапазону робочих температур відпрацьованої пари 10–60 °С за розрахунками не перевищує  $\pm 1\%$  (див. рис. 2).

$$p(t) = 1,75 + 0,5 \sqrt{12,25 + 4 \exp(8,82 \cdot 10^{-2} t + 0,86)}. \quad (9)$$

На основі (9), використовуючи поправки до потужності, визначаємо втрати потужності ( $\Delta N$ ) за формулою:

$$\Delta N(\delta_3) = 3,88 \cdot \left[ 1,75 + 0,5 \sqrt{12,25 + 4 \exp(8,82 \cdot 10^{-2} t_n(\delta_3) + 0,86)} \right], \quad (10)$$

де  $t_n(\delta_3)$  визначається за (6) а  $\Delta N$  виражається у МВт

Візьмемо величину, з назвою частка шкідливих викидів, пов'язану з забрудненням теплообмінної поверхні. Вона характеризує вплив забруднення теплообмінної поверхні на величину викидів шкідливих речовин ( $k$ ), що рівна:

$$k(\delta_3) = \frac{\Delta M(\delta_3)}{M_0} = \frac{\Delta N(\delta_3)}{N}, \quad (11)$$

де  $\Delta M(\delta_3)$  – кількість викидів, що пов'язана з відкладенням певної товщини шару забруднення  $\delta_3$ ;  $M_0$  – маса викидів, що утворюється, коли теплообмінна

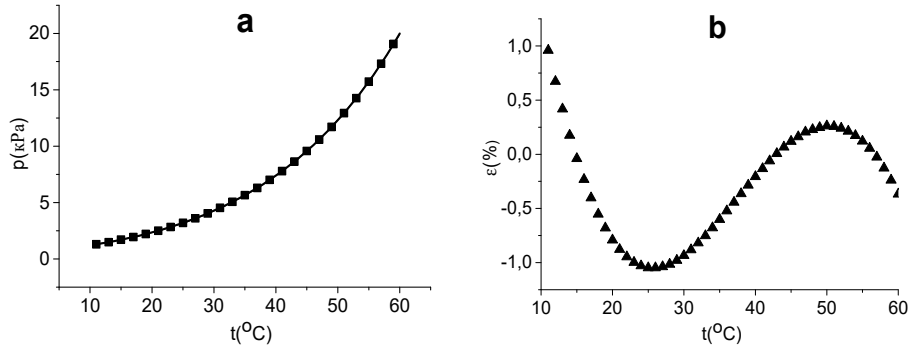


Рис. 2. Температурна залежність тиску ( $p$ ) насиченої пари (а) та відносна похибка ( $\epsilon$ ) апроксимації (б) від температури. Лінія – апроксимаційна залежність (9), ■ – табельовані табличні дані [22]

поверхня є незабрудненою ( $\delta_3 = 0$ ), і визначається за (1);  $N$  – номінальна потужність парової турбіни.

Розрахунок робимо для номінальних значень  $p_n = 4,42$  кПа і  $t_n = 30,8$  °С [18], підставляючи у (6) значення табличних величин, [21]:  $\lambda_c = 130$  Вт/(м·К),  $\lambda_b = 0,616$  Вт/(м·К),  $\lambda_{пк} = 0,600$  Вт/(м·К),  $\rho_{пк} = 995,40$  кг/м<sup>3</sup>,  $\eta_{пк} = 0,789 \cdot 10^{-3}$  Па·с,  $\rho_n = 0,031$  кг/м<sup>3</sup>,  $P_{r_b} = 6,889$ ,  $\nu_b = 0,793 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с,  $\rho_b = 998,13$  кг/м<sup>3</sup>; та технологічних величин [16–17]:  $F = 2,304 \cdot 10^4$  м<sup>2</sup>,  $D_n = 959,5$  т/год,  $S = 119,1$  м<sup>2</sup>,  $d_3 = 28$  мм,  $G_b = 51480$  м<sup>3</sup>/годину,  $n = 29500$ ,  $d_n = 26$  мм а також використовуючи (9)–(11), отримаємо залежності втрати потужності  $\Delta N(\delta_3)$  та частки шкідливих викидів  $k(\delta_3) = \Delta N(\delta_3)/N$  від товщини шару забруднення теплообмінної поверхні, що відображені на рис. 3. Для товщини шару забруднення в 1 мм, як видно на рис. 3, втрата потужності становить близько 20 МВт, а частка надлишкових викидів близька до величини 3,5%.

Оскільки досліджується динамічна система, що враховує неперервний ріст шару забруднень, товщина якого за певний проміжок часу досягає величини  $\delta_k$ , то визначення маси викидів, з використанням теореми про середнє [22] можна записати:

$$\Delta M(\delta_k) = \frac{1}{\delta_k} \int_0^{\delta_k} M_0 k(\delta_3) d\delta_3 = \frac{M_0}{\delta_k} \int_0^{\delta_k} k(\delta_3) d\delta_3 = M_0 \cdot k_{cp}, \quad (12)$$

де

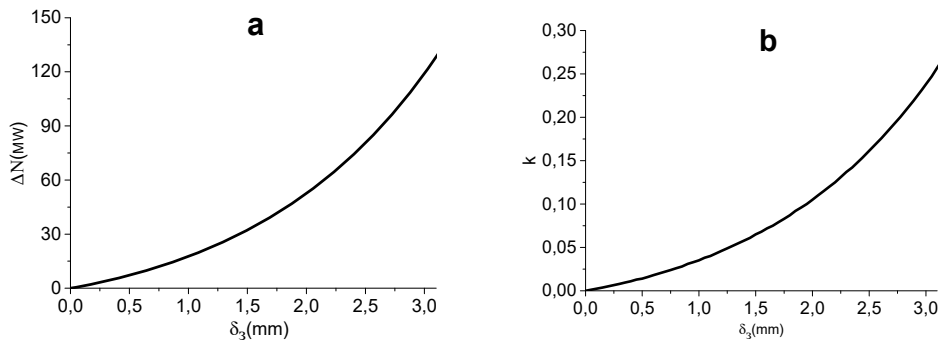


Рис. 3. Залежності втрати потужності  $\Delta N$  (а) та частки (в долях одиниці)  $k$  шкідливих викидів (б) від товщини шару забруднення теплообмінної поверхні ( $\delta_3$ )

$$k_{cp}(\delta_k) = \frac{1}{\delta_k} \int_0^{\delta_k} k(\delta_3) d\delta_3. \quad (13)$$

Величина  $k_{cp}(\delta_k)$  – це середнє значення частки викидів, виражене у долях одиниці. Залежність частки викидів, виражену у долях одиниці від товщини шару забруднення, показано на рис. 4б. Встановлено, що залежність  $k(\delta_k)$  добре описується апроксимаційною формулою, що має вигляд:

$$k(\delta_3) = A \cdot [\exp(B \cdot \delta_3) - 1],$$

де  $A = 4,18 \cdot 10^{-2}$ ;  $B = 647$  м<sup>-1</sup>,  $\delta_3$  – товщина шару забруднення поверхні трубки конденсатора парової турбіни, м. залежність  $k(\delta_3)$  визначена за (13) та залежність за апроксимаційною формулою відображені на рис. 4а.

Рис. 4б – відображено відносну похибку апроксимації, що не перевищує  $\pm 2\%$ . Середнє значення частки викидів, пов'язаних зі збільшенням шару забруднення, визначається:

$$k_{cp}(\delta_3) = \frac{C}{\delta_3} [\exp(B \cdot \delta_3) - 1] - A,$$

де  $C = A/B = 6,461 \cdot 10^{-5}$  м. Частка викидів, пов'язаних з ростом шару забруднення, відображена на рис. 5а. Варто зазначити, що (15) залежить від виду забруднення теплообмінної поверхні (у даній роботі, це CaCO<sub>3</sub>) а також від шорсткості поверхні, що формує

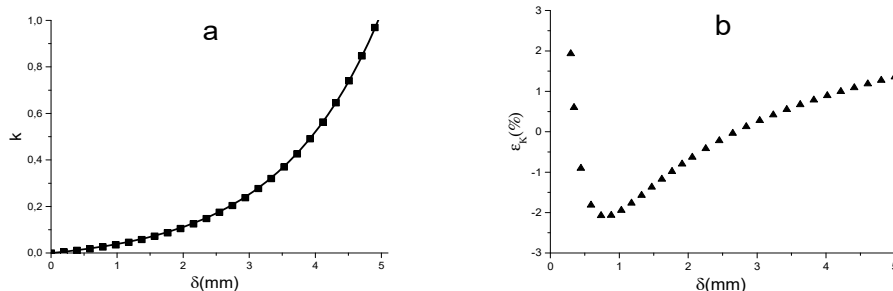


Рис. 4. Залежність частки шкідливих викидів ( $k$ ), пов'язаних з шаром забруднення (а) та залежність похибки апроксимації (б) від товщини шару забруднення ( $\delta$ ). Для а: лінія – апроксимація за (18), ■ – розрахунок за (15)

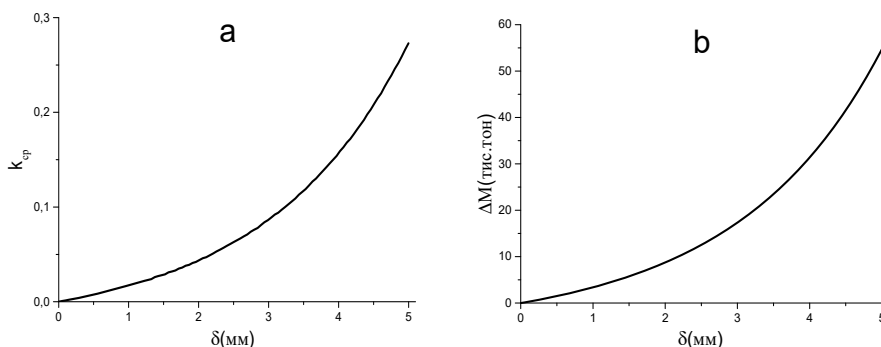


Рис. 5. Середнє значення частки викидів (у долях одиниці)  $k_{cp}$ , (а) та річна маса викидів  $CO$  (б) в залежності від товщини шару забруднення теплообмінної поверхні ( $\delta$ )

площу поверхні теплообміну, такі параметри будуть характерні для певної охолоджувальної води і мають корегуватися конкретними показниками експериментальних досліджень для даної охолоджувальної води. Отже, згідно (11) величина викидів, пов'язаних з утворенням і ростом шару забруднення на теплообмінній поверхні визначатиметься за формулою:

$$\Delta M(\delta_3) = M_0 \left( \frac{C}{\delta_3} [\exp(B \cdot \delta_3) - 1] - A \right).$$

Залежність  $\Delta M(\delta_3)$  відображена на рис. 5б, де видно, що зі збільшенням товщини шару відкладення кількість викидів зростає не лінійно і з наростанням. Розрахунок засвідчує, що за товщини шару забруднення в 1 мм, кількість викидів  $SO_2$  становить 3,3 тис. тон за рік.

**Висновки.** Розрахована кількість викидів діоксиду сірки від спалювання палива на ТЕС

з використанням коефіцієнта теплопередачі, що враховує технологічні параметри роботи конденсаторів парових турбін, товщину шару відкладення на їхній теплообмінній поверхні, якість теплоносія та вид палива. Для розрахунку використано поняття частки шкідливих викидів, пов'язаної із виникненням і збільшенням шару забруднення, що дозволяє розрахувати динаміку накопичення шару забруднення на теплообмінній поверхні конденсатора парової турбіни. Виконано прогностичні розрахунки валових викидів діоксиду сірки залежно від товщини шару забруднення теплообмінної поверхні карбонатом кальцію. Зазначено, що забруднення теплообмінної поверхні конденсатора парових турбін карбонатом кальцію, товщиною 1 мм, призводить до збільшення викидів діоксиду сірки на 3,5%, що становить, без урахування сіркоочищення, 3,3 тис. тон на рік.

#### Література

1. Закон «Про Основні засади (Стратегію) екологічної політики України на період до 2030 року» / Відомості Верховної Ради (ВВР), 2019, № 16, ст. 70. Міністерство енергетики України. URL: <http://mpe.kmu.gov.ua>
2. Наказ МОЗ 14.01.2020, № 52 “Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць” Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 10 лютого 2020 р. за № 156/34439.
3. Mwaba M.G., Rindt C.C.M., Van Steenhoven A.A., Vorstman M.A.G. Validated Numerical Analysis of  $CaSO_4$  Fouling. *Heat Transfer Engineering*, 27(7):50–62, 2006. 5. Mwaba M.G., Rindt C.C.M., Van Steenhoven A.A., Vorstman M.A.G. Experimental Investigation of  $CaSO_4$  Crystallization on a Flat Plate. *Heat Transfer Engineering*, 27(3):42–54, 2006.

4. Hewitt, G.H., Shires, G.L. and Bott, T.R. (1994) Process Heat Transfer. CRC Press Inc, Florida.
5. Dong, S., & Meng, H. U. I. (2004). Flow past a trapezoidal tab. *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 510, pp. 219–242.
6. Lemenand, T., Habchi, C., Della Valle, D., & Peerhossaini, H. (2018). Vorticity and SO<sub>2</sub> convective heat transfer downstream of a vortex generator. *International Journal of Thermal Sciences*, Vol. 125, pp. 342–349.
7. Simarpreet Singh, Sanjeev Jakhar. Performance Investigation of Plate Type Heat Exchanger (A Case Study). *International Journal of Engineering Research and Applications*, Vol. 4, Issue 4 (Version 5), April 2014, pp. 127–131.
8. Кочмарський В.З., Кочмарський О.В., Міщенко К.Д. Аналіз стабілізації інгібіторами оборотної води систем технічного водопостачання. *Енергетика та електрифікація*. № 4 (380), 2015, с. 8–12.
9. Кочмарський В.З., Костюк О.П., Тимейчук О.Ю. Відкладення у водогрійних котлах та їх наслідки. *Вісник НУВГП, серія «Технічні науки»*, вип. 3(95). 2021. с. 57–66.
10. Методика определения валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котельных установок ТЭС. РД 34.02.305–98.
11. Мейкляр М.В. Краткий справочник по паровым котлам, М. – Л., Госэнергоиздат, 1961. 104 с.
12. Роддатис К. Ф., Полтарецкий А. Н. Справочник по котельным установкам малой производительности/Под ред. К. Ф. Роддатиса. М.: Энергоатомиздат, 1989. 488 с.
13. Гаєвський В.Р., Филипчук В.Л., Дейнека О.Ю. Вплив забруднень теплообмінних поверхонь конденсаторів парових турбін на величину викидів діоксиду азоту. *Український журнал будівництва та архітектури. Науково – практичний журнал*. Дніпро. 2022. № 5 (011). С. 27–35.
14. Типовая энергетическая характеристика конденсатора К-11520-240-2. Технические характеристики 34-70-021-86. Москва: Союзтехэнерго.1986. 15 с.
15. К.Э. Аронсон, С.Н. Блинков, В.И. Брезгин, Ю.М. Бродов, В.К. Купцов, И.Д. Ларионов, М.А. Ниренштейн, П.Н. Плотников, А.Ю. Рябчиков, С.И. Хагт. Теплообменники энергетических установок. Учебное электронное издание. Екатеринбург: УрФУ, 2015.
16. Hasson D., Perl I. Scale Deposition in Laminar Falling-Film System. *Desalination*. 1981. Vol. 37, pp. 279–292.
17. Бондар О.І., Филипчук В.Л. Гаєвський В.Р., Курилюк М.С., Цюй Бо. Прогнозування впливу забруднення теплообмінних поверхонь конденсаторів парових турбін на викиди шкідливих речовин ТЕС. *Науково-практичний журнал “Екологічні науки”*. Випуск 3 (42), 2022. С. 7–13. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.3-42.1>
18. Ривкин С. Л., Александров А. А. Теплофизические свойства воды и водяного пара. Москва: Энергия, 1980. 424 с.
19. Reif F. Fundamentals of Statistical and Thermal Physics. Levant book. 1st edition, January 1, 2010. 651 p.

## STUDY OF PLANT SETS WITH FURTHER DEVELOPMENT OF PHYTOREMEDIATION TECHNOLOGY

Krasovskyi S.A.<sup>1,2</sup>, Kovrov O.S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dnipro University of Technology

ave. Dmytra Yavornytskoho, 19, 49005, Dnipro

<sup>2</sup>Technische Universität Bergakademie Freiberg

Akademiestraße, 6, 09599, Freiberg, Germany

kpacka0@gmail.com, kovrov.o.s@nmu.one

Coal dumps occupy a large area, which could be used for agriculture. These coal dumps have low pH, EC and nutrient concentrations. The concentration of toxic elements exceeds the permissible norm by several times. These toxic elements pollute the lithosphere, hydrosphere and atmosphere. Phytoremediation is one of the ways to solve this problem. The idea of phytoremediation consists in using plants.

In this experiment, plants were considered that are typical for the climatic conditions of the steppe zone of Ukraine. Plants were distributed into 8 sets. In each set there was one representative from the cereal family, one from the legumes and one from the cruciferous family. Such plants as: *Hordeum murinum L.*, *Bromus japonicus.*, *Dactylis*, *Bromopsis ramosa*, *Pisum*, *Trifolium*, *Sinapis* and *Capsella bursa-pastoris L.* were used as phytoindicators. Plants were planted in four different environments: 1) water (control); 2) loam (80%) + chernozem (20%); 3) loam (70%) + chernozem (30%); 4) loam (50%) + chernozem (20%) + substrate from coal dump (30%). Loam and chernozem were selected in ecologically clean areas. Substrate from coal dump was selected from mining industry "Heroiv Kosmosy".

The growth experiment showed that *Pisum* and *Sinapis* had good germination on research substrate. *Pisum* germinated on each set and on each substrate. Also, *Pisum* had the highest growth rates and biomass among the plants studied. *Sinapis* did not germinate in only one set № 3 and two environments (water and (70/30)). In other sets, *Sinapis* had a high yield and proved to be a potential phytoremediator.

Set № 1 had a better growth results. The results have shown that these plants can be used as pioneers. In this set, all three plants germinated on all studied substrates. The studied plants have high growth rates and high biomass. In the future, these plants can be considered as phytoremediators of coal dumps. It is also possible to consider the technology of phytoremediation based on the obtained results. **Key words:** contaminated substrate, phytoremediation, plant sets, pioneer plants, growth test, biomass.

### Дослідження рослинних сетів з подальшим розвитком технології фіторекультивациі. Красовський С.А., Ковров О.С.

Вугільні відвали займають велику територію, яку можна було б використовувати для сільського господарства. Ці вугільні відвали мають низький рівень рН, ЕС та концентрацію поживних речовин. Концентрація токсичних елементів перевищує допустиму норму в рази. Ці отруйні елементи забруднюють літосферу, гідросферу й атмосферу. Фіторемерація є одним із способів вирішення цієї проблеми. Ідея фіторемерації полягає у використанні рослин.

У цьому досліді розглядалися рослини, що характерні для кліматичних умов степової зони України. Рослини були розділені на 8 сетів. У кожному сеті були по одному представнику з сімейства злакових, бобових і хрестоцвітних. Як фітоіндикатори використовували такі рослини: *Hordeum murinum L.*, *Bromus japonicus.*, *Dactylis*, *Bromopsis ramosa*, *Pisum*, *Trifolium*, *Sinapis* та *Capsella bursa-pastoris L.* Рослини були висаджені в чотирьох різних середовищах: 1) вода (контроль); 2) суглинок (80%) + чорнозем (20%); 3) суглинок (70%) + чорнозем (30%); 4) суглинок (50%) + чорнозем (20%) + субстрат з відвалу (30%). Суглинок і чорнозем відбиралися в екологічно чистих районах. Субстрат з вугільного відвалу був відібраний з гірничодобувної промисловості «Героїв Космосу».

