

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

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

---

# ЕКОЛОГІЧНІ НАУКИ

---

---

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

**2(47)**

---

---



Видавничий дім  
«Гельветика»  
2023

**Екологічні науки** : науково-практичний журнал / Головний редактор Бондар О.І. – К. :  
Видавничий дім «Гельветика», 2023. – № 2(47). – 250 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>ЕКОЛОГІЯ І ВИРОБНИЦТВО.....</b>	<b>7</b>
<b>Кордуба І.Б., Патлашенко Ж.І.</b> Технетико-екологічний аналіз стану та перспективи світової енергетики.....	7
<b>Kryvenko G.M.</b> Impact of non-isothermal oil pipelines on the environment.....	17
<b>Kuznietsov S., Venher O., Grygorieva L., Semenchenko O., Bezpachenko V., Ivkina E.</b> Gas cleaning from dust in a cyclone rotary device.....	22
<b>Лубенська Н.О., Боднар О.І., Дятел О.О.</b> Концепція менеджменту шахтних вод RAG AG на шахтах Руру та Саару як модель для закриття шахт в Україні.....	27
<b>Салій І.В., Яковенко Л.О., Гончаренко М.І., Фролов П.В.</b> Використання шахтних вод в якості джерела геотермальної енергії в умовах виробничих підприємств.....	34
<b>Степова О.В., Степовий Є.Б.</b> Оцінка впливу на корозійний стан нафтопроводу поперечних макрогоальванічних пар.....	39
<b>ЕКОЛОГІЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ.....</b>	<b>44</b>
<b>Безсонний В.Л.</b> Методика оцінки екологічного стану водойми на основі ентропійно зваженого індексу якості води.....	44
<b>Маренков О.М., Барановський Б.О., Курченко В.О., Гудим Н.Г., Голуб І.В., Дрегваль І.В.</b> Гідроекологічна оцінка ділянки р. Самара поблизу с. Вербки Павлоградського району Дніпропетровської області.....	49
<b>Покшевницька Т.В., Лук'янова В.В., Смоляр В.В.</b> Технічні альтернативи реконструкції системи водовідведення.....	57
<b>Сапко О.Ю., Кур'янова С.О.</b> Вплив антропогенних джерел забруднення на якість річки Південний Буг.....	61
<b>Сердюк С.М., Довганенко Д.О.</b> Геоекологічний стан річки Оріль.....	66
<b>Суходольська І.Л., Басараба І.В.</b> Вплив сполук нітрогену на формування угруповань фітопланктону озера Засвітське.....	73
<b>Христецька М.В.</b> Якість води озера Світязь за вмістом хімічних елементів під впливом антропогенного навантаження.....	83
<b>Шахман І.О., Бистрянцева А.М.</b> Оцінювання якості води річки Дніпро в межах Черкаської області.....	91
<b>ЕКОЛОГІЯ УРБОСИСТЕМ.....</b>	<b>96</b>
<b>Сулова О.П., Бойко Л.І.</b> Видовий склад, екологічна та просторова структури паркового дендроценозу промислового міста в степовій зоні України.....	96
<b>Яковишина Т.Ф.</b> Особливості оцінювання забруднення сполуками Рb ґрунтів урбоєкосистем: на прикладі м. Дніпро.....	102
<b>ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА.....</b>	<b>107</b>
<b>Рудаков Л.М.</b> Оцінювання рівня екологічної безпеки хвостосховища радіоактивних відходів із застосуванням контрольних списків.....	107
<b>Чернова О.Т., Кривенко Г.М.</b> Аналіз небезпек під час зберігання скраплених вуглеводневих газів.....	112
<b>ЕКОЛОГІЯ ТА ЕКОНОМІКА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ.....</b>	<b>117</b>
<b>Sarapanko I.I.</b> Experience in using strategic analysis tools in determining the efficiency of agricultural land use.....	117
<b>Юрченко Т.В., Демидов О.А., Пикало С.В., Харченко М.В.</b> Визначення яровизаційної потреби та фотоперіодичної чутливості новостворених сортів пшениці озимої в Правобережному Лісостепу України.....	125
<b>ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ.....</b>	<b>130</b>
<b>Григор'єв К.В., Алексєєва А.О., Макарова О.В., Григор'єва Л.І.</b> Оцінка показників радіоекологічного стану водойм за екосистемним принципом безпеки.....	130

<b>Григор'єва Л.І., Алексєєва А.О., Макарова О.В., Буровицька Ю.М., Григор'єв К.В.</b> Екологічний моніторинг стану атмосферного повітря за індикативними вимірюваннями.....	137
<b>Михайлов С.С., Квасов В.А.</b> Концепція комплексної системи моніторингу довкілля.....	142
<b>БІОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА.....</b>	148
<b>Поліщук Л.В.</b> Поширеність хітиназ GH19 у стрептоміцетів з <i>Streptomyces griseus</i> класу та відмінності їх організації.....	148
<b>ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО І ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ.....</b>	154
<b>Гафіяк О.В., Симочко Л.Ю.</b> Інвазійна флора антропогенно трансформованих екосистем Карпатського регіону.....	154
<b>Киричук Г.Є., Музика Л.В., Кушнір Л.С., Гордієнко М.В.</b> Вплив трематодної інвазії та низьких концентрацій іонів цинку на вміст окремих груп ліпідів в організмі <i>Lymnaea stagnalis</i> .....	162
<b>Ковтун Т.І.</b> Сучасний стан рідкісних і зникаючих видів совкоподібних ( <i>Lepidoptera, Noctuoidea</i> ) приміської зони м. Житомир.....	167
<b>Мартюхін А.В., Волошина Н.О.</b> Перспективи впровадження захисних огорожень та екодуків для безпечного пересування тварин через автодороги України.....	173
<b>Mitra A., Chatterjee S., Dubchak S.V., Mudgal S., Gaur A., Srivastava K., Gupta D.K.</b> Consequences of selenium uptake in plants – a review.....	178
<b>Павлишак Я.Я., Даньків В.Я., Коссак Г.М.</b> Аналіз флори «Лішнянського лісництва» (Дрогобицький район).....	184
<b>Солошенко В.С.</b> Аналіз таксономічної структури роду <i>Ribes</i> L. у зв'язку з інтродукцією у Правобережний Лісостеп України.....	188
<b>ІННОВАЦІЙНІ НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ЕКОЛОГІЧНОЇ ГАЛУЗІ.....</b>	196
<b>Пічура В.І., Домарацький Є.О., Потравка Л.О.</b> Застосування дистанційного зондування землі для дослідження вегетаційного розвитку гібридів соняшника за різних кліматичних умов зони Степу .....	196
<b>Поштаренко А.В., Решетняк Л.Р.</b> Особливості використання біоенергетики в авіаційній галузі.....	206
<b>Феденко Ю.М.</b> Структура, властивості, методи синтезу цинку (II) оксиду – перспективного екологічного каталізатора. Огляд літератури.....	212
<b>Хом'як І.В., Коцюба І.Ю., Козин М.С., Василенко О.М., Гарбар Д.А.</b> Перспективи дистанційного дослідження запасів підземних вод Словечансько-Овруцького кряжу.....	217
<b>ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ.....</b>	222
<b>Герасимчук Л.О., Валерко Р.А., Долінська Н.Ф., Вітер О.В.</b> Аналіз стратегій поводження з твердими побутовими відходами в умовах Коростишівської територіальної громади.....	222
<b>Іваненко О.І., Довголап С.Д.</b> Застосування феритного методу для знешкодження токсичних газових відходів.....	228
<b>Хандогіна О.В., Дрозд О.М., Дядін Д.В.</b> Аналіз проведення стратегічної екологічної оцінки регіональних планів управління відходами.....	232
<b>ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ВОЄННИХ ДІЙ В УКРАЇНІ.....</b>	242
<b>Кратко О.В., Головатюк Л.М., Бондаренко Т.Є.</b> Вплив воєнних дій на водне, ґрунтове та повітряне середовище України.....	242
<b>ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....</b>	246