Ростовий тест показав, що *Pisum* і *Sinapis* мають хорошу схожість на дослідному субстраті. *Pisum* проростав в кожному сеті та на кожному субстраті. Крім того, *Pisum* мав найкращі ростові показники та показники біомаси серед досліджуваних рослин. В сеті під № 3 та двох середовищах (вода та (70/30)) *Sinapis* не проростав. В інших сетях *Sinapis* мав високу врожайність, що дає змогу його розглядати як потенційного фіторемераціатора.

Сет № 1 показав кращі ростові результати. Результати показали, що ці рослини можна використовувати у якості піонерних видів. У даному сеті всі три рослини проросли на всіх досліджуваних субстратах. Досліджувані рослини мають високі ростові показники та високу біомасу. У перспективі ці рослини можна розглядати, як фіторемераціаторами вугільних відвалів. На основі отриманих результатів також можна розглянути технологію фіторемераціациі. **Ключові слова:** вугільний відвал, фіторемераціациа, рослини сеті, рослини-піонери, ростовий сет, біомаса.

**Problem statement.** The Ukrainian energy sector is dependent on the coal industry. Coal industry has negative impact on the environment. One of these impacts is the accumulation of rock on a land that could be used for

agriculture. These dumps occupy a large territory and have a negative impact on the environment. One of the methods of solving this problem is phytoremediation. Phytoremediation is a method of remediation with the



involvement of plants. Due to the specific characteristics of dumps and climatic conditions, it is difficult for plants to adapt and grow. Physico-chemical properties of coal dumps are not favorable for growing plants. Usually, coal dumps have a low pH level, EC and a high concentration of toxic elements. The main idea of this experiment was to select stress-resistant plants for various substrates.

**Relevance of the problem.** To choose stress-resistant plants for the phytoremediation method. Analyze research plant sets and choose the most effective.

**The connection of author's work with important scientific and practical tasks.** The authors studied the growth indicators of plants that can potentially be used for phytoremediation of coal dumps, with different substrates. Different plant sets were analyzed to improve phyto conditions on the studied substrates.

**Analysis of recent research and publications.**

The coal industry is one of the main industries that provides the energy sector of Ukraine. Moreover, it has a negative impact on the environment. One of the negative consequences is the formation and accumulation of rock on coal dumps. These landfills contain a substrate with low pH, EC and high concentrations of toxic elements. One of the ways to solve this problem is the use of plants. This method is known as phytoremediation. The main requirements for plant phytoremediators are low requirements for climatic conditions and stress resistance to toxic elements. It was found that *Calendula officinalis* and *Althaea rosea* are resistant to Cd and can accumulate cadmium [1]. High extraction properties were recorded for species such as sunflower and ryegrass [2]. *Trifolium alexandrinum* has also proven itself as a good phytoextractor. This plant, in addition to being well adapted to the substrate with heavy metals, also has a high biomass and a fast life cycle, which allows it to be effectively used as a phytoremediator [3]. *Oenothera glazioviana* showed high stabilizing properties when grown on soil contaminated with copper. This plant has high tolerance and low copper transport capacity [4]. *Sesbania* proved to be an excellent stabilizer for such metals as Cu, Zn, and Cr. During the experiment, zinc was removed from the contaminated soil, and other metals accumulated in the root system [5]. Representatives of the leguminous family are known to have the ability to fix atmospheric nitrogen and increase the nitrogen content in the soil. But high concentrations of heavy metals in the substrate disturb the metabolic life processes of such legumes as soybeans and peas [6]. Recent research has shown that short-term plants such as: *Vigna*, *Z. mays*, *B. juncea*, *H. annuus*, *J. Curcas* have high phytoremediation potential [7]. Grasses can be considered as a potential phytoremediator and can be used to mitigate toxic elements from contaminated soil. Herbs belong to the genera *Agrostis*, *Agropyron*, *Alopecurus*, *Andropogon*, *Anthoxanthum*, *Arrhenatherum*, *Avena*, *Brachiaria*, *Cymbopogon*, *Bromus*, *Calamagrostis*, *Chloris*, *Cynodon*, *Dactylis*, *Digitaria*, *Elymus*, *Elytrigia*, *Eremochloa*, *Festuca*, *Lolium*, *Lygeum*, *Miscanthus*,

*Panicum*, *Paspalum*, *Pennisetum*, *Phleum*, *Phragmites*, *Piptatherum*, *Poa*, *Setaria*, *Sorghum*, *Secale*, *Spartina*, *Stipa*, *Typha*, *Vetiveria* are often used to remove toxic metals from polluted areas [8]. Among the cereal family, corn (*Zea mays*) is the largest producer of biomass that is highly tolerant to toxic metals. Other species, such as *Triticum aestivum* and *Hordeum vulgare*, are used to reduce the concentration of toxic elements in the soil. Plants such as *Hordeum murinum* and *Japanese brome* (*Bromus japonicus*) have adapted perfectly to the coal dump substrate. When the pH was lowered, the plants studied showed their stress resistance [9]. It was established that the investigated plants, *H. murinum* and *B. japonicus* have adaptive resistance to heavy metals, both plants are capable of accumulating heavy metals in the root system and shoots, and accumulate these elements, which allows considering these plants as "pioneer plants" with the subsequent possibility of phytoremediation of coal mining waste dumps [10]. The results of the study showed that *Bromopsis inermis holub* grows better not only when watering is increased, but also when adding solutions with different concentrations of MPC of heavy metals [11]. Some species of cruciferous plants are able to produce significant amounts of biomass, which is an undeniable advantage in phytoremediation. Accumulation of biomass can be directed both above-ground (forage or leafy types of vegetables) and underground (root crops – rutabaga, turnips). *Capsella bursa-pastoris* has been found to grow well in cadmium contaminated soil.

**Highlighting previously unresolved parts of the general problem, to which the article is devoted.** The growth indicators of plant sets were studied. The growth indicators of the studied plants on different substrates were analyzed. On the basis of the obtained results, it is possible to choose plants for further phytoremediation of coal dumps.

**Originality.** During the experiment, the growth rates of the plants under study and their biomass were determined. On the basis of the obtained data, it is possible to select a set of plants that showed the best result for reclamation of coal mining dumps.

**Methodological and scientific significance.** Analysis of growth parameters of plants. Development of technologies for phytoremediation of coal dumps.

**Presentation of the main material.** To conduct this experiment, scientists used their own plant set. It has the name of the «brotherhood plant». Its foundation was the use of three plants from different families. Each plant set had one representative from the cereal family, one from the legume family, and one from the cruciferous family. In this way, the authors tried to investigate the effect of wild cereals with nitrogen-fixing plants. The authors' idea was to use pioneer plants, undemanding to substrate conditions and climatic conditions, which will enhance the growth and biomass indicators of each other. Such plants as: *Hordeum murinum L.*, *Bromus japonicus.*, *Dactylis*, *Bromopsis*

*ramosa*, *Pisum*, *Trifolium*, *Sinapis* and *Capsella bursa-pastoris* L. were used as phytoindicators of the typical ruderal plants vegetation of the steppe region of Ukraine 8 sets were created (Table 1).

Table 1

Plant sets

The number of the set	Plants
1	<i>Hordeum L.</i> , <i>Trifolium</i> , <i>Sinapis</i>
2	<i>Hordeum L.</i> , <i>Pisum</i> , <i>Capsella L.</i> ,
3	<i>Bromus j.</i> , <i>Pisum</i> , <i>Sinapis</i>
4	<i>Bromus j.</i> , <i>Trifolium</i> , <i>Capsella L.</i> ,
5	<i>Dactylis</i> , <i>Trifolium</i> , <i>Capsella L.</i> ,
6	<i>Dactylis</i> , <i>Pisum</i> , <i>Sinapis</i>
7	<i>Bromopsis r.</i> , <i>Pisum</i> , <i>Capsella L.</i> ,
8	<i>Bromopsis r.</i> , <i>Trifolium</i> , <i>Sinapis</i>

Plants were planted in four different environments: 1) water (control); 2) loam (80%) + chernozem (20%);

3) loam (70%) + chernozem (30%); 4) loam (50%) + chernozem (20%) + substrate from coal dump (30%). Loam and chernozem were selected in ecologically clean areas. Substrate from coal dump was selected from mining industry “Heroiv Kosmosy”. Substrate from coal dump have a low concentration of pH, EC and nutrients. Also, have a high concentration of heavy metals [9]. Each 8 sets with plants were planted in the corresponding 4 environments. Petri dishes were used for experiment. 8 of them were filled with tap water. 24 of them were filled with a suitable environment (50 g). Twenty seeds of each plant species were transferred to the dishes. The humidity of the growth substrate level was maintained at 70% of field capacity throughout the experiment. The experiment lasted 21 days.

The growth experiment showed that *Pisum* better adapted to other plants and substrate conditions. Firstly, this plant germinated in all sets and in all substrates. Secondly, *Pisum* showed better growth results, than other plants (Fig. 1). *Pisum* had longer roots, higher shoots length and higher biomass (Fig. 2).

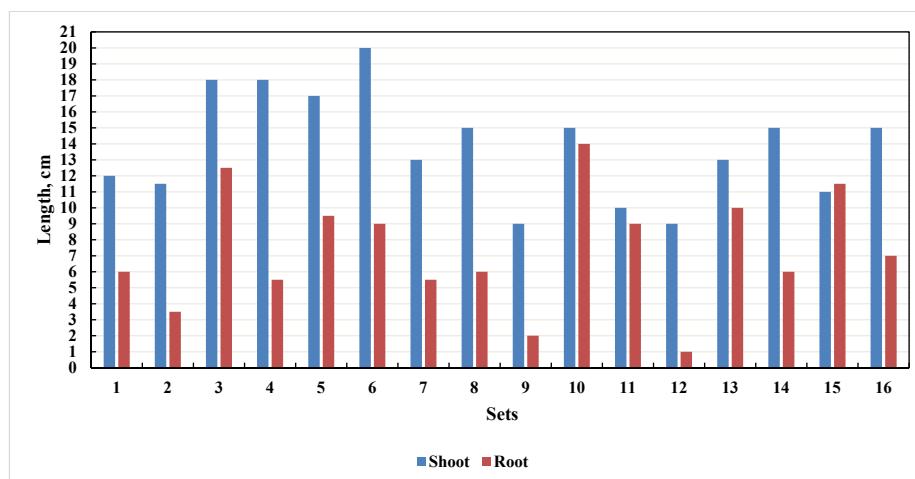


Fig. 1. The length of the root and shoot systems of *Pisum* in different plant sets

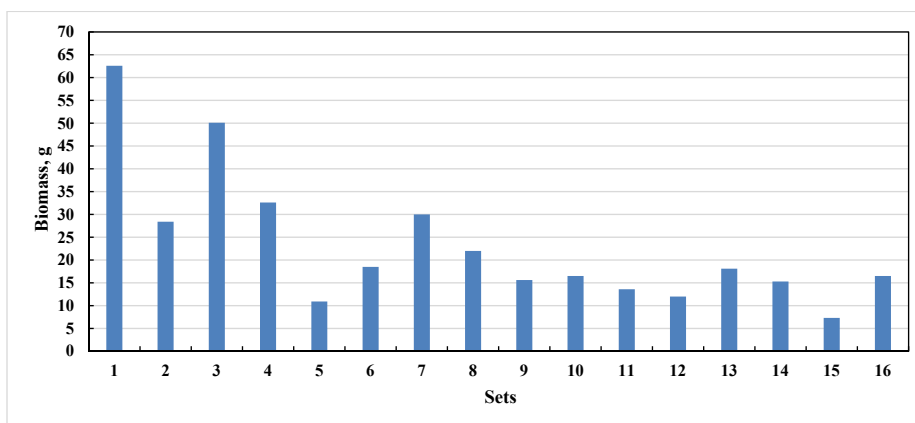


Fig. 2. Biomass of *Pisum* in different plant sets

\*1 – set № 2 on the water; 2 – set № 3 on the water; 3 – set № 6 on the water; 4 – set № 7 on the water; 5 – set № 2 (80/20); 6 – set № 3 (80/20); 7 – set № 6 (80/20); 8 – set № 7 (80/20); 9 – set № 2 (70/30); 10 – set № 3 (70/30); 11 – set № 6 (70/30); 12 – set № 7 (70/30); 13 – set № 2 (50/30/20); 14 – set № 3 (50/30/20); 15 – set № 6 (50/30/20); 16 – set № 7 (50/30/20)

The obtained results show that *Pisum* adapt to different substrates and have high biomass, which makes it possible to consider it as a phytoremediator.

High growth rates were also recorded in *Sinapis*. The results are presented in figures 3 and 4.

*Sinapis* did not germinate in only one set № 3 and two environments (water and (70/30)). In other sets, *Sinapis* had a high yield and proved to be a potential phytoremediator.

Set № 1 showed the best results among plant sets. Figure 5–6 shows the growth indicators of the plants from this set and their biomass. The results show that *Hordeum L.*, germinates well on any substrate. *Trifolium* and *Sinapis* have a big biomass.

The obtained results indicate that this set is best suited for the remediation of the contaminated area.

After all, in this set, representatives of the cereal, legume and cruciferous families showed good results.

**The main conclusions.** The results of the growth test are presented in this article. Various variations of plant sets were considered, for potential use in phytoremediation of contaminated lands. The results show that plants like *Pisum* and *Sinapis* are versatile plants and can be used as pioneer plants. These plants had high growth rates and a large biomass on all the studied substrates. Set № 1 (*Hordeum L.*, *Trifolium*, *Sinapis*) proved to be the best growth set. All plants from this set germinated and had high growth rates. In other researched sets, at least one representative of each species did not germinate. This can be explained by biological competition of species. In the future, it is planned to emphasize the study of set № 1, with further development of phytoremediation technologies.

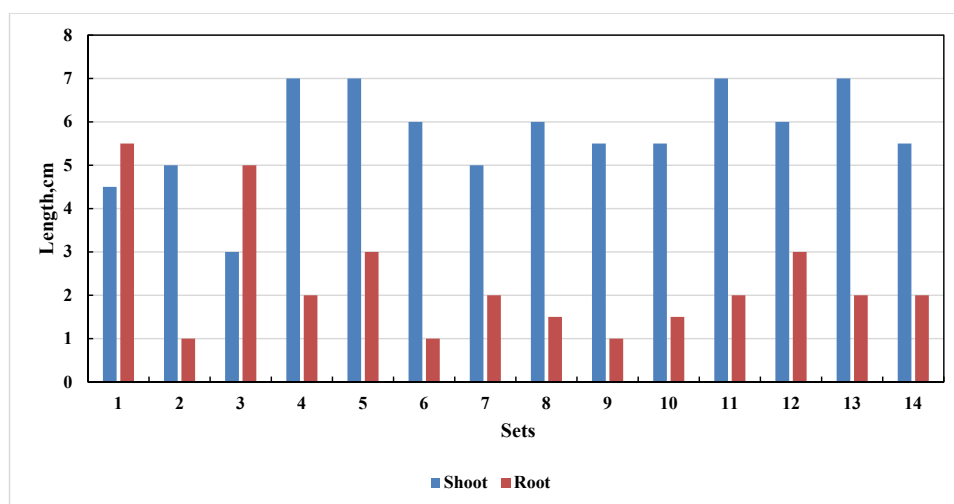


Fig. 3. The length of the root and shoot systems of *Sinapis* in different plant sets

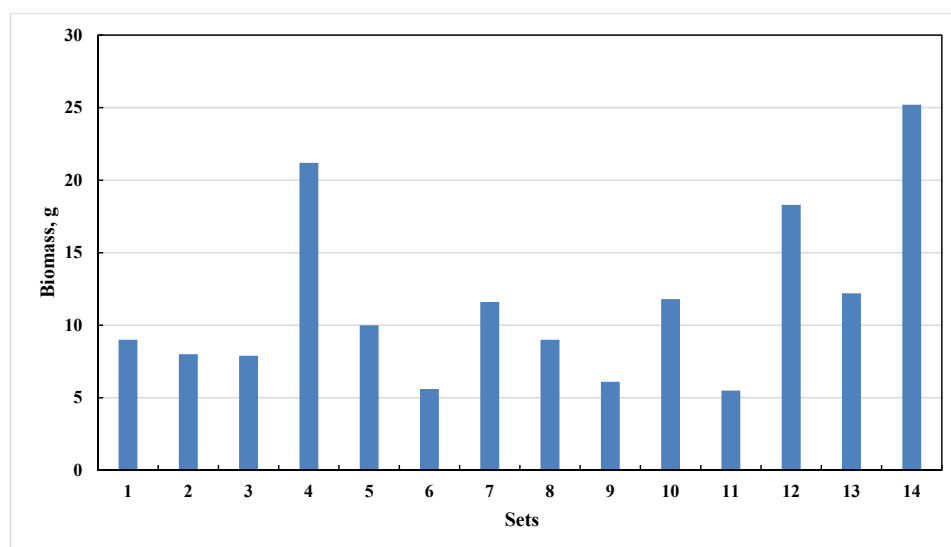


Fig. 4. Biomass of *Sinapis* in different plant sets

\*1 – set № 1 on the water; 2 – set № 6 on the water; 3 – set № 8 on the water; 4 – set № 1 (80/20); 5 – set № 3 (80/20); 6 – set № 6 (80/20); 7 – set № 8 (80/20); 8 – set № 1 (70/30); 9 – set № 6 (70/30); 10 – set № 8 (70/30); 11 – set № 1 (50/30/20); 12 – set № 3 (50/30/20); 13 – set № 6 (50/30/20); 14 – set № 8 (50/30/20)

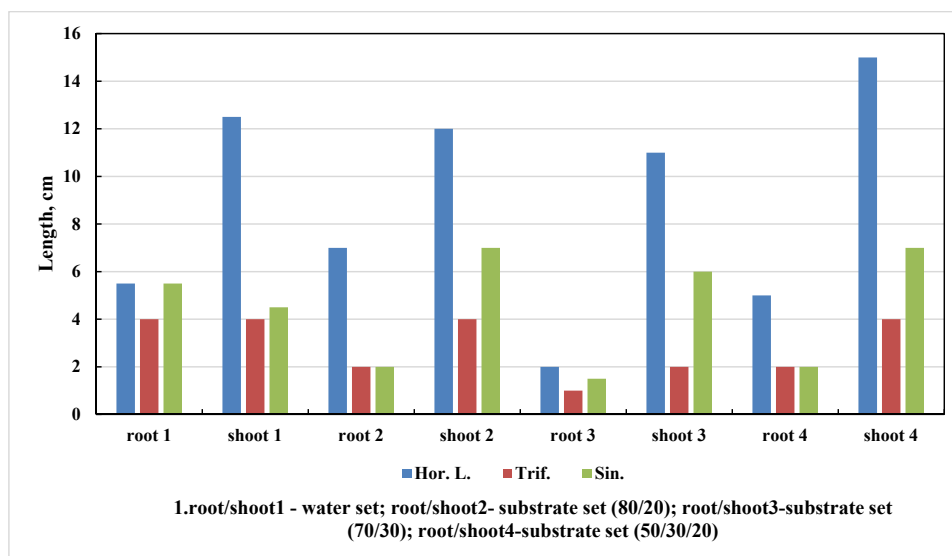


Fig. 5. The length of the root system and shoots of plants from set № 1

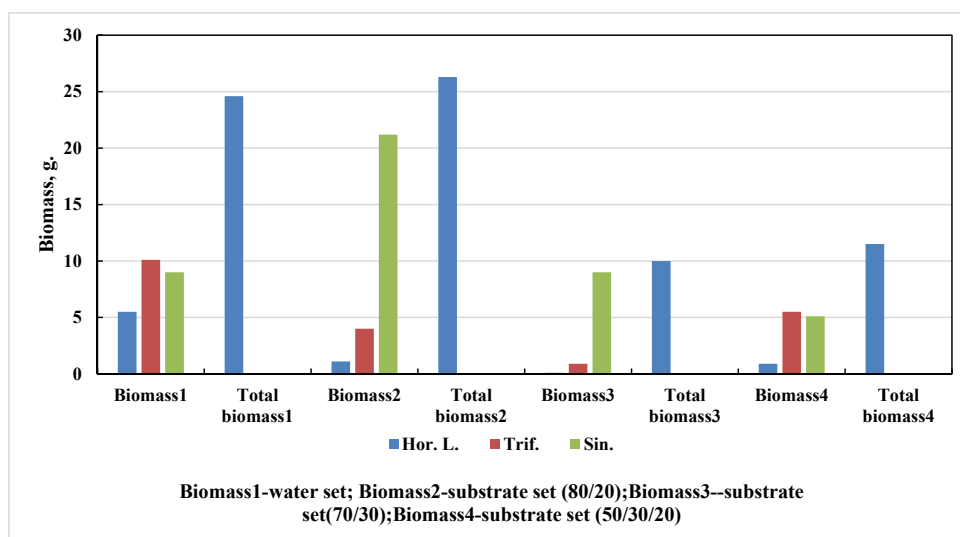


Fig. 6. Biomass of plants from set № 1

**Prospects for using the research results.** The obtained results make it possible to analyze the studied plants and to choose the most adaptable to salted substrates. This makes it possible to develop the technology of phytoremediation of coal dumps, which makes it possible to return polluted lands to agriculture sector.

**Acknowledge.** The authors express gratitude Universities UK International (UUKI) for the support of this research in the context of the UK-Ukraine University Twinning Initiative between Lancaster University (United Kingdom) and Dnipro University of Technology (Ukraine).

### References

1. Wang X.F. (2005) Resource potential analysis of ornamentals applied in contaminated soil remediation (in Chinese). A dissertation in Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing, China.
2. Salt D.E., Blaylock M., Kumar B.A., Dushenkov V., Ensley B.D., Chet I., Raskin I. (1995a) Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. *Biological Technology* 13(5):468–474.
3. Ali H, Naseer M, Sajad MA (2012) Phytoremediation of heavy metals by *Trifolium alexandrinum* . *International Journal of Environmental Science* 2:1459–1469.
4. Guo P, Wang T, Liu Y, Xia Y, Wang G, Shen Z, Chen Y (2014) Phytostabilization potential of evening primrose( *Oenothera glazioviana* ) for copper-contaminated sites. *Environmental Science and Pollution Research* 21:631–640.
5. Branzini A, González RS, Zubillaga M (2012) Absorption and translocation of copper, zinc and chromium by *Sesbania virgata* . *Journal of Environmental Management* 102:50–54.
6. Hasan S.A, Hayat S, Ali B, Ahmad A (2008) 28-homobrassinolide protects chickpea ( *Cicer arietinum* ) from cadmium toxicity by stimulating antioxidant. *Environmental Pollution* 151:60–66.

7. Mumtaz Khan, Salma Shaheen, Shafaqat Ali, Zhang Yi, Li Cheng, Samrana, Muhammad Daud Khan, Muhammad Azam, Muhammad Rizwan, Muhammad Afzal, Ghazala Irum, Muhammad Jamil Khan and Zhu Shuijin (2020) In Situ Phytoremediation of Metals. Phytoremediation. Springer, pp. 103–121.
8. Isabel Parraga-Aguado, Maria Nazaret Gonzalez-Alcaraz, Rainer Schulin Hector M. Conesa. 2015. The potential use of *Piptatherum miliaceum* for the phytomanagement of mine tailings in semiarid areas: Role of soil fertility and plant competition. *Journal of Environmental Management*. Pages 74–84.
9. Krasovskyi S., Kovrov O., Klimkina I. Wiche O. Impact of substrate acidification on the plant availability of some trace elements in a coal waste material. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*. February 2022, Vol. 17, No. 1, p. 171–178.
10. Красовський С, Ковров О, Клімкіна І, Віхе О. Хальмаєр Г. Вплив важких металів на ростові показники *Wall barley* (*Hordeum murinum*) та *Japanese brome* (*Bromus japonicus*). Збірник наукових праць НГУ. 2022. № 68–17. С. 184–192. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/68.184>
11. Звorigін К, Красовський С, Ковров О. Вивчення залежності росту *Bromopsis inermis holub* від різного поливу та кількості важких металів у ґрунті. Збірник наукових праць. Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова-2022-№ 2 (489). С. 89–95. DOI: [https://doi.org/10.15589/znп2022.2\(489\).13](https://doi.org/10.15589/znп2022.2(489).13)

## АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ УРОЖАЙНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ МІКРОБНИХ БІОЦЕНОЗІВ

Трохименко Г.Г., Кособуцька О.О., Літвак О.А., Благодатний В.В.  
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова  
пр. Героїв України, 9, 54007, м. Миколаїв  
[antr@ukr.net](mailto:antr@ukr.net), [lena52000@ukr.net](mailto:lena52000@ukr.net), [olya.litvak@gmail.com](mailto:olya.litvak@gmail.com), [woblaho@ukr.net](mailto:woblaho@ukr.net)

У сучасних умовах особливої актуальності набуває проблема подальшого ефективного розвитку землеробства, пошуку альтернативних шляхів підтримання родючості ґрунтів та екологічної безпеки продуктів рослинного походження за умови збереження та збільшення рівня виробництва сільськогосподарської продукції. Метою даного дослідження є порівняльний аналіз впливу різних біопрепаратів на процеси росту та розвитку рослин, а також вивчення їх ефективності в залежності від концентрації та технології обробки культури. У лабораторних умовах було виконано біотестування з визначення фізіологічної дії розчинів біопрепаратів на показники схожості і проростання пагонів насіння тест-культури для визначення фітотоксичного ефекту добрив, які досліджуються. Об'єктами дослідження були розчини біопрепаратів в наступних варіантах: ЕМ-препарат «Байкал ЕМ-1»; ЕМ-препарат «Байкал ЕМ-1»+сироватка молочна; сироватка молочна; біопрепарат «Ефект»; біопрепарат «Ефект»+сироватка молочна; дистильована вода (контроль). Як тест-об'єкт було використано насіння вівса посівного (*Avena sativa* L.). У результаті проведеного експерименту виявлено, що найбільш активна динаміка росту тест-об'єктів відзначалася при обробці сумішшю біопрепарату «Ефект»+сироватка при 10-ти відсотковій концентрації розчину. При цьому найбільша висота паростків вівса склала 191,1 мм на 15-й день експерименту. Максимальні показники зеленої маси тест-об'єктів виявилися при застосуванні біопрепаратів «Ефект» + сироватка при концентрації розчину 5%. Обґрунтовано, що застосування мікробіологічних препаратів у поєднанні з сироваткою має позитивний ефект на ростові процеси рослин та їх якісні показники. Впровадження біотехнологій на основі високоефективних мікроорганізмів дає змогу запропонувати альтернативну стратегію екологічно стійкого землекористування, що базується на заміні мінеральних добрив мікробними препаратами. У зв'язку з цим створення препаратів на основі мікробних біоценозів, здатних зберігати свої основні властивості в конкретних агрокліматичних умовах, є перспективним напрямом і становить значний практичний інтерес. *Ключові слова:* відновлення ґрунту, сільськогосподарські культури, ефективні мікроорганізми, ЕМ-технологія, біотестування, тест-об'єкт, біодобриво.

**Analysis of the possibility of increasing crop yields based on the use of microbial biocenoses. Trokhymenko H., Kosobutka O., Litvak O., Blahodatnyi V.**

In modern conditions, in today's conditions, the problem of further effective development of agriculture, finding alternative ways of maintaining soil fertility and ecological safety of products of plant origin, under the condition of preserving and increasing the level of agricultural production, is becoming particularly relevant. The purpose of this study is to compare the effect of various biological products on plant growth and development, as well as to study their effectiveness depending on the concentration and technology of crop treatment. In laboratory conditions, biotesting was performed to determine the physiological effect of biological product solutions on germination and shoot germination of test crop seeds to determine the phytotoxic effect of the fertilisers under study. The objects of the study were solutions of biological products in the following variants: EM preparation "Baikal EM-1"; EM preparation "Baikal EM-1"+whey; whey; biological preparation "Efekt"; biological preparation "Efekt"+whey; distilled water (control). The test object was oat seeds (*Avena sativa* L.). As a result of the experiment, it was found that the most active growth dynamics of the test objects was observed when treated with a mixture of the biological product "Efekt"+whey at a 10 per cent solution concentration. The highest height of oat sprouts was 191.1 mm on the 15th day of the experiment. The maximum indicators of green mass of the test objects were found when using biological products "Efekt" +whey at a solution concentration of 5%. It is substantiated that the use of microbiological preparations in combination with whey has a positive effect on plant growth processes and their quality indicators. The introduction of biotechnology based on highly efficient microorganisms makes it possible to offer an alternative strategy for environmentally sustainable land use based on the replacement of mineral fertilizers with microbial preparations. In this regard, the development of drugs based on microbial biocenoses capable of retaining their basic properties in specific agroclimatic conditions is a promising area of practical interest. *Key words:* soil restoration, crops, effective microorganisms, EM technology, biotesting, test object, biofertiliser.

**Постановка проблеми.** Підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва є одним з пріоритетних завдань агропромислового комплексу. Сучасне сільське господарство характеризується інтенсивним застосуванням хімічних засобів, що неминуче спричиняє цілу низку небажаних наслідків: погіршення властивостей ґрунту, порушення середовища проживання ґрунтових живих

організмів (мікрофлори, черв'яків тощо), накопичення в сільськогосподарській продукції шкідливих для людини та тварин речовин (нітратів, нітритів, залишків пестицидів тощо) [1]. Враховуючи зазначене, постає проблема подальшого ефективного розвитку землеробства, пошуку альтернативних шляхів підтримання родючості ґрунтів та екологічної безпеки продуктів рослинного походження за умови

збереження та збільшення рівня виробництва сільськогосподарської продукції.

Зростаючий рівень антропогенного навантаження у сільському господарстві потребує використання спеціальних технологічних прийомів землеробства, які будуть забезпечувати підвищення урожайності культур, а також сприяти збереженню ресурсного потенціалу агроландшафтів [2]. Світова практика землеробства свідчить, що до таких заходів відносяться раціональне використання природних та господарських ресурсів, розробка наукових основ ресурсозбереження, впровадження ефективних та маловитратних біотехнологій, які спрямовані на забезпечення збалансованого функціонування агроєкосистем.

Актуальність дослідження. Одним з напрямів отримання стабільних врожаїв сільськогосподарських культур є оптимізація живлення рослин та підвищення ефективності використання добрив. Останнім часом у практику сільського господарства широко впроваджують ресурсозберігаючі технології, суть яких полягає в застосуванні бактеріальних препаратів. Як препарати активної дії на рослини та насіння, вони відкривають широке поле їхнього застосування, підвищуючи продуктивність агрофітоценозів і покращуючи якісні характеристики рослинницької продукції за досить низького рівня витрат.

У зв'язку з цим особливою актуальністю набувають технологічні прийоми застосування мікробіологічних препаратів на основі симбіотичних та асоціативних мікроорганізмів та гумусових речовин різного походження у посівах зернових культур. Значний інтерес представляють препарати групи ЕМ (ефективні мікроорганізми). Їх застосування призвело до появи такого напрямку в біотехнології як ЕМ-технологія. ЕМ-препарати являють собою симбіотичні комплекси ретельно підібраних мікроорганізмів, здатних ефективно розпізнавати і протистояти патогенній мікрофлорі [3]. У свою чергу, це призводить до скорочення або виключення використання хімічних засобів захисту рослин – гербіцидів, фунгіцидів, а також мінеральних добрив. У результаті знижується навантаження на ґрунт, зокрема на агрокорисні мікроорганізми, від хімічних засобів. Це також підвищує біологічну активність ґрунту за рахунок збільшення кількості корисної мікрофлори, отже, і ґрунтової родючості.

Створення науково обґрунтованих та економічно вигідних біотехнологій для підвищення родючості ґрунтів і фітосанітарної оптимізації агроєкосистем з використанням популяцій ефективних мікроорганізмів – складне завдання. Ефективність таких технологій практично залежить від кількісного та якісного складу мікробного ценозу, складу ґрунтового комплексу, стійкості рослинного організму, безлічі інших біотичних та абіотичних чинників [4]. Однак, створення достатньою мірою гнучкого методологічного підходу до розв'язання цієї проблеми можливе.

Подібний підхід може бути заснований на комплексному використанні штамів мікроорганізмів або їхніх асоціацій, що мають високу поліфункціональну активність, з різними екологічними характеристиками та ефективністю дії в природних екосистемах.

Основні ефекти від застосування ЕМ-технології: відновлення родючості ґрунту; оздоровлення сільськогосподарських культур; значний економічний ефект при вирощуванні зернових та овочевих культур; стримування розмноження шкідливих мікроорганізмів; економія добрив, скорочення необхідної кількості отрутохімікатів; отримання екологічно чистих продуктів харчування [5].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Попит на сільськогосподарську продукцію, вироблену екологічно чистим способом зростає з кожним роком, тому використання екологічно чистих технологій та матеріалів для виробництва харчових продуктів, матиме значне зростання в найближчі роки. Очікується, що світовий ринок біологічних добрив зросте до 3,9 мільярдів доларів США у 2025 році [6].

Відповідно до прийнятої у 2015 р. державами-членами ООН резолюції «Перетворення нашого світу: порядок денний в сфері сталого розвитку до 2030 року» та адаптованих з урахуванням специфіки розвитку України «Цілей сталого розвитку України на період до 2030 року», другою глобальною ціллю (ЦСР2) є «подолання голоду, досягнення продовольчої безпеки, поліпшення харчування і сприяння сталому розвитку сільського господарства» [7, 8]. Серед основних завдань сформованих в Національній доповіді «Цілі сталого розвитку: Україна» у досягненні ЦСР2 передбачено «забезпечити створення стійких систем виробництва продуктів харчування, що сприяють збереженню екосистем і поступово покращують якість земель та ґрунтів, в першу чергу, за рахунок використання інноваційних технологій» [9].

Інтенсифікація зусиль щодо переходу традиційної моделі розвитку сільськогосподарської галузі на принципи стійкості, екологічної безпеки та використання сучасних біотехнологій буде сприяти забезпеченню продовольчої безпеки та зниженню негативного впливу на довкілля. У зв'язку з цим проблема використання ЕМ-препаратів з метою підвищення продуктивності сільськогосподарських культур, відтворення якостей ґрунтів та отримання екологічно безпечної продукції є актуальною, має наукове і практичне значення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивченню впливу біологічних препаратів та їхніх післядій на продуктивність сільськогосподарських культур залежно від доз добрив за обробітку на різних ґрунтах і за різних кліматичних умов присвячені дослідження зарубіжних і вітчизняних учених. Численні дослідження, проведені в наукових установах і на виробництві в різних регіонах країни, дово-

дять ефективність і перспективність ЕМ-технології. У роботах таких вчених, як Патица В.П., Волкогон В.В., Мельничук Т.М., Паламарчук І.П., Зеленянська Н.М. наведені результати ефективного застосування мікробіологічних препаратів у технології вирощування різних сільськогосподарських культур та аналізу їхнього впливу на природний потенціал родючості ґрунту, показники врожайності та якості вирощеної продукції.

У різних країнах світу за останні 30 років виникли й успішно розвиваються цілі галузі промислового виробництва мікробіологічних препаратів для сільського господарства. Науково-технічні досягнення у галузі виробництва мікробних препаратів характеризуються розширенням їхнього асортименту. ЕМ-препарати дають значний позитивний ефект не тільки в рослинництві, але й у плодівництві, тваринництві, птахівництві, приготуванні кормів, рекультиватії земель [10]. Технології ефективних мікроорганізмів можуть використовуватися при переробці відходів, звалищ, видаленні неприємних запахів на сільгосп підприємствах, а також як метод доочищення виробничих стічних вод [11]. Найбільш популярними ЕМ-препаратами в Україні є «Байкал ЕМ-1», «Сяйво», «ЕМ-бокаші». В останні роки українськими вченими розроблений новий мікробіологічний препарат «Ефект».

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. У процесі впровадження ЕМ-технологій ще багато питань залишаються недостатньо вивченими. Зокрема, визначення оптимальних доз біопрепаратів, способи та терміни їх застосування для різних культур, спільне використання різних препаратів та інші проблеми. Дослідження з цих питань слід продовжувати для більш ефективного та науково обґрунтованого залучення сучасних біотехнологій у виробничі процеси з урахуванням їх позитивних впливів на стан навколишнього середовища і забезпечення продовольчої та екологічної безпеки. Також серед груп мікробіологічних препаратів рідко можна зустріти дані з порівняння їхньої ефективності як біостимуляторів.

Новизна дослідження полягає у порівняльному аналізі впливу різних біопрепаратів на процеси росту та розвитку рослин, а також вивчення їх ефективності в залежності від концентрації та технології обробки культури.

**Матеріали та методи дослідження.** Дослідження проведено на кафедрі екології та природоохоронних технологій Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова та НДІ екології та енергозбереження НУК. Експерименти супроводжувалися спостереженнями, обліками та аналізами відповідно до загальноприйнятої методики [12, 13, 14].

У лабораторних умовах було виконано біотестування з визначення фізіологічної дії розчинів біопрепаратів на показники схожості і проростання пагонів

насіння тест-культури для визначення фітотоксичного ефекту добрив, які досліджуються.

Методи біотестування базуються на вивченні специфіки зворотної реакції тест-об'єктів на дію низки негативних факторів і дозволяють визначити певний рівень екологічної безпеки. Біотестування як метод біологічного контролю дає можливість встановити ступінь токсичності середовища і повинно відповідати вимогам сучасного біомоніторингу. Тест-об'єкти звичайно обирають серед розмаїття видів, найбільш чутливих до забруднюючих компонентів [15]. Біотестування має за основу такий метод наукового пізнання, як біологічне моделювання. Будь-яка модель є певною мірою специфічною формою відображення дійсності [16, 17].

Об'єктами дослідження були розчини біопрепаратів у таких варіаціях:

1. ЕМ-препарат «Байкал ЕМ-1»;
2. ЕМ-препарат «Байкал ЕМ-1»+сироватка молочна;
3. Сироватка молочна;
4. Біопрепарат «Ефект»
5. Біопрепарат «Ефект»+сироватка молочна.
6. Дистильована вода (контроль).