---

---

## CONTENTS

---

---

<b>ECOLOGY AND PRODUCTION</b> .....	7
<b>Korduba I., Patlashenko Zh.</b> Technical and environmental analysis state and prospects of world energy.....	7
<b>Kryvenko G.</b> Impact of non-isothermal oil pipelines on the environment.....	17
<b>Kuznietsov S., Venher O., Grygorieva L., Semenchenko O., Bezpachenko V., Ivkina E.</b> Gas cleaning from dust in a cyclone rotary device.....	22
<b>Lubenska N., Bondar O., Diatel O.</b> Mine water management concept of RAG AG at Rur and Saar mines as a model for mine closure in Ukraine.....	27
<b>Salii I., Yakovenko L., Honcharenko M., Frolov P.</b> The use of mine waters as a source of geothermal energy in the conditions of industrial enterprises.....	34
<b>Stepova O., Stepovyi Ye.</b> Assessment of the impact of transverse macrogalvanic pairs on the corrosion state of the oil pipeline.....	39
<b>ECOLOGY OF WATER RESOURCES</b> .....	44
<b>Bezsonnyi V.</b> Methods of assessment of the ecological status of a water body based on the entropy-weighted index of water quality.....	44
<b>Marenkov O., Baranovski B., Kurchenko V., Gudym N., Holub I., Dregval I.</b> Hydro-ecological assessment of the area of the Samara river near the village of Willows of the Pavlograd district of the Dnipropetrovsk region.....	49
<b>Pokshvenytska T., Lukyanova V., Smoliar V.</b> Technical alternatives to the reconstruction of the drainage systems of water supply and drainage enterprises.....	57
<b>Sapko O., Kurianova S.</b> Impact of anthropogenic sources of pollution on the quality of the Southern Bug river.....	61
<b>Serdiuk S., Dovganenko D.</b> Geoecological state of the Oril river.....	66
<b>Sukhodolska I., Basaraba I.</b> The nitrogen compounds impact on the phytoplankton communities development in lake Zaslitske.....	73
<b>Khrystetska M.</b> Water quality of lake Svityaz by the content of chemical elements under the influence of anthropogenic load.....	83
<b>Shakhman I., Bystriantseva A.</b> Assessment of the water quality of the Dnipro river within the Cherkasy region.....	91
<b>ECOLOGY OF URBAN SYSTEMS</b> .....	96
<b>Suslova O., Boyko L.</b> Species composition, ecological and spatial structures of a park dendrocoenosis of an industrial city in the steppe zone of Ukraine.....	96
<b>Yakovyshyna T.</b> Assessment features of pollution by Pb compounds of urboecosystem soils: on the example of Dnipro city.....	102
<b>ECOLOGICAL SAFETY</b> .....	107
<b>Rudakov L.</b> Environmental safety level assessment of radioactive waste tailings storage facilities using checklists.....	107
<b>Chernova O., Kryvenko G.</b> Analysis of hazards during storage of liquefied hydrocarbon gases.....	112
<b>ECOLOGY AND ECONOMICS OF NATURAL RESOURCE USE</b> .....	117
<b>Saranenko I.</b> Experience in using strategic analysis tools in determining the efficiency of agricultural land use.....	117
<b>Yurchenko T., Demydov O., Pykalo S., Kharchenko M.</b> Determination of vernalization requirement and photoperiod sensitivity of the newly created varieties of winter wheat in Right-Bank Ukrainian Forest-Steppe.....	125
<b>ENVIRONMENTAL MONITORING</b> .....	130
<b>Grygoriev K., Aleksieieva A., Makarova O., Grygorieva L.</b> Assessment of indicators of the radiation – environmental condition of water according to the ecosystem principle of safety.....	130

<b>Grygorieva L., Alekseeva A., Makarova O., Burovytska Yu., Grygoriev K.</b> Environmental monitoring of the atmospheric air by indicative measurements.....	137
<b>Mykhailov S., Kvasov V.</b> Concept of comprehensive environmental monitoring system .....	142
<b>BIOLOGICAL SAFETY</b> .....	148
<b>Polishchuk L.</b> Prevalence of chitinases GH19 in streptomycetes from <i>Streptomyces griseus</i> clades and differences in their organizations. ....	148
<b>PRESERVATION OF BIOLOGICAL AND LANDSCAPE DIVERSITY</b> .....	154
<b>Hafiak O., Symochko L.</b> Invasive flora of anthropogenically transformed ecosystems in Carpathian region.....	154
<b>Kyrychuk G., Muzyka L., Kushnir L., Gordienko M.</b> The influence of trematode invasion and low zinc ion concentration on the content of certain lipid groups in <i>Lymnaea stagnalis</i> .....	162
<b>Kovtun T.</b> Current condition of rare and threatened species of the Noctuoidea (Lepidoptera) of Zhytomyr suburban area. .	167
<b>Martiukhin A., Voloshyna N.</b> Prospects of the implementation of protective fences and eco-fences for the safe movement of animals through the highways of Ukraine. ....	173
<b>Mitra A., Chatterjee S., Dubchak S., Mudgal S., Gaur A., Srivastava K., Gupta D.</b> Consequences of selenium uptake in plants – a review.....	178
<b>Pavlyshak Y., Dankiv V., Kossak G.</b> Analysis of the flora of “Lishnyany Forestry” (Drohobych district) .....	184
<b>Soloshenko V.</b> Analysis of the taxonomic structure of the genus <i>Ribes</i> L. in connection with the introduction in the Right Forest Steppe of Ukraine. ....	188
<b>INNOVATIVE DIRECTIONS FOR IMPROVING THE SAFETY OF THE ENVIRONMENTAL INDUSTRY</b> .....	196
<b>Pichura V., Domaratskiy Ye., Potravka L.</b> The use of remote sensing to research the vegetative development of the sunflower hybrids under different climatic conditions of the Steppe zone. ....	196
<b>Poshtarenko A., Reshetnyak L.</b> Features of the use of bioenergy in the aviation industry. ....	206
<b>Fedenko Yu.</b> Structure, properties, methods of synthesis zinc (II) oxide, a promising ecological catalyst. Literature review. ....	212
<b>Khomiak I., Kotsiuba I., Kozyn M., Vasylenko O., Harbar D.</b> Prospects for remote study of groundwater reserves of the Slovechansko-Ovrutskyi ridge. ....	217
<b>WASTE MANAGEMENT</b> .....	222
<b>Herasimchuk L., Valerko R., Dolinska N., Viter O.</b> Analysis of solid domestic waste management strategies in the conditions of Korostyshiv territorial community. ....	222
<b>Ivanenko O., Dovholap S.</b> Application of ferritic method for disposal of toxic gas wastes.....	228
<b>Khandogina O., Drozd O., Diadin D.</b> Analysis of the strategic environmental assessment of regional waste management plans. ....	232
<b>ECOLOGICAL CONSEQUENCES OF MILITARY OPERATIONS IN UKRAINE</b> .....	242
<b>Kratto O., Holovatyuk L., Bondarenko T.</b> The impact of military actions on the water, soil and air environment of Ukraine. ....	242
<b>AUTHORS’ CREDENTIALS</b> .....	246

## ТЕХНЕТИКО-ЕКОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ СТАНУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ СВІТОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Кордуба І.Б.<sup>1</sup>, Патлашенко Ж.І.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Київський національний університет будівництва і архітектури  
Повітрофлотський проспект, 31, 03680, м. Київ

<sup>2</sup>Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління  
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, м. Київ  
[uaror-korduba@ukr.net](mailto:uaror-korduba@ukr.net), [deazh@ukr.net](mailto:deazh@ukr.net)

Головною рисою сучасної світової енергетики є її стабілізація і навіть зниження відносного питомого споживання енергії на кожного мешканця Землі. Причиною цього стала економія енергоресурсів у розвинених країнах, впровадження енергозберігаючих технологій та збільшення кількості енергетичних мало потужних нетрадиційних відновлюваних джерел енергії (НВДЕ). Але ця вимушена економія викликана не браком ресурсів, а збільшенням продуктивності технологій видобування, спалювання і переробки первинних енергоресурсів. Крім того, у нафтогазовому світовому секторі відбулася низка ефективних проривних і революційних технологічних змін. Отже сучасна енергетика розвивається шляхом підвищення коефіцієнтів корисного використання вже освоєваних енергоресурсів з одночасним підвищенням питомої потужності енергоустановок, тобто шляхом збільшення обсягів видобутку енергоресурсів без (або за) незначної зміни трудовитрат. Тому НВДЕ в статусі енергозберігаючих технологій не є перспективними для великої енергетики оскільки усі НВДЕ мають низькі питомі коефіцієнти концентрації енергії. А економія викопних енергоресурсів за допомогою НВДЕ підпорядковується закону насичення – первинних паливно-енергетичних ресурсів неможливо зекономити більше ніж їх було видобуто. Це означає, що у перспективі енергетичний прогрес не зможе обійтися без потужного освоєння ядерно-енергетичних ресурсів, без нових проривних та революційних енергетичних технологій за умови їх найвищої, і в першу чергу, абсолютної медико-екологічної безпеки. В роботі виконано критеріальний аналіз впливу роботи теплових електростанцій (ТЕС) та АЕС на населення та на довкілля за допомогою використання таких критеріїв, як енергетичний баланс, вплив на довкілля, екологічна та ядерно-екологічна безпека, скорочення запасів матеріально-паливних ресурсів, без врахування потенційних можливостей наукових, науково-технологічних проривів або науково-технологічних революцій в світовій ядерній енергетиці. Результати аналізу показують, що безумовне виконання головних вимог ядерно-екологічної безпеки та біосумісності можливе тільки у так званому хвильовому ядерному реакторі покоління G-V, який на відміну від реакторів попередніх поколінь III, II+ і IV, не потребує надкритичного завантаження активної зони ядерним паливом і тому, принциповим чином, в силу закладених в нього ядерно-фізичних законів, ні за яких умов не може вибухнути і викликати руйнування реакторної зали. А можливість спалювання в ньому ядерного палива на основі U238 та Th232 розширює запаси енергетичного ядерного палива практично до невичерпності. В активній зоні цього реактора реалізуються ядерно-фізичні процеси, керовані фізичним законом, які виключають участь оператора в регулюванні реактивності активної зони реактора, що робить його реакторам з найвищим на сьогодні рівнем ядерно-екологічної безпеки в основу якої покладено принципи, так звані, внутрішньої безпеки, вільної від людського фактора. *Ключові слова:* технетика, ядерно-екологічна безпека, хвильовий реактор, ядерний паливний цикл, біосумісність.