Вияткова багатофункціональність препарату «Байкал ЕМ-1» полягає в широкому діапазоні дії мікроорганізмів, які входять до їх складу. Біодобриво містить у своєму складі живі клітини бактерій *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium var. phosphaticum*, *Azotobacter chroococcum*, *Enterobacter*, *Paenibacillus polymyxa*, іншу корисну мікрофлору (молочнокислі бактерії, продуценти ферментів); вітаміни, фітогормони, амінокислоти та інші фізіологічно-активні речовини [18]. Цей препарат здатний оздоровити кореневмісний шар ґрунту, знижуючи індекс вмісту фітопатогенів, зрушити баланс органомінеральних сполук у бік збагачення доступними формами азоту і фосфору.

Біопрепарат «Ефект» – це новітній експериментальний препарат. Комплекс корисних мікроорганізмів, що входять до складу біопрепарату, мають ріст-стимулюючі та фунгіцидні особливості: *Azotobacter vinelandii* фіксує азот з атмосфери, переводить його в доступну для рослин форму, синтезує ріст-стимулювальні речовини (нікотинова та пантотенова кислоти, біотин, гетероауксин), *Bacillus subtilis* – забезпечує бактеріальний захист рослин від фітопатогенів.

Молочна сироватка – це відходи молокопереробної промисловості. У дослідженні сироватка використовувалася як частина поживного середовища. Застосування молочної сироватки як добрива покращує стан рослин, насичує їх необхідними мікроелементами, дозволяє отримати вищий урожай якісних плодів. Крім цього, кисло-молочний продукт допомагає у боротьбі з грибовими захворюваннями. Внесення сироватки здійснюють кореневим та поза-кореневим способами. Необхідно враховувати, що



сироватка містить молочну кислоту, тому здатна підвищити кислотність ґрунту. Молочна кислота – сильний стерилізатор, вона пригнічує шкідливі мікроорганізми та прискорює розкладання органічної речовини.

Для дослідження було взято 4 концентрації (0,1%, 1%, 5%, 10%) біопрепаратів. Концентрації розчинів були отримані розбавленням необхідної кількості концентрату дистильованою водою й доведення загального об'єму до 100 мл.

Дослідження проводили із насінням вівса посівного (*Avena sativa* L.) в якості тест-об'єкту. Це однорічна трав'яниста рослина, що відноситься до родини Злаки (*Poaceae*). Овес є дуже важливою продовольчою, кормовою і технічною сільськогосподарською культурою, відзначається досить високим потенціалом урожайності зерна, а також досить часто використовується як тест-об'єкт в біотестуванні.

Овес був посіяний в горщики, по 25 насінин у кожен горщик. Ґрунт для зразків – чорнозем південний. Кожен зразок мав відповідне маркування. Експеримент проходив за таких умов:

- середня температура повітря – 20,3 °С;
  - частота поливу: спочатку 1 раз на 7 днів, потім 1 раз на 4 дні;
  - середня вологість повітря – 62%;
  - кількість горщиків – 63 штуки.
- Тривалість спостереження – 15 діб.

#### Виклад основного матеріалу дослідження.

Систематичний облік пророщених насінин вівсу дозволяє визначити їх схожість, динаміку росту та показники зеленої маси. Спостереження за тест-об'єктами велось з 2-го дня після посіву, коли почалось проростання насіння. Нижче наведені результати спостережень при різних умовах обробки тест-об'єктів біопрепаратами.

На другий день експерименту перші паростки з'явилися у контрольних зразках (обробка водою). У ході спостережень зразки, які поливалися розчином «Байкал ЕМ-1» зростали на рівні із контрольними зразками, але за сприятливих умов (збіль-

шення сонячного світла та підвищення температури повітря у приміщенні лабораторії, де відбувався експеримент) вони стали однаковими разом із зразками при інших варіантах обробки біопрепаратами. При обробці препаратом «Байкал ЕМ-1» з концентрацією в 10% на 6-й день відбувся стрибок у прирості тест-об'єктів, що свідчить про активізацію розвитку популяції мікроорганізмів. Наприкінці експерименту найбільшої висоти досягали зразки, які були оброблені зазначеним препаратом також з концентрацією в 10% (рис. 1).

При обробці сумішшю препаратів «Байкал ЕМ-1» + сироватка перші паростки з'явилися на 4-й день досліджень. Найбільшого приросту мали рослини при обробці концентрацією даних препаратів в 10% (рис. 2).

При обробці ґрунту сироваткою насіння вівсу проросло на 3-й та 4-й дні. Найбільша кількість перших паростків з'явилась у зразках, які поливалися сироваткою з концентрацією розчину 5% та 10% у порівнянні із контрольними зразками. При цьому тест-об'єкти, що були оброблені 10-ти відсотковим розчином сироватки починаючи з 5-го дня спостереження мали найбільший приріст, порівняно зі зразками обробленими іншою концентрацією даного розчину (рис. 3). Аналогічна ситуація відзначалася і при застосуванні ЕМ-препарату «Ефект» (рис. 4).

Динаміка росту тест-об'єктів при обробці препаратами «Ефект»+сироватка також доводить ефективність саме 10-ти відсоткової концентрації зазначеної суміші (рис. 5).

Аналіз результатів порівняння показників росту паростків вівса при різних варіантах обробки біопрепаратами дає можливість зазначити, що на 6-й день дослідження найбільшої висоти мали зразки оброблені ЕМ-препаратом «Байкал ЕМ-1». Наприкінці експерименту (15 доба) зразки, що були оброблені розчином «Ефект»+сироватка мали найбільше значення росту – 191,1 мм. А зразки, які поливалися «Байкал ЕМ-1» були на рівні зі зразками контролю (рис. 6, рис. 7).

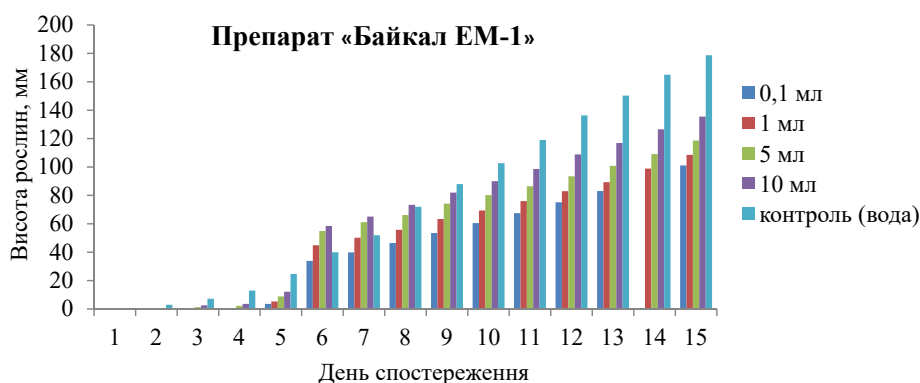


Рис. 1. Динаміка росту тест-об'єктів при обробці препаратом «Байкал ЕМ-1» при різних концентраціях розчину

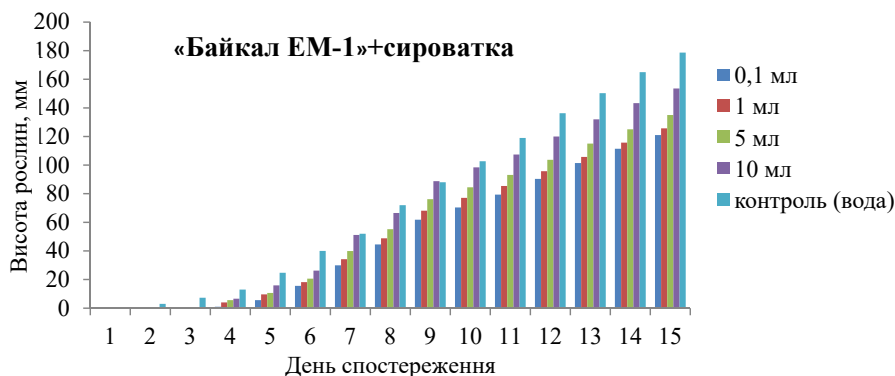


Рис. 2. Динаміка росту тест-об'єктів при обробці сумішшю «Байкал ЕМ-1»+сироватка при різних концентраціях розчину

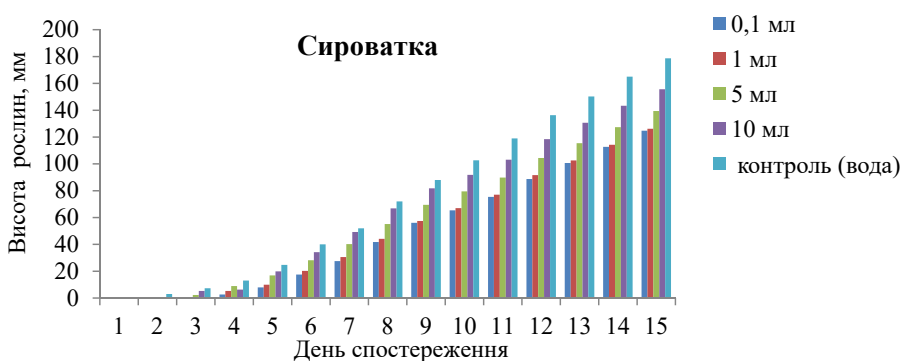


Рис. 3. Динаміка росту тест-об'єктів при обробці сироваткою при різних концентраціях розчину

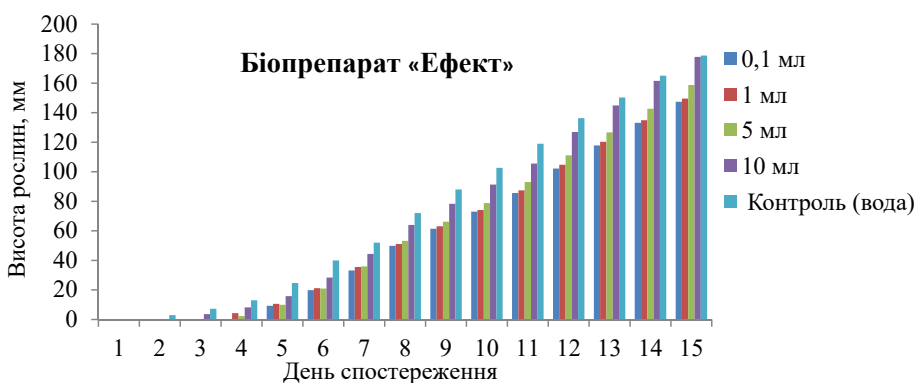


Рис. 4. Динаміка росту тест-об'єктів при обробці препаратом «Ефект» при різних концентраціях розчину

На наступному етапі дослідження проводилося визначення показників зеленої маси тест-об'єктів. Для цього кожен зразок брали та на відстані приблизно 2 см від землі зрізали. Вимірювання проводились в лабораторних умовах за допомогою електронних ваг. Графіки врожайності тест-об'єктів вказані на рис. 8–12. При різних варіантах обробки біопрепаратами виявлено такі результати:

– «Байкал ЕМ-1»: максимальне значення зеленої маси мають зразки після обробки розчином

10%, мінімальна маса – при обробці розчином 0,1% і 1%;

– «Байкал ЕМ-1»+сироватка: максимальне значення зеленої маси – після обробки розчином 1%, мінімальна маса – при обробці розчином 10%;

– сироватка: максимальне значення зеленої маси – після обробки розчином 5%, мінімальна маса – при обробці розчином 0,1%;

– біопрепарат «Ефект»: максимальне значення зеленої маси – після обробки розчи-

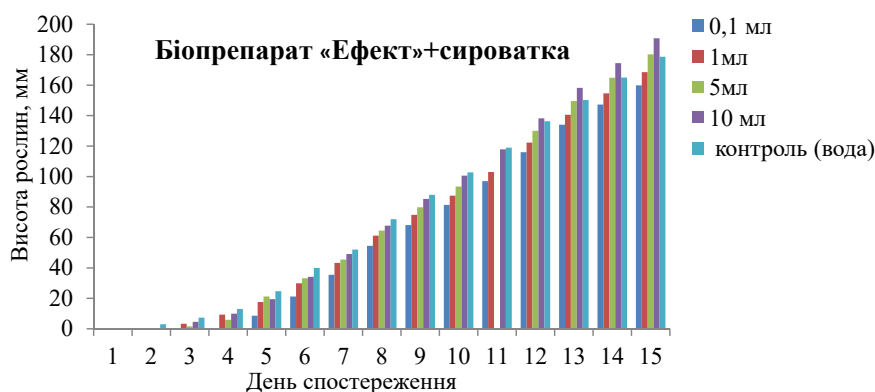


Рис. 5. Динаміка росту тест-об'єктів при обробці препаратами «Ефект» + сироватка при різних концентраціях розчину

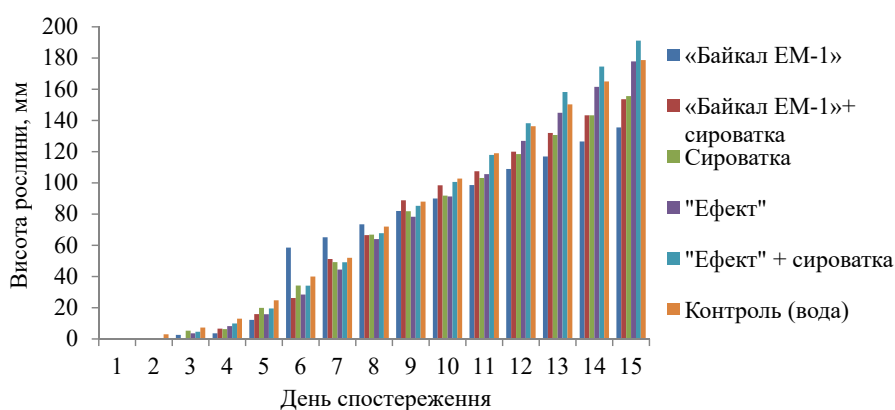


Рис. 6. Порівняльна характеристика росту тест-об'єктів



Рис. 7. Стан паростків вівса у кінці проведеного дослідження

ном 10%, мінімальна маса – при обробці розчином 0,1%;

– біопрепарат «Ефект»+сироватка: максимальне значення зеленої маси – після обробки розчином 5%, мінімальна маса – при обробці розчином 10%.

Для порівняння результатів зважування по кожному варіанту обробки біопрепаратами було взято максимальні показники маси, які були відмічені при концентрації розчинів в 10%. Порівняльний графік маси рослин вказаний на рис. 13.

Аналіз результатів зважування показує, що вплив ЕМ-препарату «Байкал ЕМ-1» на врожай-

ність тест-об'єктів майже збігався із контрольними зразками. Найменше значення зеленої маси мали зразки, оброблені розчином ЕМ-препарат «Байкал ЕМ-1»+сироватка. Найбільший вплив на показники врожайності мав розчин «Ефект»+сироватка.

**Головні висновки.** Дослідження з та порівняльний аналіз оцінки впливу розчинів біопрепаратів на показники схожості, динаміки росту та зеленої маси вівса посівного дозволило зробити наступні висновки:

– найбільш активна динаміка росту тест-об'єктів відзначалася при обробці сумішшю біопрепарату

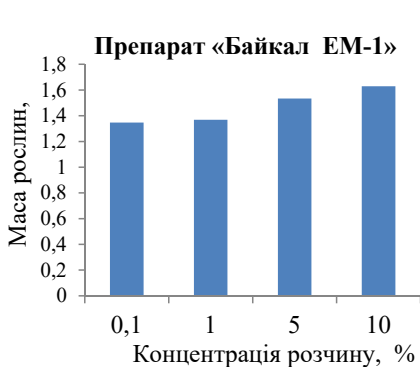


Рис. 8. Маса рослин після обробки препаратом «Байкал ЕМ-1»

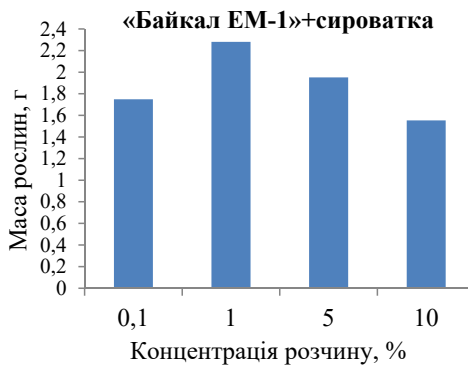


Рис. 9. Маса рослин після обробки препаратами «Байкал ЕМ-1» + сироватка

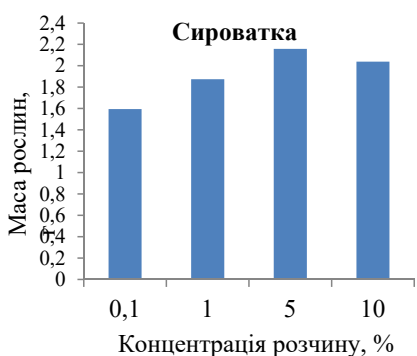


Рис. 10. Маса рослин після обробки сироваткою

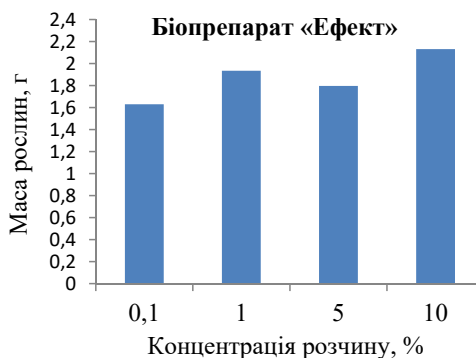


Рис. 11. Маса рослин після обробки біопрепаратом «Ефект»

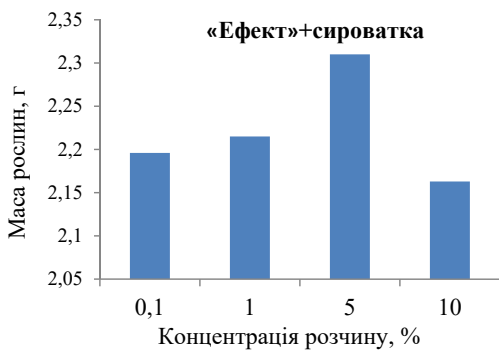


Рис. 12. Маса рослин після обробки біопрепарат «Ефект»+сироватка

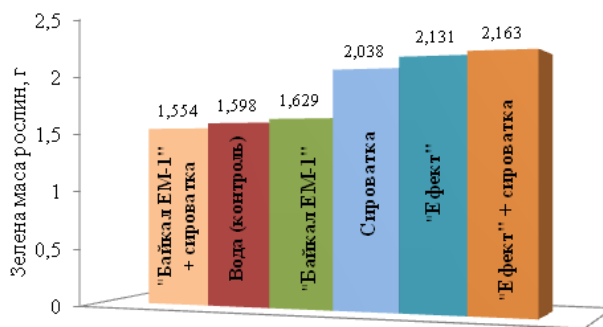


Рис. 13. Порівняння маси рослин при різних варіантах обробки біопрепаратами

«Ефект»+сироватка при 10-ти відсотковій концентрації розчину. При цьому найбільша висота паростків вівса склала 191,1 мм на 15-й день експерименту; – максимальні показники зеленої маси тест-об'єктів виявилися при застосуванні біопрепаратів «Ефект» + сироватка при концентрації розчину 5%.

Отже застосування мікробіологічних препаратів у поєднанні з сироваткою має позитивний ефект на ростові процеси рослин та їх якісні показники. Застосування біотехнологій на основі вискоєфективних мікроорганізмів дає змогу запропонувати

альтернативну стратегію екологічно стійкого землекористування, що базується на заміні мінеральних добрив мікробними препаратами. У зв'язку з цим створення препаратів на основі мікробних біоценозів, здатних зберігати свої основні властивості у конкретних агрокліматичних умовах, є перспективним напрямом і становить значний практичний інтерес. Передбачено проведення натурного експерименту в польових умовах для визначення ефективності досліджуваних препаратів з урахуванням впливу екологічних чинників навколишнього середовища.