### **Technical and environmental analysis state and prospects of world energy. Korduba I., Patlashenko Zh.**

The main feature of modern world energy is its stabilization and even reduction of the relative specific consumption of energy for each inhabitant of the Earth. The reason for this was the saving of energy resources in developed countries, the introduction of energy-saving technologies and an increase in the number of low-power non-traditional renewable energy sources (NRE). But this forced economy is not caused by a lack of resources, but by increased productivity of technologies for extraction, combustion and processing of primary energy resources. In addition, a number of effective breakthrough and revolutionary technological changes have taken place in the global oil and gas sector. Therefore, modern energy is developing by increasing the coefficients of useful use of already developed energy resources with a simultaneous increase in the specific capacity of power plants, that is, by increasing the volume of energy resources extraction without (or with) a slight change in labor costs. Therefore, renewable energy sources in the status of energy-saving technologies are not promising for the large energy industry, since all renewable energy sources have low specific coefficients of energy concentration. And the saving of fossil energy resources with the help of renewable energy sources is subject to the law of saturation – primary fuel and energy resources cannot be saved more than they were extracted. This means that in the future, energy progress will not be able to do without the powerful development of nuclear energy resources, without new breakthrough and revolutionary energy technologies, provided they are of the highest, and first of all, absolute medical and environmental safety. In the work, a criterion analysis of the impact of the operation of thermal power plants (TES) and nuclear power plants on the population and the environment was performed using such criteria as energy balance, impact on the environment, ecological and nuclear-ecological safety, reduction of stockpiles of material and fuel resources, without taking into account the potential possibilities of scientific, scientific and technological breakthroughs or scientific and technological revolutions in the world nuclear energy. The results of the analysis show that the unconditional fulfillment of the main requirements of nuclear environmental safety and biocompatibility is possible only

in the so-called wave nuclear reactor of the G-V generation, which, unlike reactors of the previous generations III, II+ and IV, does not require supercritical loading of the active zone with nuclear fuel and therefore, in principle, due to the nuclear-physical laws embedded in it, under no circumstances can it explode and cause the destruction of the reactor hall. And the possibility of burning nuclear fuel based on U238 and Th232 in it expands the reserves of energetic nuclear fuel almost to inexhaustibility. In the active zone of this reactor, nuclear-physical processes governed by physical law are implemented, which exclude the operator's participation in regulating the reactivity of the reactor's active zone, which makes it the reactor with the highest level of nuclear-environmental safety today, which is based on the principles of so-called internal safety, free from the human factor. *Key words*: engineering, nuclear environmental safety, wave reactor, nuclear fuel cycle, biocompatibility.

**Мета роботи.** Провести дослідження екологічного стану, особливостей розвитку технологій та енергетичних джерел сучасної світової енергетики – теплові електростанції, нетрадиційні відновлювальні джерела та ядерні джерела енергії, а також визначити найбільш перспективні ядерні енергетичні технології з урахуванням їх найвищої ядерно-екологічної безпеки та значного розширення їх ресурсно-паливної бази.

**Актуальність роботи.** Вимогам ядерно-екологічної безпеки реакторів нового покоління G-V повною мірою відповідає тип реактора з внутрішньою безпекою та біосумісністю [1]. Його найважливішою перевагою є можливість використовувати як ядерне паливо природний або навіть технічний уран, а також відпрацьоване в інших реакторах ядерне паливо. Такий фізичний підхід до ядерно-екологічної безпеки дозволяє виключити у паливному ядерному циклі екологічно небезпечні процеси збагачення ядерного палива та вирішити проблему паливних ресурсів для ядерної енергетики на сотні років у майбутньому, окрім усього вирішити проблему накопичення та утилізації відпрацьованого ядерного палива у біосфері. У реакторах покоління G-V також відсутня система регулювання реактивності реактора, а ступінь вигорання ядерного палива може досягати 30-70%. При цьому він може бути створений як реактор з великою паливною кампанією, тобто працюватиме десятки років без перезавантаження його активної зони ядерним паливом. Таким чином системні дослідження ядерно-екологічної безпеки ядерних енергетичних технологій покоління G-V не виконувалися, що підкреслює важливість і актуальність даної роботи.

**Викладення основного матеріалу.** Протягом усієї своєї історії людство безперервно стикається з проблемами енергозабезпечення. Для вирішення цих проблем завжди освоювалися нові види енергоресурсів з вищою енергоємністю та продуктивністю їх видобутку в порівнянні з попередніми. Кожен такий енергетичний перехід супроводжувався енергетичними кризами. Прикладом цього може бути нинішній четвертий енергоперехід. В результаті такий шлях розвитку світової енергетики привів до виснаження невідновлюваних викопних енергоресурсів і, як наслідок, до чергової екологічної кризи та до посилення екологічних вимог до існуючих та нових енергосистем.

Рівень викидів і відходів при виробництві електроенергії досягнув рівнів, на яких відбувається

руйнування та знищення земних екосистем і зміна характеристик земних геосфер. Прикладом цього є проблема кліматичного нагрівання в глобальній системі «підстилаючи поверхня – атмосфера Землі». У цій ситуації кількісне збільшення енергетичних потужностей, з вже досягнутими виробничими показниками, при спалюванні органічного палива та використання ядерної енергії стає екологічно небезпечним і економічно недоцільним. Однак у найближчі десятиліття реальної альтернативи вуглеводневому та ядерному паливу для глобального виробництва базової електро- та теплоенергії поки що немає і не передбачається.

Суперечність науково-технічного прогресу та збереження рівноважного стану навколишнього середовища можна вирішити лише частково шляхом підвищення ефективності та чистоти виробництва електроенергії та створенням нових енергозберігаючих технологій. Але для цього необхідні величезні фінансові та матеріальні ресурси, що призведе до підвищення вартості електроенергії, а внаслідок подорожчання ресурсів та продуктів виробництва. Тому на сьогодні обрано шлях інтенсивного впровадження у практику нетрадиційних відновлюваних джерел енергії (НВДЕ). Саме цей підхід покладено в основу нинішнього четвертого енергетичного переходу, мета якого – досягнути нульового рівня викидів кліматично небезпечних атмосферних забруднювачів, вироблених світовим паливним енергокомплексом.

Однак важливо зауважити, що головною рисою перших двох десятиліть нинішнього століття світової енергетики стала її певна стабільність і навіть деяке зниження питомого споживання енергії у світі на кожного жителя Землі. Причиною цьому стала економія енергоресурсів у розвинених країнах, впровадження енергозберігаючих технологій та збільшення кількості енергетичних установок малої потужності на основі нетрадиційних відновлюваних джерел енергоресурсів (НВДЕ) – сонячної енергії, вітру, геотерміки, припливів та ін. Однак важливо розуміти те, що ця примусова економія викликана не браком ресурсів, а збільшенням продуктивності технологій видобування, спалювання і переробки первинних енергоресурсів. Крім того, у нафтогазовому світовому секторі відбулася низка ефективних проривних і революційних технологічних змін. Усе це говорить про той факт, що сучасна енергетика розвивається шляхом підвищення коефіцієнтів корисного використання вже освоєваних енергоресурсів



з одночасним підвищенням питомої потенційної потужності установок, що черпають і виробляють енергію з доквілля, тобто шляхом збільшення обсягів видобутку енергоресурсів без (або за) незначної зміни трудовитрат. Тому НВДЕ в статусі енергозберігаючих технологій не можуть бути перспективними для великої енергетики, хоча б в силу того, що усі НВДЕ є технологіями з низьким питомим коефіцієнтом концентрації енергії, а економія копалин енергоресурсів за допомогою НВДЕ підпорядковується закону насичення – первинних паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) неможливо заощадити більше ніж їх було вироблено. Це означає, що у перспективі прогрес енергетики не зможе обійтися без потужного освоєння ядерно-енергетичних ресурсів, без проривних та революційних енергетичних за умови їх найвищої, і в першу чергу, абсолютної медико-екологічної безпеки.

На сьогодні світова енергетика щорічно споживає близько 11 млрд. тон умовного палива, при тому, що в останні десятиліття частка електроенергії у світовому енерговиробництві стабілізувалася на у межах 23–26%. А споживання первинних природних енергоресурсів усією світовою електроенергетикою становить близько 2,7 млрд. тон у. т. – з них 11% – нафта, 29% – газ і 60% – вугілля. При цьому доведених запасів вугілля може вистачити трохи більше, ніж 200 років. А нафта і газ, можуть закінчитися значно раніше. Оцінки запасів традиційного палива складають  $1,3 \cdot 10^{13}$  тон у. п., що приблизно у 10 разів більше доведених запасів в основному для вугілля. Всі інші ресурси поки що не є визначальними, незважаючи на їхній основний внесок у розвиток окремих регіонів.

Газова частка у виробництві теплової та електричної енергії може бути зменшена на користь вугільної та ядерної енергетики. Але екологічні показники вугілля змушують згорти його видобуток на користь декарбонізації світової енергетики. А великі енерго-теплові втрати на АЕС, величезна капіталомісткість ядерних новобудов, загроза нових ядерно-екологічних аварій і катастроф, відсутність технологій екологічно безпечної утилізації та переробки радіоактивних відходів викликають потужний соціальний та цивілізаційний опір розвитку ядерної енергетики на традиційній технологічній основі. Отже глобальне енергетичне майбутнє неможливе без суттєвого технологічного оновлення та розвитку нинішньої ядерної енергетики з урахуванням можливих проривних та революційних ядерно-енергетичних технологій які вже формуються і заявляють про себе в рамках світового науково-технічного та технологічного прогресу.

За даними МАГАТЕ головними споживачами урану у 2021 році були: – 437 ядерних енергоблоків потужністю біля 390 ГВт, їх споживання приблизно 62,5 тис. тон урану за рік. За увесь 2021 рік об'єми спотових трансакцій на урановому ринку становили 37,3 тис. тон, на довгостроковому ринку – 27,7 тис.

При цьому частина, спалюваного на АЕС урану, отримується з вторинних джерел.

**Аналіз впливу роботи теплових електростанцій (ТЕС) та АЕС на навколишнє середовище.** Головними критеріями для такого аналізу можуть служити характеристики неуправляваних пило-газових викидів в атмосферу, твердих відходів, теплових викидів, електромагнітних полів ліній електропередач, шумових впливів, підвищення регіонального та глобального радіаційного фону, зміна природного рельєфу та природних умов місцевості, механічні та інші порушення ґрунтів, не виправдане вилучення та критичне забруднення відходами великих родючих територій, надмірне промислове водокористування підприємствами енергетичного сектору, зміна альbedo та термічного режиму навколишнього середовища.