## Література

1. Чудовська В. А. Органічне землеробство в умовах сталого розвитку сільських територій. *Науковий вісник НУБіП України*. 2011. № 163. С. 313–317.
2. Food and agriculture in the 2030. Driving action across the 2030 Agenda for Sustainable Development. Food and Agriculture Organization (FAO), 2017. 40 p.
3. Higa T., Parr J.F. Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment. Atami, Japan : International Nature Farming Research Center, 1994. Т. 1.
4. Roy A. Biofertilizers for Agricultural Sustainability: Current Status and Future Challenges. *Current Trends in Microbial Biotechnology for Sustainable Agriculture*. Springer Singapore, 2021, P. 525–553.
5. Grover M., Ali Sk. Z., Sandhya V., Rasul A., Venkateswarlu B. et al. Role of microorganisms in adaptation of agriculture crops to abiotic stresses. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2011. Vol. 27. № 5. P. 1231–1240.
6. Kumar S., Diksha, Sindhu S.S, Kumar R. Biofertilizers: An ecofriendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability. *Current Research in Microbial Sciences*. 2022. Vol. 3. 100094.
7. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015. United Nations. 35 p.
8. Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року. Указ Президента України № 722/2019 від 30.09.2019. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text>.
9. Цілі сталого розвитку: Україна. Національна доповідь. Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, 2017. 176 с.
10. Зеленянська Н.М., Бах Н.К. Вплив ЕМ-препаратів на розвиток кореневої системи щеплених саджанців винограду. *Таврійський науковий вісник*. 2018. № 102. С. 26–33.
11. Трохименко Г.Г., Магась Н.І., Ахмедова В.Р. Застосування ЕМ-препаратів як одного з можливих методів доочищення стічних вод підприємства пивоваріння від нітратів. *Екологічні науки*. 2018. № 1(20). Том. 1. С. 66–70.
12. Сучасні технології відтворення родючості ґрунтів та підвищення продуктивності агросистем : за ред. Ю. О. Тараріко. Київ : Аграрна наука, 2004. 126 с.
13. Рижука С.М., Медведєва В.В. Технологія відтворення родючості ґрунтів у сучасних умовах : під ред. Київ : 2003. 213 с.
14. Чухрій Ю.П. Біоіндикація. Біотестування. Біомоніторинг. Одеса : ОНАХТ, 2014. 41 с.
15. Мусієнко М.М. Фітоіндикація та фіто моніторинг. Екологія рослин. Київ : 2006. 404 с.
16. Дідух Я.П. Основи біоіндикації. Київ : Наукова думка, 2012. 312 с.
17. Губачов О.І. Особливості використання рослин для біотестування ґрунтів з метою визначення рівня екологічної безпеки промислових територій. *Нові технології. Науковий вісник КВЕІТУ*. 2010. № 3 (29). С. 164–171.
18. Біологічні препарати. URL: <https://biochem-service.com.ua/bacteriyi/biopreparaty/>.

## ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЗАСТОСУВАННЯ БІОВУГІЛЛЯ ЯК ДОМІШКИ У ВЕРХНІЙ ШАР ҐРУНТУ ШТУЧНОГО РЕКУЛЬТИВОВАНОГО ПРОФІЛЮ

Харитонов М.М.<sup>1</sup>, Клімкіна І.І.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Дніпровський державний аграрно-економічний університет  
вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, м. Дніпро

<sup>2</sup>Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»  
пр. Дмитра Яворницького, 19, 49005, м. Дніпро

Три енергетичні однорічні культури (кукурудзу, суданську траву та цукрове сорго) вирощували в модельному експерименті у вегетаційних посудинах з двома типами ґрунтів: насипному шарі чорнозему (НШЧ) та червоно-бурої глини (ЧБГ). Схожість насіння кукурудзи та цукрового сорго підвищилася на 8–15%. Висота проростків суданської трави була на 13% вищою у варіанті НШЧ + біовугілля і на 30% нижчою у варіанті ЧБГ + біовугілля. Сходи сорго цукрового, навпаки, були нижчими у варіанті НШЧ + біовугілля та трохи вищими у варіанті ЧБГ + біовугілля. Найбільш виражений ефект від додавання біовугілля спостерігався на червоно-бурій глині для рослин цукрового сорго. Для суданської трави значне збільшення біомаси відмічено лише на чорноземах – 36–48%, тоді як на червоно-бурих глинах воно становило лише 4–9%. Приріст біомаси кукурудзи не перевищував 10% на чорноземах і 30% на червоно-бурих глинах. Додавання біовугілля в субстрати у найбільшому ступені впливало на зростання кореневої біомаси цукрового сорго. Серед досліджуваних енергетичних культур найменшу здатність накопичувати важкі метали мала кукурудза. У кукурудзи, вирощеної на чорноземі, накопичення важких металів після додавання біовугілля зменшилося в середньому на 13–24,5%. Найбільший ефект від додавання біовугілля спостерігався для цинку (42,7%). Не було виявлено жодного впливу на засвоєння заліза. Інтенсивність накопичення марганцю у суданської трави, вирощеної на чорноземі знизилася більше, ніж інших металів (на 31,4%). Водночас на червоно-бурій глині цей ефект не спостерігався. В експерименті з цукровим сорго найбільший ефект від додавання біовугілля спостерігався для міді. Накопичення цього металу на чорноземі зменшилось на 44,1%, на червоно-бурій глині – на 42,4%. Також на червоно-бурій глині відзначено значне зниження вмісту цинку (33,3%). *Ключові слова:* біовугілля, ґрунт, гірська порода, енергетичні культури, важкі метали.

**Ecological assessment of the application of biochar as an amendment in the top soil of artificial reclaimed profile. Kharytonov M., Klimkina I.**

Three energy annual crops (maize, sudan grass and sweet sorghum) were grown in a model pot experiment with two types of soils: bulk layer of black soil (BS) and red-brown clay (RBC). The similarity of corn and sweet sorghum seeds increased by 8–15%. The height of the seedlings of sudan grass was 13% higher in the BS + biochar treatment and 30% lower in the RBC + biochar treatment. Sweet sorghum seedlings, on the contrary, were lower in the BS + biochar treatment and slightly higher in the RBC + biochar variant. The most pronounced effect of adding biochar was observed on red-brown clay for sugar sorghum plants. For sudan grass, a significant increase in biomass was noted only on chernozems – 36–48%, while on red-brown clays it was only 4–9%. The increase in the biomass of corn did not exceed 10% on chernozem and 30% on red-brown clay. The addition of biochar to the substrates had the greatest effect on the growth of root biomass of sweet sorghum. Among the studied energy crops, corn had the least ability to accumulate heavy metals. In corn grown on chernozem, the accumulation of heavy metals after the addition of biochar decreased on average by 13–24,5%. The greatest effect of adding biochar was observed for zinc (42,7%). No effect on iron absorption was found. The intensity of manganese accumulation in Sudanese grass grown on chernozem decreased more than other metals (by 31,4%). At the same time, this effect was not observed on red-brown clay. The greatest effect of adding biochar was observed for copper in the experiment with sweet sorghum. The accumulation of this metal on chernozem decreased by 44,1%, on red-brown clay by 42,4%. Also, a significant decrease in the zinc content (33,3%) was noted on the red-brown clay. *Key words:* biochar, soil, rock, energy crops, heavy metals.

**Постановка проблеми.** Активна техногенна діяльність людини сприяє швидкому збільшенню кількості малопродуктивних земель, що характеризуються низькою родючістю, високим ступенем ерозії, високою кислотністю або лужністю, засоленням, а також забрудненням важкими металами та іншими токсичними елементами. Зазвичай, такі ґрунти не придатні для вирощування сільськогосподарських культур. Тому технологічно порушені землі все частіше розглядаються як потенційні території для вирощування енергетичних культур для переробки біомаси на біоетанол та пелети. Одним із шляхів

вирішення проблеми отримання стабільних економічно вигідних врожаїв на маргінальних землях є використання різноманітних ґрунтополіпшувачів, які підвищують продуктивність і знижують токсичність ґрунту.

**Метою роботи є:** визначення впливу від внесення біовугілля як домішки у техногенно забруднений ґрунт на схожість трьох видів однорічних культур, їх біометричні показники та вміст важких металів в наземній та кореневій біомасі.

**Актуальність дослідження.** Існує багато доказів успішного вирощування різних швидкозростаючих

рослин на маргінальних землях [1–3]. Одним із шляхів вирішення цього завдання є використання різноманітних ґрунтополіпшувачів, які підвищують продуктивність і знижують токсичність ґрунту [4–5].

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Зазвичай проблема фіксації важких металів у прикореневому шарі ґрунту вирішувалася за рахунок контролю рН ґрунту, внесення вапна чи гіпсу, додаванням різних мінералів сорбентів. Але цей шлях пов'язаний із використанням не відновлюваних джерел викопної сировини тобто з їхнім видобутком. Застосування біовугілля як сорбента пов'язано із сучасними науковими напрямками, які відповідають вимогам європейської регенеративної економіки і дають можливість реалізації безвідходних технологій виробництва біосировини. Додатковою перевагою використання біовугілля на техногенне забруднених землях є перспектива утилізації вуглецю тим самим зменшуючи вихід парникових газів.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Не зовсім дослідженими є вплив нових форм ґрунтових домішок на доступність важких металів у рослини, які вирощують на техногенне забруднених ґрунтах.

**Новизна.** У роботі вперше здійснено порівняння впливу від додавання біовугілля у два різні за буферною ємністю субстрати, які були використані як складові штучного профілю рекультивації шахтних відвалів.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** В умовах Павлоградського стаціонару порушених земель ДДАЕУ у були закладені вегетаційні досліди по вивченню впливу домішки біовугілля на основні біометричні показники біоенергетичних рослин та вміст важких металів у надземній та підземній біомасі суданки, кукурудзи та цукрового сорго.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Біовугілля, отримане в результаті карбонізації органічних відходів, можна розглядати як альтернативну домішку, яка може не тільки впливати на поглинання вуглецю ґрунтом, але й покращувати його продуктивні властивості [6–7]. Є різні дані про вплив біовугілля на стан та родючість ґрунту [8]. Залежно від умов вирощування, методів застосування та фізико-хімічних властивостей біовугілля врожайність може збільшуватися, залишатися незмінною або навіть знижуватися. Все більшої актуальності набуває питання використання екологічно чистих природних сполук для детоксикації забруднених ґрунтів. Згідно з багатьма дослідженнями, біовугілля може знизити концентрацію важких металів у пагонах рослин, залежно від норми внесення, типу ґрунту та виду металу, від 17% до 60% [9–12].

**Методи дослідження.** Зразки забрудненого важкими металами ґрунту для цього дослідження були відібрані у двох місцях біля шахт «Павлоградська»

та «Благодатна» у вугледобувному регіоні Західного Донбасу. Основу рекультивованих ділянок становили відвали з шахтних порід (ШП) потужністю 8–10 м, перекриті різними шарами чорнозему або червоно-бурої глини шляхом створення двох типів штучних профілів рекультивованих відвалів рекультивації з внесенням 30 см чорнозему (30 см НШЧ + ШП) і 50 см червоно-бурої глини (50см ЧБГ+ ШП). Дослідні зразки ґрунту чи червоно-бурої глини змішували з біовугіллям у кількості 3,0% (мас./мас.). Біовугілля, застосоване в цьому дослідженні, було отримано шляхом піролізу горіхової шкаралупи. Зразки чорнозему та червоно-бурої глини (0,5 кг) необробленого та обробленого біовугіллям з помішали в посудини. П'ять насінин кукурудзи, суданської трави та цукрового сорго були висаджені в кожную посудину, а потім проріджувалися до 3 рослин після проростання. Усі горщики щодня доводили до вмісту води 75% польової ємності за вагою. Схожість і показники росту досліджували біометричними методами. Визначено вміст важких металів у надземній біомасі. Через 45 днів після посадки пагони кукурудзи, суданської трави та рослин цукрового сорго зрізали на поверхні ґрунту та промивали дистильованою водою. Пагони та коріння сушили в сушильній шафі та зважували на вихід сухої речовини. Біомасу пагонів масою 2 г кожна спалювали в муфельній печі при 450 °С, а потім розчиняли в 5 мл 6 н. соляної кислоти спектральної чистоти. Зольні витяжки доводили дистильованою водою до об'єму 50 мл. Підготовлені розчини були проаналізовані на Fe, Mn, Zn, Cu та Pb на атомно-абсорбційному спектрофотометрі Varian Cary-50. Отримані дані являли собою середнє арифметичне трьох повторень кожного зразка, їх діапазони та значення стандартних відхилень.

**Виклад основного матеріалу.** Серед досліджуваних рослин найбільший ефект відзначено для кукурудзи та сорго цукрового. Схожість покращилася на 8–15% (рис. 1). Водночас відмінності у схожості суданської трави були незначними.

При додаванні біовугілля до субстратів з кукурудзою відбулося збільшення росту. Висота проростків суданської трави була на 13% вищою у варіанті НШЧ + біовугілля і на 30% нижчою у варіанті ЧБГ+ біовугілля. Сходи сорго цукрового, навпаки, були нижчими у варіанті НШЧ + біовугілля та трохи вищими у варіанті ЧБГ+ біовугілля (рис. 2).

Незважаючи на деякий ефект, який пригнічує вертикальний ріст досліджуваних рослин, додавання біовугілля сприяло збільшенню надземної та кореневої біомаси (рис. 3 та 4).

Найбільш виражений ефект спостерігався на червоно-бурій глині для рослин сорго цукрового. Для суданської трави значне збільшення біомаси відмічено лише на чорноземах – 36–48%, тоді як на червоно-бурих глинах воно становило лише 4–9%. Приріст біомаси кукурудзи не перевищував 10% на чорноземах і 30% на червоно-бурій глині.

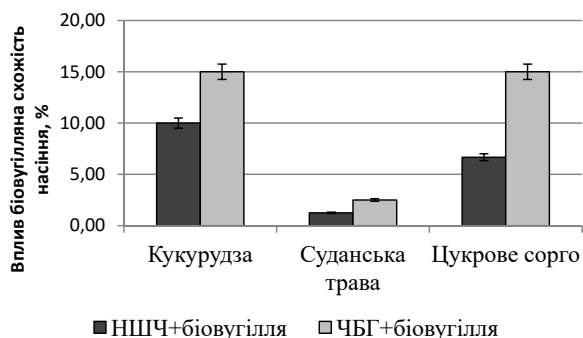


Рис. 1. Вплив біовугілля на проростання насіння

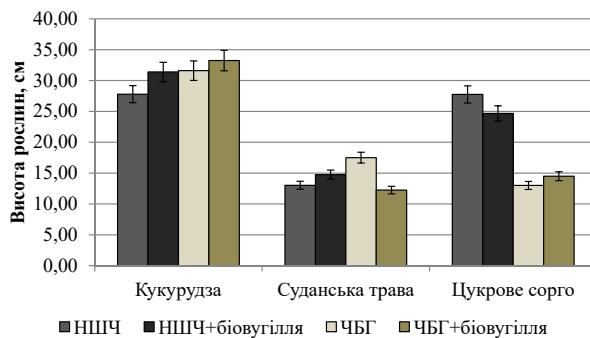


Рис. 2. Висота досліджуваних рослин, см

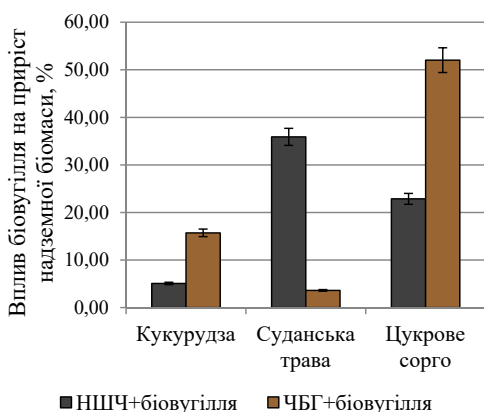


Рис. 3. Вплив біовугілля на приріст надземної біомаси, %

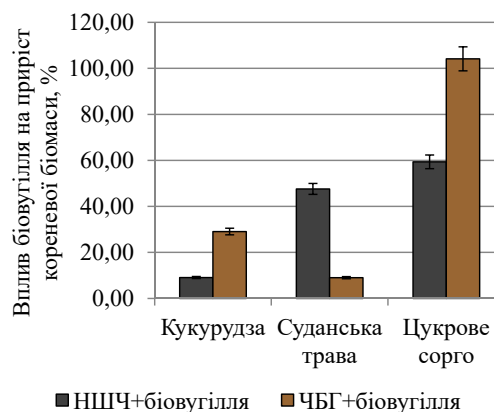


Рис. 4. Вплив біовугілля на ріст біомаси коренів, %

Виявлено, що співвідношення надземної та підземної біомаси зменшується під впливом біовугілля (рис. 5).

Це свідчить про те, що додавання біовугілля в субстрати більшою мірою впливає на зростання кореневої біомаси, ніж надземної.

Серед досліджуваних енергетичних культур найменшу здатність накопичувати важкі метали має кукурудза (табл. 1). Винятком був лише марганець, вміст якого в біомасі суданської трави був дещо нижчим. Сорго цукрове було активним накопичувачем марганцю та міді як на субстратах, так і свинцю на чорноземі. При цьому суданська трава інтенсивно акумулювала залізо на обох субстратах, цинк на чорноземі та свинець на червоно-бурій глині. Під час експерименту знайшло підтвердження, що біовугілля сприяє зниженню вмісту важких металів у рослинній біомасі. Однак рослини по-різному відреагували на внесення біовугілля. У кукурудзи, вирощеної на чорноземі, накопичення важких металів зменшилося в середньому на 13–24,5%. Найбільший ефект спостерігався для цинку (42,7%). Не було виявлено жодного впливу на засвоєння заліза. У біомасі, вирощеній на червоно-бурій глині, додавання біовугілля найбільше вплинуло на накопичення цинку та свинцю, знизивши їх вміст на 36,8% та 37,2% відповідно.

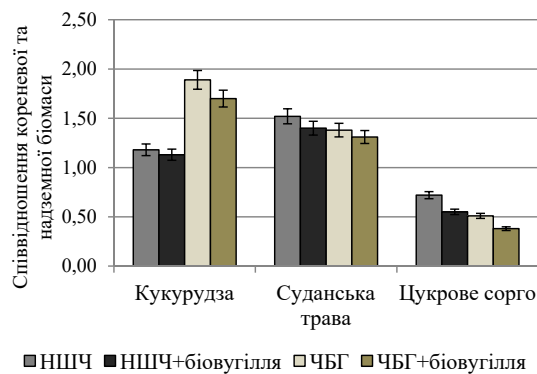


Рис. 5. Співвідношення надземна біомаса/коренева біомаса

Вміст заліза зменшився на 27,4%, міді – на 17,4%, марганцю – на 10,2%. Інтенсивність накопичення марганцю у суданської трави, вирощеної на чорноземі знизилася більше, ніж інших металів (на 31,4%). Водночас на червоно-бурій глині цей ефект не спостерігався. Дещо зменшився вміст заліза та міді, відповідно на 13,8% та 17,3%. Найбільший вплив відзначено для свинцю (30,9%) і цинку (37,8%). В експерименті з цукровим сорго найбільший ефект від додавання біовугілля спостерігався для міді. Накопичення цього металу на чорноземі зменши-



Таблиця 1

## Накопичення важких металів енергетичними культурами

Рослина	Варіанти дослідів	Уміст важких металів, мг/кг				
		Mn	Fe	Zn	Cu	Pb
Кукурудза	НШЧ	152,3±0,48	431,2±1,07	37,5±0,24	7,5±0,10	15,1±0,11
	НШЧ + біовугілля	115,0±0,90	412,5±0,75	21,5±0,15	6,5±0,07	12,5±0,10
	ЧБГ	166,7±0,72	460,5±1,27	37,8±0,30	11,5±0,14	32,5±0,15
	ЧБГ + біовугілля	149,7±0,54	334,4±0,84	23,9±0,12	9,5±0,12	20,4±0,16
Суданська трава	НШЧ	143,3±0,44	750,0±1,19	51,3±0,26	7,7±0,10	22,7±0,16
	НШЧ + біовугілля	98,3±0,32	560,0±0,93	37,7±0,23	6,7±0,08	18,3±0,14
	ЧБГ	89,3±0,44	1032,0±1,49	61,4±0,35	20,2±0,16	42,0±0,22
	ЧБГ + біовугілля	82,1±0,49	889,3±1,61	38,2±0,14	16,7±0,12	29,0±0,15
Цукрове сорго	НШЧ	212,5±0,40	708,3±1,16	49,6±0,39	25,4±0,18	32,1±0,17
	НШЧ + біовугілля	189,6±0,64	615,4±1,34	45,0±0,18	14,2±0,15	29,2±0,15
	ЧБГ	182,1±0,47	991,7±0,88	62,5±0,26	30,4±0,21	35,0±0,18
	ЧБГ + біовугілля	164,2±0,36	766,7±0,69	41,7±0,18	17,5±0,15	33,3±0,17

лось на 44,1%, на червоно-бурій глині – на 42,4%. Також на на червоно-бурій глині відзначено значне зниження вмісту цинку (33,3%).

**Головні висновки.** Додавання біовугілля дещо покращує схожість насіння суданської трави – від 1,5% до 2,5%. Для кукурудзи та цукрового сорго цей показник вищий – від 8% до 15%. Під впливом біовугілля також посилюється приріст як надземної, так і кореневої біомаси. Для рослин кукурудзи та сорго цукрового найбільш виражений ефект виявляється на червоно-бурій глині, а для суданської трави – на чорноземі. Досліджувані рослини не є гіперакумуляторами важких металів. Серед досліджуваних видів кукурудза має найменшу поглинальну здатність. Біовугілля опосередковано впливає на інтен-

сивність накопичення важких металів, знижуючи їх рухливість і доступність для рослин. Тип субстрату і вид рослини також мають значення. В обох варіантах дослідів з кукурудзою найбільше на накопичення цинку вплинуло внесення біовугілля. У досліді з суданкою на чорноземі найбільший ефект спостерігався за марганцем, а на червоно-бурій глині – за цинком і свинцем. У досліді з цукровим сорго найбільш виражена реакція пройшла на мідь на обох субстратах, а на цинк лише на червоно-бурій глині.

**Перспективи використання результатів досліджень.** У подальшому матеріали досліджень можуть бути використані при розробці технологій підвищення буферної ємності техногенно забрудненого ґрунту.

## Література

- Zhuang D., Jiang D., Liu L., Huang Y. 2011. Assessment of bioenergy potential on marginal land in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(2), 1050–1056. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.041>.
- Stoof, C.R., Richards, B.K., Woodbury, P.B. et al. 2015. Untapped Potential: Opportunities and Challenges for Sustainable Bioenergy Production from Marginal Lands in the Northeast USA. *Bioenerg. Res.*, 8, 482–501. <https://doi.org/10.1007/s12155-014-9515-8>
- Mehmood M.A., Ibrahim M., Rashid U., Nawaz M., Ali S., Hussain A., Gull M. 2017. Biomass production for bioenergy using marginal lands. *Sustainable Production and Consumption*, 9, 3–21. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2016.08.003>.
- Lehmann J., Rillig M.C., Thies J., Masiello C.A., Hockaday W.C., Crowley D. 2011. Biochar effects on soil biota – A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(9), 1812–1836. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.04.022>.
- Schulz H., Dunst G., Glaser B. 2013. Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility. *Agron. Sustain. Dev.*, 33, 817–827. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0150-0>
- Chan, K.Y., Zwieten, L.V., Meszaros, I., Downie, A., Joseph, S., 2007. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Aust. J. Soil Res.* 45, 629–634.
- Mašek O., Brownsort P., Cross A., Sohi S. 2013. Influence of production conditions on the yield and environmental stability of biochar. *Fuel*, 103, 151–155. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.08.044>
- Ippolito J.A., Laird D.A., Busscher W.J. 2012. Environmental Benefits of Biochar. *Journal of Environmental Quality*, 41(4), 967–972. <https://doi.org/10.2134/jeq2012.0151>
- Al-Wabel M.I., Usman A.R.A., El-Naggar A.H., Aly A.A., Ibrahim H.M., Elmaghraby S., Al-Omran A. 2015. Conocarpus biochar as a soil amendment for reducing heavy metal availability and uptake by maize plants. *Saudi Journal of Biological Sciences*. Vol. 22. P. 503–511.
- Kim, H.S., Kim, K.R., Kim, H.J. Yoon J.H., Yang J.E., Ok Y.S., Owens G., Kim K.H. 2015. Effect of biochar on heavy metal immobilization and uptake by lettuce (*Lactuca sativa* L.) in agricultural soil. *Environ. Earth Sci.*, 74, 1249–1259. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4116-1>

11. Chen D., Liu X., Bian R., Cheng K., Zhang X., Zheng J., Joseph S., Crowley D., Pan G., Li L. 2018. Effects of biochar on availability and plant uptake of heavy metals – A meta-analysis. *Journal of Environmental Management*, 222, 76–85. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.004>.
12. Wang Y., Liu Y., Zhan W., Zheng K., Wang J., Zhang C., Chen R. 2020. Stabilization of heavy metal-contaminated soils by biochar: Challenges and recommendations. *Science of the Total Environment*, 729, 139060. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139060>.

## ЕКОСОРБЕНТ НА ОСНОВІ РОСЛИНОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ДЕТОКСИКАЦІЇ КАДМІЮ У ГРУНТАХ

Хохлов А.В., Хохлова Л.Й., Ковтун М.Ф.

Інститут сорбції та проблем ендоекології Національної академії наук України

вул. Генерала Наумова, 13, 03164, м. Київ

techsorb@gmail.com, lkhokhlova@ukr.net,

khokhlova.lyudmila@gmail.com, mariakovtun96@gmail.com

Забруднення сільськогосподарських угідь важкими металами може призвести до підвищеного впливу на людину токсичних металів через передачу харчового ланцюга. У статті висвітлено результати досліджень фізико-хімічних, сорбційних та детоксикувальних властивостей відносно кадмію (Cd) модифікованих екосорбентів на основі рослинних матеріалів. Детоксикація кадмію сприяє відновленню ґрунтів, підвищенню їх продуктивності, отримання високоякісної та екологічно безпечної аграрної продукції. Запропоновано використання модифікованого сіркою біовугілля з лушпиння рису для створення активного сорбційного детоксиканту важких металів. Спосіб отримання сіркомісного біовуглецевого екосорбенту з рисового лушпиння являє собою одностадійний піроліз сировини спільно з сіркомісними реагентами при температурі 350–400 °С. Як модифікатор використовували тиосульфат натрію  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ . На основі отриманих результатів розраховано фізико-хімічні параметри процесу піролізу вихідної сировини та визначено оптимальні умови отримання та модифікації вуглецевого матеріалу. Результатом є сірко-модифіковане біовугілля. Аналіз отриманих зразків сорбенту показав наявність на його поверхні 23–35% зв'язаної сірки. Сіркомісний біовуглецевий сорбент (біовугілля) має здатність міцно зв'язувати іони Cd (II) на поверхні сорбенту в нерозчинну сульфідну форму, нейтралізуючи їх у водному та ґрунтовому середовищах. Отриманий екосорбент має термостійкість і механічну міцність. Екосорбент не містить компонентів, які можуть переходити у воду під час використання. У вегетативних дослідженнях ефективності екосорбенту використано фітоіндикатор металів – овес (*Avena sativa* L.). Встановлено, що екосорбенти на основі модифікованого сіркою біовугілля з рисового лушпиння можуть бути використані як ефективний, доступний, екологічно чистий і недорогий сорбційний матеріал для детоксикації іонів кадмію в ґрунтах. *Ключові слова:* адсорбція, важкі метали, рисове лушпиння, піроліз, біовугілля, сульфідні, детоксикація.

### Ecosorbent based on vegetable raw materials for cadmium detoxification in soils. Khokhlov A., Khokhlova L., Kovtun M.

Contamination of agricultural land with heavy metals can lead to increased human exposure to toxic metals through food chain transmission. The article highlights the results of research into the physicochemical, sorption and detoxification properties of modified ecosorbents based on plant materials in relation to cadmium (Cd). Cadmium detoxification contributes to the restoration of soils, increasing their productivity, obtaining high-quality and ecologically safe agricultural products. The use of sulfur-modified biochar from rice husks to create an active sorption detoxifier of heavy metals is proposed. The method of obtaining a sulfur-containing biocarbon ecosorbent from rice husk is a one-stage pyrolysis of raw materials together with sulfur-containing reagents at a temperature of 350–400 °C. Sodium thiosulfate  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  was used as a modifier. Based on the obtained results, the physicochemical parameters of the pyrolysis process of the raw material were calculated and the optimal conditions for obtaining and modifying the carbon material were determined. The result is sulfur-modified biochar. Analysis of the obtained sorbent samples showed the presence of 23–35% bound sulfur on its surface. Sulfur-containing biocarbon sorbent (biochar) has the ability to firmly bind Cd (II) ions on the surface of the sorbent in an insoluble sulfide form, neutralizing them in water and soil environments. The resulting ecosorbent has heat resistance and mechanical strength. Ecosorbent does not contain components that can pass into water during use. A phytoindicator of metals – oats (*Avena sativa* L.) was used in vegetative studies of the efficiency of the ecosorbent. It has been established that ecosorbents based on sulfur-modified biochar from rice husk can be used as an effective, affordable, environmentally friendly and inexpensive sorption material for detoxification of cadmium ions in soils. *Key words:* adsorption, heavy metals, rice husk, pyrolysis, biochar, sulfides, detoxification.

**Постановка проблеми.** Хімічні елементи та їхні сполуки потрапляючи в ґрунт зазнають ряд перетворень, розсіюються або накопичуються в ньому. Ґрунт, забруднений важкими металами становить реальну небезпеку для здоров'я людей та навколишнього середовища. Методи очищення залежать від рівня забруднення ґрунтів залишковими кількостями та для різних регіонів мають специфічні відмінності. Впровадження новітніх технологій очищення та відновлення забруднених важкими металами ґрунтів мають першорядне значення для економічного і соціального розвитку країни. Встановлено, що в ґрунтах діють механізми, які призводять до трансформації техноген-

них потоків, зв'язування ксенобіотиків в малорухомі і недоступні для рослин форми. Проте, діють ці механізми в певних межах. Тому екологічна ситуація, що обумовлена техногенним впливом на ґрунти, може змінюватися від сприятливої до катастрофічної. В даний час розроблені численні способи отримання сорбентів, застосування яких дозволяє повертати в природний обіг очищений ґрунт. Ефективність застосування сорбентів для очищення забруднених важкими металами ґрунтів визначається головним чином їх сорбційною активністю. Залучення нових типів сорбентів з відновлюваної сировини, зокрема сільськогосподарських відходів, з метою отримання активних сорбентів для

детоксикації важких металів в ґрунтах актуально як в науковому, так і практичному відношенні.

**Актуальність досліджень.** Актуальним є спільне рішення двох завдань: екологічної – утилізація рисового лушпиння і технологічної – виробництво ефективних сорбентів для вирішення екологічних завдань. Метою досліджень було дослідити можливість отримання вуглецевого модифікованого сіркою ексорбенту з рисового лушпиння для міцного зв'язування важких металів і їх детоксикації в ґрунтах, оцінити ефективність дії ексорбента для знешкодження токсичного кадмію в прикореневому шарі ґрунту.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Наявність підвищених концентрацій важких металів у потоках відходів створює проблеми для відновлення навколишнього середовища. Кадмій, маючи надзвичайно високу токсичність, легко пересувається у ґрунтах, швидко засвоюється і накопичується у рослинах. Внаслідок значної акумуляції у них кадмію спостерігається почервоніння і хлороз листків, стебел, черешків. Для ґрунтів встановлено ГДК в нашій країні – 3 мг/кг для валових форм і 0,7 мг/кг – для рухомих [1–3]. Більш інтенсивно надходить Cd у рослини на кислих ґрунтах і значно менше на нейтральних і лужних.

Для очищення екосистем від важких металів існують різні методи. Серед заходів детоксикації надлишку важких металів у ґрунті можна виділити такі як, вапнування ґрунту. Встановлено, що при рН 6,5 спостерігається найменша розчинність важких металів. Вапно значно знижує надходження кадмію в рослини. Застосування гною, торфу, органіко-мінеральних компонентів та інших дозволяє використовувати властивість багатьох органічних сполук до комплексоутворення з важкими металами. Утворені металоорганічні комплекси є малорухомими. Використання органічних добрив збагачує ґрунти органічним вуглецем і елементами мінерального живлення рослин. Значну здатність до детоксикації важких металів мають фосфорні добрива, що розглядається як один з важливих заходів інактивації надлишкових важких металів. Для детоксикації надлишку важких металів у ґрунті ефективним є використання цеолітів як природних, так і штучних. Слід зазначити, що це відноситься до металів, що знаходяться у ґрунтового розчині у вигляді катіонів [3]. Глибина проникнення важких металів у забруднених ґрунтах звичайно не перевищує 20 см, проте при сильному забрудненні вони здатні проникати на глибину до 160 см. Найбільшою міграційною здатністю характеризуються Hg і Zn, які, як правило, рівномірно розподіляються у шарі ґрунту на глибині 0–20 см. Pb частіше накопичується у поверхневому шарі (0–2,5 см), Cd займає проміжне положення між ними. Форми знаходження важких металів у ґрунті різні. В ґрунтового розчині – у формі вільних катіонів і асоціатів з компонентами розчину; у твердій

частині ґрунтової маси – у формі обмінних катіонів і їхніх заряджених комплексних сполук, адсорбованих на поверхні ґрунтових часточок; у вигляді ізоморфних домішок у структурах глинистих мінералів. Кадмій, в основному, знаходиться в обмінній формі, а з оксидами заліза зв'язана лише невелика його кількість.

Очищення ґрунтів має певні складності. Фізичне видалення ґрунту є найдавнішим методом рекультивациі забрудненого ґрунту. Спосіб передбачає повне видалення забруднень і відносно швидке очищення забрудненої ділянки ґрунту [4]. До недоліків можна віднести те, що забруднення просто переміщується в інше місце, де необхідно контролювати стан забрудненого ґрунту. Також під час видалення та транспортування забрудненого ґрунту є ризик поширення забрудненого ґрунту та частинок пилу.

Інші методи очищення ґрунту від важких металів, включаючи хімічне осадження, окислення або відновлення, фільтрацію, іонний обмін, зворотний осмос, мембранну технологію, випаровування та електрохімічну обробку, практично є неефективними якщо концентрація важких металів становить менше 100 мг/л [5–6]. Більшість солей важких металів знаходяться розчиненими у воді та стічних водах, де їх фізичними методами неможливо розділити. Біологічні методи, такі як біосорбція або біоаккумуляція для видалення важких металів, є альтернативою фізико-хімічним методам. Одним із можливих методів є електромеліорація [7]. Вилуговування важких металів за межами ґрунтового профілю водою є неефективним через їх низьку розчинність та значну міцність зв'язку в ґрунтового поглинаючому комплексі [8]. Можливе очищення ґрунту від важких металів промиванням розчинами поверхнево-активних речовин або розчинами, що містять сильні окислювачі. При вилугованні вміст важких металів (Zn, Pb, Cd, Ni, Cu, As) зменшується на 85–95%.

Задовільні результати при очищенні ґрунту від важких металів має фітоекстракція. Деякі види рослин (індійська гірчиця, люцерна та інш.) можуть поглинати важкі метали і концентрувати їх у своїй біомасі. Рекультивациа ґрунтів або їх очищення від забруднення рослинами є екологічно безпечним та прогресивним методом [9–11]. Але, очищення ґрунтів від важких металів вирощуванням рослин – фіто-меліорантів вимагає їх повного видалення з ґрунту до закінчення цвітіння та відмирання нижнього листя з подальшою утилізацією. Крім того, для ефективного видалення важких металів із ґрунту необхідно передбачити кілька циклів вирощування культур фіто-меліорантів. Зола, отримана після спалювання, вважається небезпечним відходом і потребує утилізації. Показано, що при вирощуванні на забруднених ґрунтах, навіть фіто-меліорантів-гіперакумулятивів, вміст таких металів, як свинець, кадмій та мідь у зразках рослин на надземній частині не перевищує 1,2; 0,5–1 і 10–12 мг/г сухої маси відповідно [12].

Існують і біологічні заходи, що діють у тому ж напрямку. До них відноситься вирощування толерантних культур чи сортів, технічних і лісових культур, розведення квітів. Як надзвичайний захід пропонується створення нового орного горизонту як за рахунок плантажної оранки, що забезпечує захоплення шару на глибині 40–50 см і вивертання на поверхню підорного незабрудненого, так і шляхом створення насипної товщі за рахунок ґрунту, привезеного з незабрудненої території. Можливе також видалення токсичного шару і розміщення на його місці чистого ґрунту. Важкі метали, що потрапили у ґрунт, перш за все їхня мобільна форма, підлягають різним трансформаціям. Один з основних процесів, що впливають на їхню частку у ґрунті є закріплення гумусом. Міграційні можливості при цьому в основному знижуються.

Важливе місце в комплексі заходів, спрямованих на ліквідацію техногенного забруднення, займають сорбційні методи очищення ґрунтів. Сорбенти на основі активованого вугілля, цеолітів, природних матеріалів і мінералів з високою ємністю катіонного обміну можуть бути використані для очищення екосистем від важких металів. Зв'язування їх рухомих форм у важкорозчинні сполуки (сульфіди, карбонати, фосфати, гідроксиди тощо) на поверхні сорбентів при внесенні в ґрунт сприяє зниженню токсичності важких металів. Залежно від рівня забруднення та призначення ґрунту існують різні способи здійснення сорбційної обробки. У разі незначного забруднення сільськогосподарських ґрунтів сорбенти вносяться на глибину родючого шару і, як правило, не підлягають видаленню з обробленого ґрунту.

Рослинні відходи – перспективний відновлюваний природний матеріал для створення екосорбентів. Перетворення цих відходів на сорбційно-активні матеріали одночасно дозволяє отримувати життєво важливі матеріали, такі як активоване вугілля, та вирішує проблему забруднення навколишнього середовища сільськогосподарськими відходами. Біовугілля – це пірогенний чорний вуглець, отриманий у результаті термічної деградації (піролізу) багатого вуглецем біомаси в безкисневому середовищі. В останні роки біовугілля привернуло все більшу увагу через його багатofункціональність, включаючи поглинання вуглецю та підвищення родючості ґрунту [13].