Важливо також звернути увагу на вельми незначне збільшення коефіцієнта корисної дії (ККД) енергоустановок при величезному збільшенні обсягів палива, що спалюється. Така диспропорція спричиняє глобальні екологічні трансформації. Отже, з екологічної точки зору необхідно подальше пріоритетне збільшення ефективності використання енергії.

Антропогенні фактори характерним чином змінюють навколишнє середовище: 1) скорочення площі з природними екосистемами із загальнопланетною швидкістю 0,5% щорічно; 2) опустелення земель вже призвело до втрати 4,5 млрд. га (35% суші); 3) скорочення біорізноманіття – за останні 100 років зникли понад 25 тис. видів вищих рослин та понад 1 тис. видів хребетних; 4) посилення атмосферного забруднення парниковими газами – діоксид вуглецю, оксид азоту, метан, фреони, водяна пара, при цьому світовий паливно-енергетичний комплекс (ПЕК) постачає 70–75% хімічних промислових забруднювачів та 70% теплового забруднення атмосфери. У загальному забрудненні атмосфери відходами ТЕС становить: викиди пилу – 20%, діоксидів сірки – 50%, оксидів азоту – 30%. А всі ТЕС разом викидають 60% оксидів азоту, 45% – оксидів сірки та 38% – золи.

Надходження в доквілля металів із зольними викидами від ТЕС багатократно перевищує їх світове промислове виробництво: миш'як – у 6, германій – у 2550, вісмут – у 3, берилій – у 80, скандій – у 600, кобальт – у 12, галій – у 5000, уран – у 70 разів. Водночас викиди вугільного урану з вугільними золами кам'яного та бурого вугілля на ТЕС у всьому світі становлять близько 200 тис. т. на рік. При цьому вплив ТЕС на радіаційний фон і відповідно на здоров'я громадян та на об'єкти доквілля значно перевищує внесок працюючих АЕС у безаварійному режимі. Головним чином АЕС викидають інертні радіоактивні гази у кількості біля 20 Кі/добу, або приблизно 1 % від норм гранично допустимих концентрацій (ГДК).

Токсичні викиди CO<sub>2</sub> від ТЕС, становлять близько 10% його природного виділення. Токсичний вплив CO<sub>2</sub> проявляється при 3–4% його концентрації в повітрі. Найбільш токсичним є сірчистий ангідрид SO<sub>2</sub>, що становить 99% від накопичуваних в Світовому океані сірчистих викидів від ТЕС. Окиси азоту NO<sub>2</sub> руйнують озоносферу – одна тонна NO<sub>2</sub> руйнує 1000 тонн озону. Нарешті, в результаті порушення режимів спалювання відбувається неповне згоряння палив з утворенням канцерогенних поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАУ) і в тому числі бензопірену.

Дослідження процесів переносу твердих частинок в атмосфері та її самоочищення показують, що частинки розміром більше 10 мкм відносно швидко випадають на землю, а частки 4–10 мкм піднімаються з димом на висоту до 1 км і розсіюються в радіусі до 2–3 тис. км. Частинки менше 4 мкм погано осаджуються з краплями дощу та випадають на поверхні Землі з висоти 1 км протягом року. Фільтри не здатні вловлювати саме тверді мікрофракції з високим вмістом радіонуклідів. При цьому складники радіоекологічного впливу такі: ядерна енергетика – 0,03%; авіатранспорт – 0,1%; радіолюмінісцентні виробы – 0,1%; ядерні випробування – 0,77%; природне радіоекологічне тло – 23%; медицина – 34%; дози опромінення продуктами розпаду радону в приміщеннях – 42%, їх: природний газ – 4%; вода – 5%; навколишнє повітря – 13%; стіни та ґрунт під будівлею – 20%. Медична норма рівня радіаційного опромінення становить 20 мкр/год.

Гранично допустимі концентрації радіоактивних ізотопів (Бк/м<sup>3</sup>) у повітрі значно різняться залежно від типу радіонукліду і становлять, наприклад, 10<sup>-2</sup> Бк/м<sup>3</sup> для Cf249, 10<sup>4</sup> для Ca45, 10<sup>5</sup> для Т – тритію. Річна ефективна колективна еквівалентна доза, що створюється космічним випромінюванням, становить 28 мбер при медичній нормі гранично допустимої річної дози в 100 мбер. Питома активність природного фону випромінювання ґрунту варіюється залежно від місцевості і становить 100–700 Бк/кг для K40, 10–50 Бк/кг для U238 і Th232.

Активність нуклідів, що викидаються в атмосферу від ТЕС, залежить від їхньої концентрації у вугіллі: 10–70 Бк/кг для K40, 3–520 Бк/кг для U238, 3–320 Бк/кг для Th232, від зольності вугілля, температури спалювання та від типу фільтруючих систем. Глобальна щільність радіоактивного забруднення ґрунту внаслідок спалювання вугілля на 4–7 порядків нижче за норми ГДК.

При штатній роботі АЕС річна середня колективна доза на 1 ГВт(ел) становить 0,02% середнього рівня природного фону. Вона складається з надходжень прямо з копальні – 20 ТБк Кр222; з переробного заводу – 0,9 ТБк; з хвостосховища – 1 ТБк (терабеккерель). З іншого боку, цих стадіях виділяється 0,0016 ТБк ізотопів U, Th, Ка, РЬ, Ро. У повітря викидається 105 ТБк радіоактивних інертних

газів, 3·10<sup>3</sup> ТБк продуктів активації, 550 ТБк тритію, 0,74 ТБк С14, 0,46 ТБк I131 і 0,056 ТБк продуктів поділу U238 у вигляді радіоактивних аерозолів, Хе135 (96%). Крім того, є рідкі радіоактивні відходи із сумарною активністю 5,7 ТБк. Ці додаткові джерела призводять до сумарної колективної еквівалентної дози на населення світу близько 570 людино-бер/ГВт(ел), що менше за 0,005% від рівня природного радіоактивного фону.

Отже, якщо не враховувати теплового забруднення довкілля та величезного споживання прісної води, самі АЕС у проектних експлуатаційних режимах їх роботи виглядають найбільш екологічними серед усіх енергоджерел світового енергетичного комплексу (ПЕК) через їх відповідність критеріям екологічності та вищого коефіцієнта перетворення тепла на електричну енергію, порівняно з середнім коефіцієнтом для всього ПЕК.

Однак будівництво нових АЕС стикається із протидією різних факторів. Вже в перші роки свого становлення ядерна енергетика США зазнала на собі багато ударів з боку громадськості та екологів, які зруйнували її екологічний ореол.

Основа сучасної ядерної енергетики становлять реактори типу ВВЕР, PWR, BWR на теплових нейтронах, у яких можна спалювати лише 1–2% природного урану. У США, Франції, Великобританії та інших країнах були побудовані експериментальні реактори на швидких нейтронах. Проте досі ще не створено надійних безпечних технологій швидких реакторів із закритим ядерним паливним циклом придатних для їх впровадження в промисловість.

Рівні викидів та скидів радіоактивних речовин на АЕС України у навколишнє середовище за даними НАЕК «Енергоатом»: газо-аерозольні викиди інертних радіоактивних газів, радіонуклідів йоду, довго існуючих нуклідів та водні скиди радіонуклідів цезію-137, кобальту-60, тритію. у першому півріччі 2018 року не перевищували 1,5% допустимих рівнів погоджених з Міністерством охорони здоров'я України. А середня індивідуальна річна доза опромінення персоналу АЕС, який обслуговує ядерні установки (категорія А), за даними НАЕК «Енергоатом» також в кілька разів нижча за ліміт. Наприклад, за 2017 рік доза опромінення не перевищила 1 мЗв. Це 5% від ліміту річної дози опромінення для персоналу категорії А – від 20 мЗв. У першій половині 2018 р., опромінення персоналу було в межах 0,5 мЗв. У 2017 р., реальні рівні викидів та скидів радіоактивних речовин українських АЕС не перевищували 1% допустимих значень. Допустимі рівні розраховано так, щоб радіонукліди, які можуть потрапити з АЕС у довкілля, були б меншими встановлених норм 40 мЗв від газо-аерозольних радіоактивних речовин та 10 мЗв від радіоактивних речовин, що виносяться у довкілля з водними скидами.

Розвиток ядерної енергетики також потужним чином стримується потенційною можливістю важ-

ких запроктованих аварій із руйнівним розплавленням активної зони реактора, з величезними ядерно-екологічними наслідками та економічними збитками. Залишаються також не вирішені складні проблеми тривалого зберігання та переробки відходів у вигляді відпрацьованого/опроміненого ядерного палива. Наприклад, згідно з нормативами Управління захисту навколишнього середовища США, зберігання відходів повинно тривати не менше 10 тисяч років, щоб уникнути в майбутньому екологічних і економічних труднощів. Все це призвело до того, що в різних країнах Європи відбувається повне закриття АЕС із застарілим обладнанням. А заміна вилучених потужностей здійснюється викопними ресурсами та НВДЕ. Це означає, що у зв'язку з обмеженням паливних ресурсів, а також через бажання кращої якості життя, екологічні вимоги до процесів промислового вироблення електро- та теплоенергії стали найбільш жорсткими факторами. Але разом з цим на сьогодні ще не існує необхідних обґрунтувань того, щоб розглядати сучасну ядерну енергетику як базу.

Результати пошуку шляхів подолання нинішньої глобальної кризи ядерної енергетики, чинники якої стали очевидними, показують, що на цю роль можуть претендувати: 1) технології на основі ядерної енергії поділу важких елементів, 2) термоядерна енергетика і 3) сонячна енергія. Але для масштабного промислового використання сонячної енергії потрібні досить потужні акумулятори енергії і поки що немає ефективних ідей для вирішення цієї проблеми в принципі. А, створити безпечний замкнений ЯПЦ на основі швидких реакторів, ймовірно буде можливим в останні десятиліття нинішнього століття.

Непарні ізотопи урану і плутонію U-233, U-235, Pu-239 і Pu-241 діляться нейтронами будь-якої енергії, а парні U-238, Pu-240 мають енергетичний поріг, слабо діляться в спектрі нейтронів поділу і зовсім не діляться, якщо нейтрони уповільнені. І критичну масу можуть утворити лише непарні ізотопи. Але в активній зоні реакторів будуються, як правило, із суміші парних та непарних ізотопів урану, причому U-235 лише кілька відсотків. У такому суміші U-238, навіть не поділяючись, виконує свою позитивну функцію. Підхоплюючи нейтрони, U-238 перетворюється на Pu-239, який потім через два  $\beta$ -розпади за 2,5 дні перетворюється на дуже активно ділиться Pu-239 і на згорілі атоми U-235 виробляють інші атоми Pu-239.

Важлива характеристика будь-якого реактора – це коефіцієнт відтворення (КВ), що визначається ставленням числа утворених активних атомів до зниклих. У реакторах на теплових нейтронах КВ  $\approx 0,5$  і горить фактично тільки U-235. У швидких реакторах (БР) КВ  $> 1,0$  і в них відбувається не тільки виділення енергії, а й збільшення (розмноження) кількості атомів, що активно діляться. Іншими словами, відбувається залучення U-238 у процес розподілу через плутоній. Ця обставина має важливе значення.

Серед аргументів противників сучасної ядерної енергетики є те, що за інтенсивного розвитку ядерної енергетики вона вичерпає свій паливний ресурс у вигляді U-235 у найближчі кілька десятиліть. Але цей елемент повністю втратить чинність, якщо в роботу включаються швидкі реактори-розмножувачі, а також більш економічні, наприклад, з великим вигоранням палива до  $\sim 50\%$ , порівняно з сьогоднішнім  $\sim 2\%$  і перспективні реактори майбутнього, тобто реактори покоління GV.

Крім всього, повномасштабна війна проти України вже негативно впливає на процеси ядерного роззброєння. Це означає, що очікувати на вивільнення величезної кількості ядерних матеріалів, у розрахунковій кількості близько 100 т Pu-239 і 1000 т U-235, у найближчі 10 років не відбудеться. Такої кількості матеріалів, що діляться, вистачило б на 40 років роботи всіх експлуатованих АЕС у світі.

При тому, що в природі урану U-238 у 140 разів більше, ніж U-235, у разі реакторів покоління G-V рентабельною стає також видобуток урану з «бідних руд», запаси яких значно більші, і навіть видобуток урану з граніту та морської води. У результаті база ядерної енергетики стає практично необмеженою.

Щодо енергетики на основі керованого термоядерного синтезу (КТС) слід зазначити те, що сьогодні у фахівців мало сумнівів, що одноразове запалення термоядерного палива з масою  $\leq 1$  мг у лабораторних умовах може бути досягнуте в найближче десятиліття за допомогою потужних лазерів або потужного імпульсного електричного розряду (Z-пінча).

Тому порівняння енергетичних можливостей традиційних легководних ядерних реакторів поділу та синтезу має велике значення для формування майбутніх шляхів розвитку енергетики.

Критерії, якими проводиться порівняння, можна розбити на групи з урахуванням ієрархії ознак за рівнем їх важливості.

Основним критерієм є **енергетичний баланс**, тому, що якщо немає позитивного енергетичного виходу, то немає і предмету обговорення. Щоб енергетична установка була виправдана економічно, потрібно, щоб коефіцієнт посилення енергії був 100. Незважаючи на те, що питома калорійність дейтерій-тритієвого палива в 4 рази вище, ніж у актиноїдів, коефіцієнт посилення енергії синтезу значно поступається поділу. Це пов'язано з тим, що енергетичні витрати при виробництві енергії на АЕС в основному пов'язані з видобутком і переробкою вихідної сировини, а безпосередні витрати на здійснення реакції поділу відсутні, звичайно якщо не брати до уваги витрати на власні потреби АЕС, що складають в середньому близько 5% від виробленої енергії.

Для реакцій синтезу ситуація протилежна: видобуток дейтерію відносно недорогий, а тритій виробляється супутньо «само собою» в реакторі, але створення умов ефективного перебігу реакції син-

тезу є надзвичайно енергоємним процесом, і хоча теоретичні оцінки показують можливість отримання значних коефіцієнтів термоядерного посилення енергії, для здійснення практичних кроків в цьому напрямку ще потрібно дуже багато років. В результаті перевага ядерного синтезу перед ядерним поділом у суто енергетичній області то, можливо обумовлено великими запасами палива, що має значення у розвиток енергетики у майбутньому.

Другим екологічним критерієм є **вплив на довкілля**. Цей екологічний критерій має два аспекти: вплив на біосферу у процесі видобутку та виробництва палива, роботи реактора та на стадії утилізації відходів. При роботі реактора треба брати до уваги наведену радіоактивність у конструкційних матеріалах установки та теплове забруднення. Діапазони допустимого радіоактивного впливу становлять від 40 мкЗв (у США) до 100 мкЗв (в Італії) у рідині та 100-1000 мкЗв в атмосфері. Значення річної дози природного фону Землі коливаються залежно від місця виміру від 1,5 до 15 мЗв, досягаючи окремих місцях значення 50 мЗв.

Середнє значення індивідуальної дози, отриманої персоналом різних АЕС за 2001 рік, перебуває у діапазоні 0,75–4,30 мЗв/год. Середнє значення річної дози мегаполісу становить близько 3 мЗв з флуктуаціями приблизно 30%.

Існують два основних фактори можливого радіаційного впливу АЕС на навколишнє середовище: газоаерозольні викиди через систему повітряної вентиляції та скидання охолоджувальної води в ставки-охолоджувачі. Максимальна індивідуальна річна доза населення на територіях розміщення АЕС від газоаерозольних викидів, за найнесприятливіших обставин становить 1–10 мкЗв, залежно від типу ядерного реактора. Реальні індивідуальні річні дози опромінення населення на територіях розташування АЕС України за 2022 рік за найконсервативнішими оцінками не перевищили в середньому: 0,1 мкЗв для АЕС з реакторами типу ВВЕР-1000; 0,5 мкЗв для АЕС з реакторами ВВЕР-440. Для АЕС з реакторами типу РБМК не більше 2 мкЗв.

Радіоактивні та інші відходи виробництва утворюються при видобутку та транспортуванні палива, а також під час роботи ЯЕРБ. Для реакцій синтезу довгоживучі радіоактивні або високотоксичні відходи відсутні. При регламентованій проектом роботі Міжнародного термоядерного експериментального реактора (ІТЕР) головну радіоекологічну небезпеку становить дифузія тритію. Активність 1 г тритію становить 360 ТБк (9700 Ки). Тому емісія 1 мг тритію на день при нормальній роботі ІТЕР призводить до річної дози опромінення 5,5 мкЗв. Для різних варіантів ІТЕР емісія тритію в проектному режимі роботи коливається в інтервалі 4–9 мг/добу [2, 3], а річний внесок у загальний радіаційний фон з урахуванням дифузії тритію за межі ІТЕР не перевищує 45 мкЗв (3%).

Третім важливим критерієм є **безпека**. Активні зони ядерних енергетичних реакторів поділу працюють у критичних умовах, оскільки початкове завантаження палива для швидкого реактора БН-600 дорівнює 32 т, для ВВЕР – 169 т, і для водо-графітового – 204 т. У термоядерних реакторів цей недолік відсутній, оскільки потенційні аварії можуть викидати лише тритій. Аварійний викид 1 г тритію дає еквівалентну результуючу дозу від 0,7 до 2,5 мЗв. Ці значення набули за допомогою різних моделей перенесення тритію в атмосфері при характерній висоті станції 100 м у радіусі 1 км навколо АЕС. Аварійний викид 100 г тритію з активністю 106 Ки створює максимальну дозу в радіусі 2 км не вище 5 мкЗв при швидкості вітру 5 м • с<sup>-1</sup>. небезпеки енергетичної установки. Очевидно, вона буде нижчою, ніж для АЕС.

У якості четвертого критерію доцільно є **запаси матеріально-паливних ресурсів**. Запаси дейтерію у навколишньому середовищі величезні. Вони на 8 порядків вищі, ніж для урану, і сягають 10<sup>20</sup> тон при його повній утилізації. В природі тритій не зустрічається, але він відтворюється в банкеті реактора в результаті ядерних реакцій  $Li^6(n,\alpha)T$ ,  $Li^7(n,2n)Li^6$ ,  $Li^7(n,n\alpha)T$  і тому його лімітуючим фактором є літій. В енергетичній установці потужністю 1 ГВт (е) за рік спалюватиме близько 100 кг дейтерію та 300 кг літію [4, 5]. Отже, якщо термоядерні електростанції будуть виробляти 20 Дж/рік, тобто. 50% нинішньої потреби в електроенергії, то загальне споживання дейтерію та літію становитиме відповідно 60 і 180 тонн/рік. Це означає, що дейтерію, що міститься у воді (0,015%), вистачить на мільйони років. А розвідані рудні запаси літію становлять (8-10)·10<sup>6</sup> тон, і для такого споживання їх вистачить на 75 тисяч років.