Кілька останніх публікацій надали докази чудової здатності біовугілля іммобілізувати органічні та неорганічні токсиканти у системах ґрунту та води [14]. У той час як більшість органічних забруднювачів піддаються біологічному розкладанню, неорганічні забруднювачі, в основному важкі метали, не піддаються біологічному розкладанню і можуть передаватися по харчовому ланцюгу шляхом біоаккумуляції. Біовугілля все більше розглядається як альтернативний агент у технологіях зниження токсичності важких металів у довкіллі.

**Мета роботи.** Дослідження фізико-хімічних, сорбційних та детоксикаційних властивостей модифікованих екосорбентів на основі рослинної сировини для зниження токсичної дії важких металів у ґрунтах. Термообробкою в безкисневій атмосфері отримання аморфізованого біовугілля з рисового лушпиння та сірко-модифікованого біовугілля. Детоксикація накопичених у ґрунтах важких металів (кадмію) з метою їх відновлення, підвищення продуктивності та отримання високоякісної та екологічно безпечної аграрної продукції. Використанням природної, екологічно чистої сировини розроблено активний екологічний сорбент – детоксикант.

**Матеріали та методи досліджень.** Об'єктами дослідження були: вихідне рисове лушпиння; піролізоване лушпиння – біовугілля; біовугілля, модифіковане сіркою. Рисове лушпиння містить: лігнін – 0,5%; целюлоза – 48,2%; геміцелюлоза – 35,1%; речовини, нерозчинні у воді – 2,6%. Результати досліджень показують, що термічна обробка рисового лушпиння без доступу кисню повітря супроводжується руйнуванням целюлози та лігніну та одержанням з них вуглецевого матеріалу (біовугілля).

Виходячи з хімічного складу рисового лушпиння, даний матеріал слід вважати природним кремнійорганічним з'єднанням. Технологія переробки рисового лушпиння передбачає отримання цільової товарної продукції. Технологічний процес отримання товарної продукції з рисового лушпиння включає в себе ряд операцій, пов'язаних з фізико-хімічними перетвореннями. Необхідність в операціях, пов'язаних з механічним впливом, таких як подрібнення і класифікація відсутня, тому що рисове лушпиння має гранулометричний склад, що забезпечує оптимальну термічну обробку в безкисневій атмосфері. Якщо рисове лушпиння, що надходить в реактор, має природну вологість приблизно 10%, необхідність в попередньому проведенні операції сушки сировини недоцільна. Певні умови піролізу підбираються залежно від необхідності отримання того чи іншого продукту. Для виробництва біовугілля повільний піроліз дозволяє отримати максимальну кількість біовугілля. Піроліз при високих температурах (звичай вище 700 °С) не підходить для отримання біовугілля, оскільки виходить невелика кількість біовугілля. За своєю структурою біовугілля належить до класу вуглецевих речовин із характерною будовою. Елементи Н, О, N, Р і S входять в структуру як гетероатоми, що пояснює реакційну здатність біовугілля.

У даній роботі вивчено особливості отримання та хімічної модифікації біовугілля. Структурним елементом карбонізованої речовини є атомна сітка полімеризованого вуглецю. Наявність у біовугілля мікро- та мезопор зумовлює його високу внутрішню питому поверхню. Властивості поверхні поверхні вуглецевого матеріалу оцінювали за загальноприйнятими методиками визначення показників: питомої поверхні; вміст кислотних і карбоксильних груп.

На основі отриманих результатів розраховано фізико-хімічні параметри процесу піролізу сировини та визначено оптимальні умови отримання вуглецевого матеріалу. При дослідженні структурно-пористих, сорбційних та іонообмінних властивостей вихідної та піролізованої лігноцелюлозної біомаси використовували як традиційні, так і спеціальні методи.

Характеристики пористої структури (питома поверхня, загальний обсяг пір, діаметр пір) визначали методом низькотемпературної адсорбції азоту. Питому поверхню зразків вуглецевого матеріалу з рослинних відходів, одержаних піролізом, контролювали за величиною адсорбції йоду. Максимальне значення питомої поверхні біовугілля за умов піролізу рисового лушпиння досягало 450 м<sup>2</sup>/г. Питому поверхню та обсяг пор визначають за ізотермою адсорбції-десорбції азоту. Питома поверхня характеризує площу поверхні адсорбенту, де здатні адсорбуватися адсорбати молекулярної природи. Характеристика важлива для порівняння різних адсорбентів між собою, а також для оцінки поглинаючої здатності адсорбенту. Об'єм пор характеризує доступний обсяг пор адсорбенту, в якому адсорбати здатні абсорбуватися. Метод визначення статичної обмінної ємності полягає у визначенні кількості іонів, поглинутих із постійного обсягу робочого розчину на одиницю маси сорбенту.

Сорбційні досліді проводили в статичних умовах на розчинах Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 4H<sub>2</sub>O та водних витяжках із ґрунтів, забруднених іонами важких металів.

Питома поверхня та об'єм пор визначаються за ізотермою адсорбції-десорбції азоту при 77К. Ізотерми адсорбції-десорбції азоту вимірювали за допомогою газоадсорбційного аналізатора AUTOSORB-6B (Quantachrome, США). Параметри пористої структури розраховували за програмою AUTOSORB-1 (Quantachrome, США).

Модифікація біовугілля сіркою дає можливість отримати сірковмісне біовугілля. Як модифікатор використовували тіосульфат натрію Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Сірковмісний модифікатор дифундує у внутрішню структуру вуглецевої матриці під час піролізу, розширюючи наявні пори та створюючи нові. Сірковмісні вуглецеві матеріали є сорбційно-селек-

тивними щодо ряду важких металів за рахунок утворення на їх поверхні нерозчинних сульфідів металів. Запропонований спосіб одержання сірковмісного біовуглецевого екосорбенту з рослинної сировини являє собою одностадійний піроліз сировини разом із сірковмісними реагентами при температурі 350–450 °С. Аналіз отриманих зразків сірковмісного біовугілля показав наявність на його поверхні до 35% зв'язаної сірки, що визначає його здатність міцно зв'язувати іони металу з поверхнею сорбенту в нерозчинну сульфідну форму та нейтралізувати важкі метали у воді та ґрунті. Отриманий екосорбент має термостійкість і механічну міцність.

**Виклад основного матеріалу.** Піролізоване рисове лушпиння і додатково хімічно модифіковане може використовуватися в екотехнологіях щодо зниження токсичності рухомих форм важких металів у забруднених ґрунтах з метою відновлення або поліпшення агрохімічних показників ґрунтів. Проведено комплексне дослідження структурно-пористих та сорбційних властивостей вихідної сировини, біовугілля та сірковмісного біовугілля. Визначено структурно-порові та іонообмінні характеристики вихідної сировини, біовугілля, сірковмісного біовугілля (табл. 1). За своєю будовою біовугілля належить до класу карбонізованих речовин завдяки спільності їх характерного структурного елемента. Висока внутрішня питома поверхня біовугілля з рисового лушпиння зумовлена наявністю мікро- і мезопор. Питома площа поверхня біовугілля вище, ніж у сірковмісного біовугілля, що пояснюється іммобілізацією сірки на поверхні біовугілля.

Отримані результати показують, що модифіковані сіркою біовуглецеві екосорбенти мають досить високу обмінну ємність по відношенню до катіонів. Сірковмісні сорбційні матеріали подібно до низькомолекулярних сіркоорганічних сполук здатні до комплексоутворення з іонами важких металів. На поверхні сірковмісного вуглецевого сорбенту присутні сульфідні та гідросульфідні групи, можливе також утворення С-S-C-груп на ненасичених центрах решітки. Утворення в сорбційному матеріалі сульфідних, гідросульфідних і С-S-C-груп визначає його специфічність по відношенню до цілого

Таблиця 1

**Структурно-порові та іонообмінні характеристики вихідного рисового лушпиння, біовугілля, сірковмісний біовугілля**

Показник	Вихідне рисове лушпиння	Біовугілля від рисового лушпиння	Сірковмісн біовугілля
Об'ємна щільність, г / см <sup>3</sup>	0,4	0,6	0,7
Питома площа поверхні, м <sup>2</sup> / г	9	430–550	497–512
Загальний об'єм пор, см <sup>3</sup> / г	0,11	0,42	0,39
Статична обмінна ємність о (Na <sup>+</sup> ), mg-eq / g	1,6	4,12	6,08
Статична аніонообмінна ємність (Cl <sup>-</sup> ), mg-eq / g	0,22	0,58	0,38

ряду елементів, схильних до утворення на поверхні і в порах отриманого сірковмісного сорбенту малорозчинних сульфідів токсичних важких металів.

Досліджено сорбцію іонів кадмію Cd (II) отриманими екосорбентами на модельних сольових розчинах Cd (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> × 4H<sub>2</sub>O різних концентрацій. Порівняльний аналіз сорбційних властивостей одержаних екосорбентів відносно катіонів кадмію на основі нативної рослинної сировини, біовугілля, біовугілля модифікованого сіркою показав, що модифікування сіркою біовугілля дозволяє суттєво покращити структурно-поруваті та іонообмінні властивості матеріалу, що сприяє збільшенню його сорбційної ємності (табл. 2).

Таблиця 2

**Сорбційні властивості екосорбента відносно Cd (II) в водних сольових розчинах вихідного біовугілля та сірковмісного біовугілля**

Показник	Біовугілля з рисового лушпиння	Сірковмісне біовугілля з рисового лушпиння
	Cd (II)	Cd (II)
C <sub>початкова</sub> , mg / l	6,0	6,0
pH	6,43	6,43
C <sub>залишкова</sub> , mg / l	0,34	2,22
pH	7,95	10,18
Сорбція S, mg/g	0,28	0,19
% Зв'язування	94	63
C <sub>початкова</sub> , mg / l	46,0	46,0
pH	7,18	7,18
C <sub>залишкова</sub> , mg / l	9,44	0,7
Сорбція S, mg/g	1,83	2,24
% Зв'язування	79	97
C <sub>початкова</sub> , mg / l	151,9	151,9
pH	7,16	7,16
C <sub>залишкова</sub> , mg / l	7,78	11,0
pH	8,33	8,2
Сорбція S, mg/g	7,2	6,6
% Зв'язування	95	89

Встановлено, що модифіковане сіркою біовугілля має значно вищі показники сорбційних властивостей щодо іонів Cd (II) порівняно з немодифікованим піролізатом рисового лушпиння. Констатовано, що іони Cd (II) практично повністю вилучаються з розчинів із pH 6–8. Сорбційне зв'язування Cd (II) сірковмісним екосорбентом досягає значень 80–90%.

На підставі результатів сорбційної здатності одержаного екосорбента відносно Cd (II) в водних сольових розчинах були проведені вегетаційні дослідження здатності зв'язування іонів Cd (II) екосорбентом у ґрунтових системах. Дослідження ефективності одержаних екосорбентів у ґрунтах проводили у спеціальних вегетаційних контейнерах на модельних ґрунтових системах. В ході експериментальних досліджень об'єктами були обрані середньосуглини-

сті та чорноземні ґрунти. Після видалення сторонніх включень (рослинних залишків, великих мінеральних включень, тощо) ґрунт подрібнювали до фракції менше 1,0 мм. Для забруднення ґрунту використовували розчин Cd (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> × 4H<sub>2</sub>O. Розчин змішували з ґрунтом до досягнення концентрації (Cd (II) від 2 до 6 мг/кг ґрунту. Забруднену ґрунтову суміш перемішували, ущільнювали та підтримували постійну вологість. Потім у забруднений ґрунт додавали сірковмісний екосорбент у кількості, що відповідає сорбційній здатності екосорбенту щодо досліджуваних іонів на модельних водних середовищах. У забруднений ґрунт вносили екосорбенти з розрахунку 150 гр сорбенту на 1,5 кг ґрунту. Зразки витримували в статичних умовах при температурі 20 ± 5 °С протягом 60 діб. Вміст вологи в ґрунтово-екосорбентній суміші під час дослідів підтримували на рівні 40%.

Екосорбент на основі сірковмісного біовугілля з рисового лушпиння сорбує на поверхні рухомих форм Cd (II) (табл. 3). Сорбційне зв'язування Cd (II) сірковмісним екосорбентом дозволяє знизити концентрацію його рухомих форм у ґрунті до 97% при початковій концентрації 6,2 мг Cd (II) на кг ґрунту.

Таблиця 3

**Результати детоксикавальної дії (вміст іонів Cd (II) у водному екстракті ґрунтів до та після обробки екосорбентом)**

Зразок	Cd (II), мг/кг ґрунту	Зниження Cd (II), %
Контроль, незабруднений ґрунт	0	0
ґрунт + Cd (II)	6,2	0
ґрунт + Cd (II) + Біовугілля з рисового лушпиння	0,9	85
ґрунт + Cd (II) + Сірковмісне біовугілля з рисового лушпиння	0,21	97

При оцінці екоотоксикологічних показників ґрунтів щодо рухомих форм важких металів недостатньо перевіряти лише концентрацію їх водно-ґрунтової витяжки. Метали в різних формах у ґрунті мають різну рухливість, міграційну здатність і доступність для рослин. Тому в дослідженнях ефективності екосорбентів використано фітотестер (фітоіндикатор) рослин. Перевагою фітотестерів (металотестерів) є швидкість реакції при дослідженні. У рослин-індикаторів вміст металу в клітинах корелює з вмістом у ґрунті. Як фітоіндикатор Cd (II) було використано овес (*Avena sativa* L.). Токсикологічні показники під час вегетаційного дослідів доводять, що внесення екосорбентів на основі рисового лушпиння в ґрунт, забруднений іонами кадмію, запобігає переходу іонів Cd (II) у наземну біомасу рослини та біомасу коренів фітотестеру. Ефективність дії екосорбенту визначали за зниженням вмісту іонів кадмію в наземній біомасі

і біомасі коренів рослини – фітотестера, вирощеного на умовно чистому ґрунті і при обробці забрудненого Cd (II) ґрунту екосорбентом (табл. 4). За рахунок зв'язування рухливості іонів металу в ґрунті значно зменшується і в результаті їх перехід до рослини теж зменшується (зниження Cd (II)% – 38–87%).

Таблиця 4

**Вміст іонів Cd (II) у зеленій біомасі фітотестеру (овес)**

Зразок	Cd(II), mg/kg біомаси	Зниження Cd (II), %
Контроль, ґрунт незабруднений	0	0
Ґрунт + Cd(II)	0,193	0
Ґрунт + Cd(II) + піролізат рисового лушпиння	0,173	10
Ґрунт + Cd(II) + піролізат рисового лушпиння з Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 10%	0,094	51
Ґрунт + Cd(II) + піролізат рисового лушпиння з Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 20%	0,027	78

Результати випробувань екосорбентів на основі піролізату рисового лушпиння для детоксикації ґрунтів, забруднених іонами кадмію, з використанням фітотестеру вівса переконливо доводять високу ефективність одержаного сірковмісного екосорбенту

з рисового лушпиння для детоксикації важких металів у кореновому шарі ґрунту.

**Головні висновки.** Вивчено можливість отримання екосорбенту на основі біовугілля з рисового лушпиння, модифікованого сіркою для міцного зв'язування іонів Cd (II) та їх детоксикації в ґрунтах. Зменшується переміщення іонів у ґрунті і, як наслідок, зменшується їх накопичення в біомасі наземних рослин Перевагою сірковмісного біовуглецевого екосорбенту є його екологічність, оскільки в ньому використовується лігнін-целюлозовмісна сировина (агровідходи) і нешкідливі сірковмісні компоненти в невеликих кількостях.

Експериментально обґрунтовано температурний режим обробки та склад суміші вихідних речовин (лушпиння рису та тіосульфату натрію) після визначення оптимальної сорбційної ємності отриманих екосорбентів щодо іонів Cd (II). Сірковмісний біовуглецевий сорбент (біовугілля) має здатність міцно зв'язувати іони Cd (II) на поверхні сорбенту в нерозчинну сульфідну форму, нейтралізуючи їх у водному та ґрунтовому середовищах.

Дослідження показують, що екосорбенти на основі модифікованого сіркою біовугілля з рисового лушпиння можуть бути використані як ефективний, доступний, екологічно чистий і недорогий сорбційний матеріал для детоксикації іонів кадмію в ґрунтах, відновлення та покращення якості ґрунту та одержання екологічної агропродукції.

### Література

1. Мандрик В. О. Управління відтворенням порушених земель: вибір інструментів екологічної політики. *Вісник аграрної науки*. 2000. 11. С. 117-121.
2. Burges, A., Epelde, L., and Garbisu, C. 2015. Impact of repeated single-metal and multi-metal pollution events on soil quality. *Chemosphere*. 120. P. 8–15. doi: 10.1016/j.chemosphere.2014.05.037
3. Parth V. 2011. Assessment of heavy metal contamination in soil around hazardous waste disposal sites in Hyderabad city (India): natural and anthropogenic implications. *Journal of Environmental Research and Management*. 2. P. 27–34.
4. Chaai, R., and Koyama, H. 2011. Heavy metal tolerance in *Arabidopsis thaliana*. *Adv. Bot. Res.* 60. P. 1–49. doi: 10.1016/B978-0-12-385851-1.00001-9
5. Mohan, D., Sarswat, A., Ok, Y. S., and Pittman, C.U. 2014. Organic and Inorganic Contaminants Removal from Water with Biochar, a Renewable, Low Cost and Sustainable Adsorbent-A Critical Review. *Bioresource Technology*. 160. P. 191–202, doi.org/10.1016/j.biortech.2014.01.12010.1186/s40064-016-2932.
6. Bhatnagar A., Sillanpää M. 2010. Utilization of agro-industrial and municipal waste materials as potential adsorbents for water treatment—A review. *Chemical Engineering Journal*. 157(2–3). P. 277–296.
7. Ali, H., Khan, E., and Sajad, M.A. 2013. Phytoremediation of heavy metals: concepts and applications. *Chemosphere*. 91. P. 869–881. doi: 10.1016/j.chemosphere.2013.01.075.
8. González, J. F., Román, S., Encinar, J. M., Martínez G.. 2009. Pyrolysis of various biomass residues and char utilization for the production of activated carbons. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 85. P. 134–141.
9. Chen D., Guo H., Li R., Li L., Pan G., Chang A., Joseph S. 2016. Low uptake affinity cultivars with biochar to tackle Cd-tainted rice. A field study over four rice seasons in Hunan, China. *Sci Total Environ*. Jan 15.541.P.1489-1498. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.10.052.
10. Sui F., Kang Y., Wu H., Li H., Wang J., Joseph S., Munroe P., Li L., Pan G. 2021. Effects of iron-modified biochar with S-rich and Si-rich feedstocks on Cd immobilization in the soil-rice system. *Ecotoxicol Environ Saf*. 1. 225. P. 112–764. doi: 10.1016/j.ecoenv.2021.112764.
11. Zhang M., Shan S., Chen Y., Wang F., Yang D., Ren J., Lu H., Ping L., Chai Y. 2019. Biochar reduces cadmium accumulation in rice grains in a tungsten mining area-field experiment: effects of biochar type and dosage, rice variety, and pollution level. *Environ Geochem Health*. 41(1). P. 43-52. doi: 10.1007/s10653-018-0120-1.
12. Vuong T.X., Stephen J., Minh T.B., Nguyen T.T.T., Duong T.H., Pham D.T.N. 2022. Chemical Fractionations of Lead and Zinc in the Contaminated Soil Amended with the Blended Biochar/Apatite. *Molecules*. 19. 27(22). P. 28–44. doi: 10.3390/molecules27228044.
13. Takaya, C.A., Fletcher, L.A., Singh, S., Anyikude, K.U., Ross, A.B. 2016. Phosphate and ammonium sorption capacity of biochar and hydrochar from different wastes. *Chemosphere*, 145. P. 518–527
14. Sohi, S.P., Krull, E., Lopez-Capel, E., Bol, R. 2010. A review of biochar and its use and function in soil. *Adv. Agron*. 105. P. 47–82.



# ОСВІТА ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.3-48.32>

## АНОНС НАВЧАЛЬНОГО ПОСІБНИКА ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ В ОСВІТНІХ ПРОГРАМАХ БАКАЛАВРІВ

Боголюбов В.М.

Національний університет біоресурсів і природокористування України  
вул. Героїв Оборони, 15, 03041, м. Київ  
volbog@ukr.net



Новітні освітні стандарти вищої освіти в Україні для всіх спеціальностей бакалаврського рівня передбачають додаткові (загальні) обов'язкові компетентності. До таких обов'язкових загальних компетентностей освітнього ступеня бакалавра належить, зокрема, «здатність реалізувати свої права і обов'язки як члена суспільства, усвідомлювати цінності громадянського суспільства і необхідність його сталого розвитку».

Комісією з екології Науково-методичної Ради МОН України у 2007 р. рекомендовано навчальну програму дисципліни «Екологія» для студентів не-екологічних спеціальностей ВЗО України. Ця дисципліна забезпечує набуття програмних результатів навчання з екологічних загальних компетентностей.

Зміст навчального посібника<sup>1</sup> професора С.Д. Рудишина<sup>2</sup>, який у травні цього року вийшов

<sup>1</sup> Біогеохімія з основами екології / С.Д. Рудишин. Дніпро: Середняк Т. К., 320 с. 56 малюнків

<sup>2</sup> Рудишин Сергій Дмитрович – доктор педагогічних наук, кандидат біологічних наук, професор, завідувач кафедри теорії і методики викладання природничих дисциплін Глухівського національного педагогічного університету імені Олександра Довженка

з друку, повністю забезпечує можливість набуття програмних результатів навчання за двома обов'язковими загальними компетентностями. Більше того, у пропонованому навчальному посібнику розглянуто теоретичні і прикладні аспекти екології та біогеохімії, зокрема:

- основні екологічні закони, принципи, теорії і категорії в біогеохімічному дискурсі;
- хімічний склад живих організмів, участь живої речовини і продуктів її розкладу в процесах міграції, розподілу, розсіювання та накопичення хімічних елементів у біосфері;
- біогеохімічні колообіги біогенних елементів; закономірності міграції радіонуклідів та пестицидів; принципи біогеохімічного районування ландшафтів, причини деградаційних процесів екосистем України;
- особливості біогеохімічних процесів в умовах техногенезу;
- методологію подолання екологічної кризи.

Особливістю навчального посібника є гармонійне висвітлення головних принципів і законів екології з позицій біогеохіміка, а також оригінальне висвітлення ролі і місця знань з екології та біогеохімії в реалізації стратегії сталого розвитку.

На сьогодні потребують розв'язання дві найголовніші науково-політичні проблеми людства – продовольство (їжа) і екологічна безпека. Усі інші – соціальні, економічні, енергетичні, демографічні, проблеми сучасних технологій – безпосередньо або опосередковано пов'язані з ними. Звідси, екологічна проблематика набуває особливого сенсу не тільки в таких галузях знань як природничі науки, охорона здоров'я, агрономічні науки, але й у гуманітарні, соціальні, поведінкові.

Створення навчального посібника «Біогеохімія з основами екології» викликано соціальним замовленням до вчених, політиків, освітян – зберегти екологічні умови існування людства. Це можливо зробити шляхом об'єднання зусиль двох чинників:

- 1) природовідповідної поведінки людини (екологізації економіки і виробництва);

2) збереження біологічного та ландшафтного різноманіття.

Знання екології та біогеохімії тут стануть в нагоді, адже знання принципів функціонування екологічних систем сприятимуть організації раціонального виробництва і розподілу продуктів харчування. При цьому необхідно враховувати, що біогеохімічний колообіг Оксигену (O) забезпечує біогеохімічна робота різноманіття живої речовини біосфери.

Мета посібника – формування у здобувачів вищої освіти екологічного мислення на засадах розуміння єдності і взаємозалежності живого і неживого на

планеті. Цьому сприяє вивчення та обговорення таких питань: теорія і методологія екології; геохімічна робота живої речовини; біогенна та техногенна міграція хімічних елементів, речовин (води, пестицидів, радіонуклідів); біогеохімічна оцінка техногенних аномалій; біоіндикація довкілля; коеволюційна стратегія існування людства і біосфери на засадах сталого розвитку та ін. Наукова і педагогічна цінність таких знань полягає в тому, що вони можуть ефективно використовуватися викладачами різних дисциплін (і різних спеціальностей) для якісної екологічної підготовки студентів у ЗВО України.

---

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

---

**Безденєжних Лілія Андріївна (Кременчук)** – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та біотехнологій кафедри екології та біотехнологій, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського;

**Безсонний Віталій Леонідович (Харків)** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екологічної безпеки та екологічної освіти, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, доцент кафедри технологій і безпеки життєдіяльності, Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця;

**Березовський Олексій Васильович (Київ)** – кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник науково-дослідного відділу моніторингу безпеки продукції агропромислового комплексу, Українська лабораторія якості і безпеки продукції агропромислового комплексу Національного університету біоресурсів і природокористування України;

**Бедункова Ольга Олександрівна (Київ)** – доктор біологічних наук, професор, професор кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства, Навчально-науковий інститут агроекології та землеустрою Національного університету водного господарства та природокористування;

**Белянська Олександра Ростиславівна (Кам'янське)** – кандидат технічних наук, доцент кафедри хімічних та біологічних технологій, Дніпровський державний технічний університет;

**Благодатний Володимир Валентинович (Миколаїв)** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова;

**Боголюбов Володимир Миколайович (Київ)** – доктор педагогічних наук, професор кафедри загальної екології, радіобіології та безпеки життєдіяльності, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

**Бондар Анастасія В'ячеславівна (Житомир)** – студентка IV курсу факультету лісового господарства та екології, Поліський національний університет;

**Бондар Олександр Богданович (Кременець)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, старший викладач кафедри біології, екології та методик їх навчання, Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія імені Тараса Шевченка;

**Бондар Олександр Іванович (Київ)** – доктор біологічних наук, член-кореспондент НААН, заслужений діяч науки і техніки України, ректор, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

**Бондар Валерія Іванівна (Київ)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри загальної екології, радіобіології та безпеки життєдіяльності, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

**Бордюг Наталія Сергіївна (Житомир)** – доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

**Валерко Руслана Анатоліївна (Житомир)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

**Войціцький Володимир Михайлович (Київ)** – доктор біологічних наук, професор, провідний науковий співробітник, Українська лабораторія якості і безпеки продукції агропромислового комплексу Національного університету біоресурсів і природокористування України;

**Гасвський Валерій Ростиславович (Рівне)** – кандидат технічних наук, доцент кафедри фізики, Національний університет водного господарства та природокористування;

**Герасимчук Людмила Олександрівна (Житомир)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри екології, Поліський національний університет;

**Головань Лариса Володимирівна (Харків)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, завідувач кафедри екології та біотехнологій в рослинництві, Державний біотехнологічний університет;

**Гулько Світлана Олександрівна (Кам'янське)** – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Дніпровський державний технічний університет;

**Гурська Оксана Вікторівна (Кременець)** – кандидат біологічних наук, старший викладач кафедри біології, екології та методик їх навчання, Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія імені Тараса Шевченка;

**Демидов Олександр Анатолійович (с. Центральне)** – доктор сільськогосподарських наук, професор, академік Національної академії аграрних наук України, директор, Миронівський інститут пшениці імені В.М. Ремесла Національної академії аграрних наук України;

**Дмитрієва Олена Олексіївна (Харків)** – доктор економічних наук, старший науковий співробітник, заступник директора з наукової роботи та маркетингу наукових досліджень, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»;

**Довганенко Денис Олександрович (Дніпро)** – кандидат географічних наук, доцент кафедри географії, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

**Єгорова Тетяна Михайлівна (Київ)** – доктор сільськогосподарських наук, головний науковий співробітник, доцент кафедри екології, Інститут садівництва Національної академії аграрних наук України;

**Кагукіна Анастасія Максимівна (Житомир)** – аспірант, асистент кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

**Касіянчук Дмитро Васильович (Івано-Франківськ)** – кандидат геологічних наук, доцент, доцент кафедри геотехногенної безпеки та геоінформатики, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;

**Кирнасівська Наталія Василівна (Одеса)** – кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри агрометеорології та агроєкології, Одеський державний екологічний університет;

**Клепко Алла Володимирівна (Київ)** – доктор біологічних наук, завідувачка кафедри загальної екології, радіобіології та безпеки життєдіяльності, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

**Клімкіна Ірина Іванівна (Дніпро)** – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»;

**Ковров Олександр Станіславович (Дніпро)** – доктор технічних наук, професор кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»;

**Ковтун Марія Франсівна (Київ)** – молодший науковий співробітник, Інститут сорбції та проблем екології Національної академії наук України;

**Колдоба Ірина Вікторівна (Харків)** – завідувач сектору інженерної екології лабораторії екологічно безпечного природокористування, засобів і методів моніторингу довкілля, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»;

**Колеснік Дмитро Володимирович (Кременчук)** – аспірант кафедри екології та біотехнологій, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського;

**Коляда Валерій Петрович (Харків)** – кандидат сільськогосподарських наук, завідувач лабораторії охорони ґрунтів від ерозії та дистанційних методів дослідження, Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»;

**Коляда Ольга Василівна (Харків)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології та біотехнологій в рослинництві, Державний біотехнологічний університет;

**Корнієнко Валентина Іванівна (Київ)** – доктор біологічних наук, професор, директор, Українська лабораторія якості і безпеки продукції агропромислового комплексу Національного університету біоресурсів і природокористування України;

**Кособуцька Олена Олександрівна (Миколаїв)** – магістр з екології, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова;

**Костик Каріна Михайлівна (Ужгород)** – студентка I курсу магістратури, Навчально-науковий інститут хімії та екології Ужгородського національного університету;

**Красова Ольга Олександрівна (Кривий Ріг)** – кандидат біологічних наук, науковий співробітник відділу оптимізації техногенних ландшафтів, Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України;

**Красовський Володимир Васильович (Хорол)** – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, директор, Хорольський ботанічний сад;

**Красовський Сергій Анатолійович (Дніпро)** – аспірант кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Технічний університет «Фрайберзька гірнична академія»;

**Кремпович Людмила Степанівна (Кременець)** – студентка III курсу природничо-технологічного факультету, Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія імені Тараса Шевченка;

**Кузнєцов Павло Миколайович (Київ)** – аспірант кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства, Навчально-науковий інститут агроєкології та землеустрою Національного університету водного господарства та природокористування;

**Курбет Тетяна Володимирівна (Житомир)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

**Курилюк Олексій Миколайович (Рівне)** – ліцензіар-винахідник, академік Української технологічної академії, науковий працівник, Українська технологічна академія, заступник керівника, Рівненське

відділення Української технологічної академії імені академіка Володимира Рогова, в. о. директора, НВП «Аква-Волинь»;

**Лисов Борис Вікторович (Харків)** – завідувач сектору екологічно безпечного природокористування населених пунктів і господарських об'єктів лабораторії екологічно безпечного природокористування, засобів і методів моніторингу довкілля, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»;

**Літвак Ольга Анатоліївна (Миколаїв)** – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова;

**Луньова Оксана Володимирівна (Житомир)** – доктор технічних наук, професор кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

**Мартинюк Максим Олегович (Одеса)** – аспірант кафедри гідрології суші, Одеський державний екологічний університет;

**Машков Олег Альбертович (Київ)** – професор кафедри екологічної безпеки, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

**Мельник-Шамрай Вікторія Вікторівна (Житомир)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

**Менжерес Ярослав Юрійович (Рівне)** – голова правління, Науково-виробниче підприємство «МЕНКОР» Ltd., винахідник-ліцензіар, член Наукової Ради Рівненського відділення Української технологічної академії імені академіка Володимира Рогова;

**Мідик Світлана Вікторівна (Київ)** – кандидат ветеринарних наук, старший дослідник, завідувач науково-дослідного відділу моніторингу безпеки продукції агропромислового комплексу, Українська лабораторія якості і безпеки продукції агропромислового комплексу Національного університету біоресурсів і природокористування України;

**Мохначова Наталія Борисівна (Чубинське)** – кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник, провідний науковий співробітник відділу генетики та біотехнології, Інститут розведення і генетики тварин імені М.В. Зубця Національної академії аграрних наук України;

**Наконечний Владислав Григорович (Кам'янське)** – аспірант кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Дніпровський державний технічний університет;

**Наумовська Олена Іванівна (Київ)** – кандидат сільськогосподарських наук, завідувачка кафедри екології агросфери та екологічного контролю, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

**Оводенко Тамара Сергіївна (Київ)** – аспірантка кафедри екологічного аудиту та експертизи, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

**Овчарук Валерія Анатоліївна (Одеса)** – доктор географічних наук, професор кафедри гідрології суші, Одеський державний екологічний університет;

**Орлінська Ольга Вікторівна (Запоріжжя)** – доктор геологічних наук, професор кафедри гірничої справи, Технічний університет «Метінвест Політехніка»;

**Павленко Анатолій Олегович (Кривий Ріг)** – провідний інженер відділу оптимізації техногенних ландшафтів, Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України;

**Патрушева Лариса Іванівна (Миколаїв)** – кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Чорноморський національний університет імені Петра Могили;

**Пацева Ірина Григорівна (Житомир)** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

**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;

**Пікареня Дмитро Сергійович (Запоріжжя)** – доктор геологічних наук, професор кафедри безпеки праці та охорони довкілля, Технічний університет «Метінвест Політехніка»;

**Полтавченко Тетяна Вікторівна (Рівне)** – кандидат ветеринарних наук, доцент, завідувач кафедри водних біоресурсів, Національний університет водного господарства та природокористування;

**Посоха Ірина Пилипівна (Святогорськ)** – провідний інженер з охорони природних екосистем, Національний природний парк «Святі Гори»;

**Присяжний Володимир Ілліч (Київ)** – начальник, Національний центр управління та випробувань космічних засобів;

**Ригас Тетяна Євгеніївна (Кременчук)** – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та біотехнологій, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського;

**Роман Людмила Юріївна (Ужгород)** – кандидат хімічних наук, доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Навчально-науковий інститут хімії та екології Ужгородського національного університету;

**Сердюк Світлана Миколаївна (Дніпро)** – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри географії, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

**Таран Тетяна Володимирівна (Київ)** – кандидат ветеринарних наук, доцент, доцент кафедри ветеринарної гігієни імені професора А.К. Скороходька, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

**Телюра Наталя Олександрівна (Харків)** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерної екології міст, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова;

**Тимків Марія Михайлівна (Івано-Франківськ)** – кандидат геологічних наук, доцент кафедри геотехногенної безпеки та геоінформатики, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;

**Тригуба Олена Василівна (Кременець)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри біології, екології та методик їх навчання, Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія імені Тараса Шевченка;

**Трохименко Ганна Григорівна (Миколаїв)** – доктор технічних наук, професор, завідувачка кафедри екології та природоохоронних технологій, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова;

**Федько Роман Миколайович (с. Березоточа)** – кандидат біологічних наук, завідувач відділу екології та фармакогнозії, Дослідна станція лікарських рослин Інституту агроєкології і природокористування Національної академії аграрних наук України;

**Харитонов Микола Миколайович (Дніпро)** – доктор сільськогосподарських наук, професор, головний науковий співробітник, Дніпровський державний аграрно-економічний університет;

**Харламова Олена Володимирівна (Кременчук)** – доктор технічних наук, доцент кафедри екології та біотехнологій, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського;

**Харченко Михайло Володимирович (с. Центральне)** – кандидат сільськогосподарських наук, науковий співробітник відділу біотехнології, генетики і фізіології, Миронівський інститут пшениці імені В.М. Ремесла Національної академії аграрних наук України;

**Хижняк Світлана Володимирівна (Київ)** – доктор біологічних наук, професор, провідний науковий співробітник, Українська лабораторія якості і безпеки продукції агропромислового комплексу Національного університету біоресурсів і природокористування України;

**Хохлов Андрій Вікторович (Київ)** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Інститут сорбції та проблем ендоекології Національної академії наук України;

**Хохлова Людмила Йосипівна (Київ)** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Інститут сорбції та проблем ендоекології Національної академії наук України;

**Цапко Наталя Сергіївна (Харків)** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач лабораторії еколого-токсикологічних досліджень впливу антропогенного забруднення на компоненти довкілля та нормування екологічно безпечного природокористування, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»;

**Цюй Бо (Одеса – Пекін, КНР)** – науково-юридичний консультант кафедри охорони праці та безпеки життєдіяльності, Національний університет водного господарства та природокористування, професор, академік Української технологічної академії, голова, Українсько-Китайський міжнародний інноваційно-промисловий екопарк, директор, Дослідне підприємство НВПФ «Водень»;

**Черняк Таїсія Василівна (Хорол)** – завідувач сектору дендрології, розмноження рослин та еколого-освітньої діяльності, науковий співробітник, Хорольський ботанічний сад;

**Чуприна Юлія Юріївна (Харків)** – доктор PhD з екології, старший викладач кафедри екології та біотехнологій в рослинництві, Державний біотехнологічний університет;

**Шамрай Володимир Ігорович (Житомир)** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри гірничих технологій та будівництва імені професора Бакка М.Т., Державний університет «Житомирська політехніка»;

**Шевченко Катерина Павлівна (Житомир)** – студентка I курсу магістратури факультету лісового господарства та екології, Поліський національний університет;

**Шелестюк Ольга Георгіївна (Вінниця)** – хімік II категорії Лабораторії спостережень за забрудненням атмосферного повітря, Вінницький обласний центр з гідрометеорології;

**Шкута Світлана Іванівна (Кривий Ріг)** – провідний інженер відділу оптимізації техногенних ландшафтів, Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України;

**Шмандій Володимир Михайлович (Кременчук)** – доктор технічних наук, професор кафедри екології та біотехнологій, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського;

**Шоль Галина Назарівна (Кривий Ріг)** – науковий співробітник відділу природної та культурної флори, Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України;

**Штогрин Людмила Василівна (Івано-Франківськ)** – кандидат геологічних наук, доцент, доцент кафедри геотехногенної безпеки та геоінформатики, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;

**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.

Наукове видання

# ЕКОЛОГІЧНІ НАУКИ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

3(48)

- **Загальні питання екологічної безпеки**
- **Зміна клімату**
- **Збереження біорізноманіття**
- **Природно-заповідний фонд України**
- **Біологічна безпека**
- **Поводження з відходами**
- **Екологія водних ресурсів**
- **Екологія і виробництво**
- **Екологія земельних ресурсів**
- **Освіта для сталого розвитку**

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 30.06.2023. Формат 64x84/8.

Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman. Цифровий друк.  
Ум. друк. арк. 23,48. Тираж 100. Замовлення № 0623/409.  
Ціна договірна. Віддруковано з готового оригінал-макета