Наступним, п'ятим, критерієм є **економічні показники**. Порівнювати вартість вироблення електрики для ще не створеного, навіть значними міжнародними зусиллями, Міжнародного термоядерного реактора ІТЕР з вже реальними енергоустановками, і термін створення якого зовсім невідомий, що вже експлуатуються, буде не коректним порівнянням. А конкурентність економіки реактора ІТЕР у перспективі залежатиме від ціни паливних запасів, що вичерпуються, але передбачити цю ціну на невизначено віддаленому часі, неможливо. Але якісні оцінки все ж можливі. Питомі витрати на одиницю потужності для ядерних енергетичних реакторних установок поділу та синтезу приблизно рівні, але для ІТЕР витрати на тривале зберігання відходів не потрібні. Значні витрати на синтез-енергетиці будуть пов'язані з дорогою амортизацією обладнання, яке буде забезпечувати умови термоядерної реакції, наприклад лазери та прискорювачі. У принципі цю проблему можна вирішити, якщо будуть реалізовані умови для отримання критерію енергетичного посилення  $G \approx 100$  і тоді швидкість розвитку наукових досліджень ядерного синтезу стане визначальним

фактором для розвитку світової енергетики можливо вже в нинішньому столітті.

Таким чином, для енергетичного забезпечення суспільства в майбутньому потрібна енергетика з практично необмеженим паливно-матеріальним ресурсом, з еталонною ядерно-екологічною безпекою та екологічно чистим ядерним паливним циклом. Зрозуміло, що таким вимогам багато в чому відповідає термоядерна енергетика. Але дослідження та експерименти з ядерного синтезу вкрай дорогі і мають велику енергоемність.

У такій ситуації потрібні значні первинні ресурси для створення безпечної та екологічно чистої енергетики майбутнього для утворення яких необхідно покращувати економіку використання ІТЕР і зменшити зростання чисельності нашої цивілізації. В результаті нинішніх демографічних процесів народжуваність на тлі енергоспоживання, що стабілізувалося, вже дуже помітна в розвинутих країнах з фертильністю в два рази нижче порога простого відтворення людського капіталу. І цей демографічний тренд є природним демпфером енергетичної кризи, що розвивається.

Результати представлено у роботі критеріального аналізу були отримані з без врахування потенційних можливостей наукових, науково-технологічних проривів або науково-технологічних революцій в світовій ядерній енергетиці.

Для ліквідації нашої залежності від енергетичних криз активно розробляються теоретичні основи ядерних енергетичних реакторів нового покоління, концепція яких передбачає безумовне виконання головних вимог еталонної ядерно-екологічної безпеки та біосумісності. Найбільш перспективним серед них є так званий хвильовий ядерний реактор, який на відміну від реакторів попередніх поколінь III і IV, не потребує надкритичного завантаження активної зони ядерним паливом, і тому принциповим чином, в силу закладених в нього ядерно-фізичних законів, не може вибухнути і викликати руйнування реакторної зали і тому є біологічно та радіоекологічно безпечним реактором [6]. У даному реакторі реалізується нелінійний саморегульований режим нейтронно-подільної хвилі повільного ядерного горіння, що виключає участь оператора, внаслідок чого цей реактор найвищий рівень внутрішньої безпеки.

У перспективному хвильовому реакторі покоління G-V реалізується режим нейтронно-ділової хвилі повільного ядерного горіння в уран-плутонієвому середовищі, що ділиться. Цей новий тип реактора дозволяє виключити у паливно-ядерному циклі процедуру збагачення ядерного палива та використовувати у ньому природний і навіть збіднений технічний уран, а також відходи у вигляді відпрацьованого в інших реакторах ядерного палива. В даному реакторі в якості матеріалу для ядерного палива можна також використовувати торій [7]. І це є особливо важливим і для України, і для нової світової

ядерної енергетики, якій будуть непотрібні технології збагачення ядерних паливних матеріалів. У ньому також непотрібна система регулювання реактивності реактора, а ступінь вигорання палива може досягати 50–70% залежно від постановки завдання та вимог технічного завдання. При цьому РБВ може бути реалізований як реактор з досить тривалою паливною кампанією без перезавантаження реактора паливом.

Хвильовий реактор покоління G-V може бути реалізований і у вигляді біосумісного реактора-трансмутатора, що повністю відноситься, наприклад, до уран-плутонієвого реактора нового покоління G-V зі свинцевим сповільнювачем і теплоносієм, або з вуглецевим сповільнювачем. Цей реактор біосумісний з навколишнім середовищем, оскільки особливо небезпечні для людини та для природи нукліди-уламки реакцій поділу при поглинанні нейтронів резонансних енергій перетворюватимуться на менш небезпечні або безпечні нукліди і тому накопичення відпрацьованого ядерного палива не буде таким небезпечним для біосфери.

До реакторів G-IV фахівці іноді відносять удосконалені реактори покоління III та III+ з пасивними аварійними системами захисного аварійного охолодження, реактори на швидких нейтронах БН-600 і БН-800, які ще на протязі багатьох років, мабуть ще не займуть базове місце у світовій ядерній енергії. А розроблювані поки що лише теоретично хвильові реактори відносять до реакторів покоління G-V. Очевидно, що суть питання не в назві реакторного покоління, а в тому, що хоча БН-600 і БН-800 вже реалізовані у вигляді кількох ЯЕРБ, проте на принциповому фізичному рівні є небезпечними реакторами, як і ЯЕРБ покоління III та III+, оскільки їх активні зони вимагають надкритичного завантаження ядерного палива. З іншого боку, швидкі змогли б вирішувати проблему замкнутого паливного циклу і це, на перший погляд, прогресивний технологічний шлях у порівнянні з реакторами покоління II та II+. Але швидкі реактори розширюють можливість несанкціонованого розповсюдження ядерних матеріалів.

У дофокусімський період перспектива розширення паливної бази АЕС також пов'язувалася зі змішаним оксидно-уран-плутонієвим МОКС-паливом, оскільки економічно дуже вигідно використовувати значні кількості збройового плутонію, що вивільнився через ядерне роззброєння. Але один з головних уроків катастрофи на АЕС «Фукусіма-1», що сталася внаслідок розплавлення активної зони теплових реакторів, виявив недостатність наших знань про температурні властивості паливних нуклідів, насамперед плутонію 239, у розширеному діапазоні температур понад 1000 °K та у широких діапазонах енергетичних спектрів нейтронів. з робочими температурами теплових реакторів, що діють, на традиційному ядерному паливі. Зауважимо також, що дослідження фізики ядерного геореактора на

внутрішньому ядрі Землі також потребують знань про температурні властивості реакторних паливних нуклідів до  $\sim 7000\text{K}$ .

**Поточний рівень досліджень та перспектив практичного створення ядерних хвильових реакторів покоління G-V.** Вирішення проблем забезпечення людства енергією фахівці насамперед пов'язують з термоядерними реакторами та ядерними реакторами покоління G-V, а також з їх гібридними варіантами – ядерно-термоядерними реакторами [8–17]. На практиці ці проекти ще не реалізовані, але перспективи та значущість кожного з них для подальшого розвитку світової ядерної енергетики багато в чому залежатиме від того, який проект буде реалізовано першим та наскільки раніше. Незважаючи на взаємну конкурентність цих двох типів ядерних реакторів, вони обоє, безсумнівно, залишаються актуальними і у разі успіху займуть свою енергетичну нішу після їхнього практичного впровадження. А їх гібридні варіанти за відсутності відповідних технологічних альтернатив та ефективніших і безпечніших ядерних енергетичних технологій, швидше за все, змогли б стати базою майбутньої світової енергетики.

Противники розвитку ядерної енергетики вважають, що в результаті її інтенсивному розвитку буде вичерпано паливний ресурс  $^{235}\text{U}$  у найближчі десятиліття. Але при цьому не застерігається, що  $^{235}\text{U}$  повністю втратить чинність, якщо в практику будуть впроваджені ядерні реактори, що будуть ефективно працювати на природному  $^{238}\text{U}$ . Це визначається тим, що природного  $^{238}\text{U}$  в 140 разів більше, ніж  $^{235}\text{U}$ , і, в такому разі стає рентабельним видобуток урану з мало збагачених руд, запаси яких значно більші, а також інші способи його фабрикації, наприклад, вилучення паливного урану з граніту та морської води. Важливо розуміти, що цими можливостями володіють і хвильові реактори покоління G-V, але за значного вищого рівня ядерно-екологічної безпеки при їх порівнянні зі швидкими ядерними реакторами.

Зазначимо, що з нових результатів досліджень кінетики та розробки хвильових ядерних реакторів, які є ядерними реакторами нового покоління G-V, впливає те, що в них можна більш ефективно спалювати вже відпрацьоване опромінене ядерне паливо (ВЯП), накопичене у великих кількостях внаслідок роботи ядерних реакторів попередніх поколінь. І тоді очевидно, що ресурси урану стають практично невичерпними.

Звичайно, є й інші важливі пріоритетні вимоги, і чільне місце серед них займають ядерно-екологічна та радіаційна безпека, які мають забезпечуватися за будь-яких неконтрольованих ситуацій з повним виключенням радіоактивного зараження як реакторного залу, промислового майданчика АЕС, а також будь-яких інших, зовнішніх, до АЕС територій. І, крім усього, ЯЕРБ на базі ЯЕРУ покоління

G-V зобов'язаний мати додатковий імперативно гарантований запас безпеки на випадок військових та терористичних дій та атак, який повинен визначатися відомою граничною щільністю потужності АЕС на одиницю площі, яка свідомо не призводить до утворення смертоносних радіоактивних та радіотоксичних слідів, від зруйнованих ЯЕРБ за будь-яких історично усереднених метеоумов для кожної конкретної локації АЕС.

Концепція ядерних реакторів покоління G-V, повинна забезпечувати наступні дві головні вимоги: – мати внутрішню безпеку ядерного реактора і мати ядерно-екологічну біосумісність з біосферою Землі. У зв'язку з цим можна дати визначення еталонно безпечного реактора покоління G-V, який за жодних неконтрольованих ситуацій не створює радіоактивного та радіотоксичного забруднення всередині та поза реакторним залом, і в якому аварія гаситься не зусиллями людини-оператора, а непохитною дією закладених у нього непорушних фізичних принципів, та законів. При цьому поняття біосумісності ядерного реактора визначається тим, що найнебезпечніші для біосфери уламки поділу, такі як технецій, йод, цезій, цирконій та ін, трансмутують безпосередньо в активній зоні реактора під впливом нейтронів і в результаті перетворюються на інші біологічно безпечні ядра. Для реалізації такої біосумісності реактор-трансмутатор має бути реактором на проміжних нейтронах.

До ядерних реакторів нового покоління пропонується також відносити два види ядерних реакторів, які поки що запропоновані лише на рівні ідеї: 1 – проекти підкритичних ядерних реакторів керуваних прискорювачами заряджених частинок ADS (accelerator driven systems); 2 – ядерні реактори-розмножувачі на розплавлених солях.

Однак, з наведених підстав, хвильові реактори з внутрішньою безпекою і з реалізацією нейтронно-ділильної автохвилі ядерного горіння, видаються найбільш перспективними ядерними реакторами. Ці реактори можна реалізувати у вигляді реакторів трансмутаторів. Наприклад, уран-плутонієвий реактор зі свинцевим сповільнювачем та теплоносієм. Тому певні у цій роботі хвильові реактори, у разі успішної практичної реалізації, швидше за все можуть стати повноцінними новими представниками реакторів покоління G-V [18–23].

У ядерних реакторах будь-якого типу визначальними фізичними процесами є нейтронно-ядерні реакції, що призводять до виділення енергії в його активній зоні, і відведення від цієї зони тепла, потім використовується для виробництва електрики. Працюючий ядерний реактор підтримується в критичному стані, коли кількість нейтронів, що виділяються, таке, що вироблена потужність практично не залежить від часу. У підкритичному режимі нейтронів з'являється менше, ніж губиться, і реакція поділу швидко згасає. У надкритичному стані, навпаки,

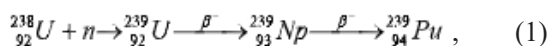
нейтронний вихід занадто великий, і це може призвести до розігріву та «вибуху» активної зони.

У традиційних ядерних реакторах критичний стан фізично нестійкий. Воно підтримується штучно за допомогою дуже складної системи керування. Відсутність такої системи призведе до виходу реактора на підкритичний або надкритичний режими. Реактор робиться із запасом реактивності/надкритичності, який компенсується введенням в активну зону реактора спеціальних поглинаючих «зайві» нейтрони стрижнів. Якщо ж у міру вигорання ядерного палива реактивність знижується, то стрижні, що управляють, частково виводяться з системи і потік нейтронів збільшується до величини, необхідної для планово-проектної роботи реактора.

Характерний час відхилення від критичного стану визначається головним чином періодом нейтронів, що запізняються, що виділяються з уламків поділу ядер через деякий малий час після реакції розпаду. Тривалість періоду нейтронів, що запізняються, менше однієї хвилини і ця властивість пред'являє досить жорсткі вимоги до якості і роботі керуючої системи. За цей короткий час вона має «прийняти» та реалізувати відповідне рішення та реакцію у разі виникнення непередбачених ситуацій.

Головна ідея реактора з внутрішньою безпекою є те, що паливні складові треба підібрати так, щоб його характерний час було помітно більше однієї хвилини і щоб у режимі роботи з'явилися процеси саморегулювання [24, 25].

Для досягнення такого режиму роботи в реакторі серед усіх ядерних реакцій необхідний досить помітний наступний ланцюжок перетворень:



де символами позначені ізотопи урану, нептунію та плутонію,  $n$  – нейтрон,  $\beta$  – позначає бета-розпад. Процес, що утворюється в результаті реакції плутоній, є основним і відразу ж використовується в активній зоні реактора паливом. Характерний час такої реакції – це час двох бета-розпадів, який приблизно дорівнює добам, що майже на чотири порядки більше, ніж для нейтронів, що запізняються.

Саморегулюючий ефект пов'язаний з тим, що з якихось причин збільшення потоку нейтронів викликає швидке вигорання плутонію та зменшення його концентрації, і відповідно потоку нейтронів. А для утворення нових ядер протікатиме в колишньому темпі протягом 3,3 діб. А якщо раптом в результаті зовнішнього нештатного втручання, нейтронний потік різко зменшиться і в результаті зменшиться швидкість вигорання ядерного палива, що у свою чергу збільшить швидкість виробництва та напрацювання плутонію з подальшим зростанням кількості нейтронів, що утворюються в активній зоні реактора, приблизно через той же час, дорівнює кількох діб.

## Висновки

1. Головною рисою сучасної світової енергетики є певна стабілізація споживання електро- та теплоенергії і навіть деяке зниження питомого споживання енергії у світі на кожного жителя Землі. Причиною цьому стала економія енергоресурсів у розвинених країнах, впровадження енергозберігаючих технологій та збільшення кількості енергоустановок малої потужності на основі нетрадиційних відновлюваних джерел енергоресурсів (НВДЕ). Однак, ця економія викликана не браком ресурсів, а збільшенням продуктивності технологій видобування, спалювання і переробки первинних енергоресурсів. Крім того, у газо-нафтогазовому світовому секторі відбулася низка ефективних проривних і революційних технологічних змін.

2. Розвиток світової енергетики йде шляхом підвищення коефіцієнтів корисного використання вже освоєваних енергоресурсів з одночасним підвищенням питомої потенційної потужності установок, тобто збільшенням обсягів видобутку енергоресурсів без (або за) незначної зміни трудовитрат. Тому НВДЕ в статусі енергозберігаючих технологій не є перспективними для великої енергетики тому, що усі НВДЕ мають низький питомий коефіцієнт концентрації енергії, а економія викопних енергоресурсів така, що за допомогою НВДЕ неможна заощадити ресурсів більше ніж їх було вироблено разом із витратами на їх видобуток. Отже у перспективі прогрес енергетики не вимагатиме потужного освоєння ядерно-енергетичних ресурсів за умови їх найвищої, і в першу чергу, абсолютної медико-екологічної безпеки.

3. Дослідження фізичних особливостей реакторів покоління G-V з внутрішньою безпекою та біосумісністю, в основу яких покладено реалізацію нейтронно-розподільчої автохвилі ядерного горіння на сьогодні набули особливої актуальності, що стимулювало вирішення багатьох важливих задач, що стосуються процесів теплоперенесення, структури активної зони, впливу кінетики радіаційних дефектів палива та фазового стану палива, теплової конвекції та перемішування для рідкого чи газоподібного ядерного палива, радіаційної стійкості конструкційних матеріалів, режимів запалювання/ініціалізації активної зони та ін.

4. В науково-технічній літературі вже обговорюються можливі конструкції хвильових ядерних реакторів покоління G-V та обґрунтовуються принципові шляхи практичного вирішення технологічної можливості реалізації режимів повільного нейтронно-ядерного горіння в активних зонах нових безпечних еакторів.

5. Усі результати досліджень кінетики хвильового нейтронно-ядерного горіння були отримані для швидких нейтронів, тобто для швидких хвильових реакторів і при цьому була виявлена проблема радіаційної стійкості стінки твела яка повинна досягати 500 с. н. а.,

і потрібно багато часу для створення конструкційних матеріалів для твелів з радіаційною стійкістю тільки до 200 с. н. а. Ця проблем стала важкою перепоною для подальшого розвитку швидких реакторів.

5. Для вирішення радіаційної стійкості стінки твелу доцільно використовувати нейтрони з ниж-

чими рівнями їх енергії, в яких теж міг би бути реалізований режим хвильового нейтронно-ядерного горіння і саме такий підхід забезпечує зниження радіаційного впливу на стінку твела і тим самим принципово вирішує усі проблеми радіаційної стійкості стінки твела.

### Література

1. Кордуба І.Б., Патлашенко Ж.І. Перспективи технологічного поліпшення ядерно-екологічної безпеки та ефективності ядерної енергетики. Екологічні науки. 2023. № 1(46). С. 75–79.
2. Феоктистов Л.П. Безопасность – ключевой момент возрождения ядерной энергетики. Успехи физических наук. 1993. Том 163, № 8. С. 89–102.
3. Ядерный синтез с инерциальным удержанием. / Под ред. Шаркова Б.Ю. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2005. 264 с.
4. Дюдерштадт Дж., Мозес Г. Инерциальный термоядерный синтез. М.: Энергоатомиздат. 1994. 304 с.
5. Теплотехника. М.: Высшая школа. 2000. 671 с.
6. А.А. Kakaev, V.D. Rusov, V.A. Tarasov, M.V. Eingorn, S.A. Chernenchenko, V.M. Vashchenko, M.E. Beglaryan. Ultraslow wave nuclear burning of uranium-plutonium fissile medium on epithermal neutrons. Progress in Nuclear Energy. 2015. 83, 105). P. 105–122.
7. А.О. Какаев, В.О. Тарасов, С.А. Чернеженко, В.Д. Русов, В.О. Сова. Хвильове нейтронно-ядерне горіння Th232 збагаченого Pu239 у теплової області енергій нейтронів. Журнал фізичних досліджень. 2020. № 24(1). С. 1–8.
8. Бабенко В.А., Енковский Л.Л., Павлович В.Н. Ядерная энергетика. Тенденции в мире и особенности Украины. Физика Элементарных Частиц И Атомного Ядра. 2007. Том 37. Вып. 6. С. 1517–1580.
9. Бзнуни С.А. и др. Перспективные электроядерные системы. Физика элементарных частиц и атомного ядра. 2003. Том 34. С. 977–1032.
10. Феоктистов Л.П., Бреев В.В., Губарев А.В. и др. Расчетно-теоретическое исследование уранового blanketа на тепловых нейтронах для гибридного термоядерного реактора. М: Препринт ИАЭ им. И.В. Курчатова 3624/8. 1982. 23 с.
11. Аврорин Е.Н., Феоктистов Л.П. О гибридном реакторе на основе лазерного термоядерного синтеза. Квантовая электроника. 1978. Том 5. Вып. 2. С. 43.
12. Феоктистов Л.П. Blanket гибридного реактора. // Математическое моделирование. 1995. Том 7. № 3. С. 41–50.
13. Аврорин Е.Н., Феоктистов Л.П. О гибридном реакторе на основе лазерного термоядерного синтеза. Квантовая электроника. 1978. Том 5. Вып.2. С. 43.
14. Феоктистов Л.П. Нейтронно-делительная волна. Доклады Академии наук СССР. 1989. Том 309, № 4. С. 864–867].
15. Тарасов В.А., Борилов Т.Л., Крыжановская Т.В., Чернеженко С.А., Русов В.Д. Теория диссипативных структур кинетической системы для дефектов нелинейной физической системы «металл+нагрузка+облучение». Часть 1. Вопросы атомной науки техники. Сер. физика радиац. повреждений и радиац. материаловедение. Харьков: ХФТИ. 2007. Вып. 2 (90). С. 63–71.
16. Тарасов В.А., Борилов Т.Л., Крыжановская Т.В., Чернеженко С.А., Русов В.Д. Теория диссипативных структур кинетической системы для дефектов нелинейной физической системы «металл+нагрузка+облучение». Часть 2. Вопросы атомной науки техники. Сер. физика радиац. повреждений и радиац. материаловедение. Харьков: ХФТИ. 2007. Вып. 2 (90). С. 72–75.
17. Тарасов В.А., Борилов Т.Л., Крыжановская Т.В., Чернеженко С.А., Русов В.Д. Теория диссипативных структур кинетической системы для дефектов нелинейной физической системы «металл+нагрузка+облучение». Часть 3. Вопросы атомной науки техники. Сер. физика радиац. повреждений и радиац. материаловедение. Харьков: ХФТИ. 2007. Вып. 6 (91). С. 18–28.
18. Тарасов В.А., Борилов Т.Л., Крыжановская Т.В., Чернеженко С.А., Русов В.Д. Теория диссипативных структур кинетической системы для дефектов нелинейной физической системы «металл+нагрузка+облучение». Часть 4. Вопросы атомной науки техники. Сер. физика радиац. повреждений и радиац. материаловедение. Харьков: ХФТИ. 2007. Вып. 6(91). С. 29–35.
19. Тарасов В.А. Нейтринная диагностика быстрого уран-плутониевого реактора IV поколения. Докторская диссертация. Одесса, ОНПУ. 2008. 376 с.
20. Тарасов В.А., Чернеженко С.А., Русов В.Д. Теория диссипативных структур кинетической системы для дефектов нелинейной физической системы «металл+нагрузка+облучение». Саарбрюккен, Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2014. 97 с.
21. Самарский А.А., Дмитренко Н.В., Курдюмов С.П. Михайлов А.П. Тепловые структуры и фундаментальная длина в среде с нелинейной теплопроводностью и объемным источником тепла. ДАН. 1976. Том 227. № 2. С. 321–324.
22. Самарский А.А., Еленин Г.Г., Дмитренко Н.В. и др. Горение нелинейной среды в виде сложных структур. ДАН. 1977. Том 237. № 6. С. 1330–1333.
23. Курдюмов С.П., Мапинецкий Г.Г., Повещенко и др. Взаимодействие диссипативных тепловых структур в нелинейных средах. ДАН. 1980. Том. 251. № 4. С. 836–839.
24. Rusov V.D., Tarasov V.A., Vaschenko V.N. Traveling wave nuclear reactor. Kyiv. Publishing group “A.C.C.”. 2013. 156 p.
25. Режимы с обострением. Эволюции идеи: законы коэволюции сложных структур. Сборник работ С.П.Курдюмова и его учеников, выпущенный к 70-летию со дня его рождения. М.: Наука. 1998. 255 с.



UDC 621.532.4

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.2-47.2>

## IMPACT OF NON-ISOTHERMAL OIL PIPELINES ON THE ENVIRONMENT

Kryvenko G.M.

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas  
Karpatska str., 15, 76019, Ivano-Frankivsk  
galyakrivenko73@gmail.com

With the development of the network of main oil pipelines, there is a continuous increase in the level of technical support of pipelines, improvement of technological processes of oil pumping. One of the methods of transporting highly viscous and congealing oil is pumping with heating. Today, this is one of the most reliable and easy-to-maintain ways of transporting such oil. During the operation of such pipelines, a significant temperature difference occurs at their initial section, which has a negative impact on the environment. The impact of pipeline transport of oil and oil products on the environment is specific: in case of failure of the linear part of the pipeline, almost all components of the environment are more or less exposed to harmful effects.

The aim of the work is to reduce the impact of non-isothermal oil pipelines on the environment by predicting the environmental risk. The object of research is non-isothermal oil pipelines. To predict the environmental risk, a mathematical model of the movement of oil, which takes into account the effect of temperature on the distribution of pressure in the pipeline, has been improved. To assess the impact of non-isothermal oil pipelines on the environment, the amount of oil that will flow out of the defective hole in the event of an emergency is determined. At the same time, the main factor is the pressure above the center of the defective hole, which is found taking into account the oil temperature. The overall heat transfer coefficient is determined according to the dependence proposed by the author.

The influence of oil temperature on the environment during the operation of the oil pipeline was studied. It was established that during the operation of non-isothermal oil pipelines, a significant temperature drop is observed in their initial section, which has a negative impact on the environment. The methodical basis of predictive assessment of relative environmental risk is proposed, which allows comparing the real value of the risk with its maximum permissible value. *Key words*: pressure, temperature, environmental risk, mathematical model, pipeline.

### Вплив неізотермічних нафтопроводів на довкілля. Кривенко Г.М.

З розвитком мережі магістральних нафтопроводів відбувається безперервне підвищення рівня технічного забезпечення трубопроводів, удосконалення технологічних процесів перекачування нафти. Одним із способів транспортування високов'язкої і застигаючої нафти є перекачування з підігрівом. Сьогодні це один з найбільш надійних і простих в обслуговуванні способів транспортування такої нафти. При експлуатації таких трубопроводів на їх початковій ділянці виникає значний перепад температур, що негативно впливає на навколишнє середовище. Вплив трубопровідного транспорту нафти і нафтопродуктів на навколишнє середовище є специфічним: у разі виходу з ладу лінійної частини трубопроводу практично всі компоненти навколишнього середовища більшою чи меншою мірою піддаються шкідливому впливу.

Метою роботи є зменшення впливу неізотермічних нафтопроводів на навколишнє середовище шляхом прогнозування екологічного ризику. Об'єктом дослідження є неізотермічні нафтопроводи. Для прогнозування екологічного ризику удосконалено математичну модель руху нафти, яка враховує вплив температури на розподіл тиску в трубопроводі. Для оцінювання впливу неізотермічних нафтопроводів на навколишнє середовище визначено, яка кількість нафти буде витікати з дефектного отвору у результаті виникнення аварійної ситуації. При цьому основним чинником є тиск над центром дефектного отвору, який знайдено з урахуванням температури нафти. Загальний коефіцієнт тепловіддачі визначено за запропонованою автором залежністю.

Досліджено вплив температури нафти на навколишнє середовище під час експлуатації нафтопроводу. Встановлено, що під час експлуатації неізотермічних нафтопроводів на початковій їх ділянці спостерігається значний перепад температур, що шкодить довкіллю. Запропоновано методичні основи прогнозової оцінки відносного екологічного ризику, що дозволяють порівняти реальне значення ризику з його гранично допустимим значенням. *Ключові слова*: тиск, температура, екологічний ризик, математична модель, трубопровід.

**Formulation of the problem.** One of the methods of transporting highly viscous and congealing oil is pumping with heating. Today, it is considered the most reliable and easy-to-maintain method of transporting highly viscous and congealing oil. The viscous liquid is heated in heat exchangers or heat furnaces before being pumped into the pipeline. As it moves through the pipeline, it cools down. It should be noted that during the operation of isothermal pipelines, the oil temperature will also change during operation. The impact of pipeline transport of oil and petroleum products on the

environment is specific. After all, in case of failure of the linear part of the pipeline, almost all components of the environment are exposed to harmful effects to a greater or lesser extent. Failures of main oil pipelines caused by man-made, natural, and anthropogenic factors disrupt the natural regime of soils and water bodies and pollute the atmosphere, which often leads to environmental disasters.

**The relevance of the research and the connection of the author's work with important scientific and practical tasks.** The most dangerous environmental

pollution occurs in accidents of main oil pipelines, especially large diameters. Accidents pollute a large area, and oil, seeping into the soil, affects its physical and chemical properties. In some cases, in the event of accidents, the oil directly enters the reservoirs. Groundwater can also be polluted. When the spilled oil evaporates, the atmosphere is polluted with volatile hydrocarbons. Oil pipelines, as well as pressurized facilities, are subject to increased reliability requirements, as accidents, in addition to imminent danger to service personnel, pose a risk of environmental pollution. In the process of designing and operating the oil transportation system, its impact on the environment is insufficiently taken into account and the risk is not enough assessed and analyzed. Ensuring safety is mainly limited to maintaining certain distances between the route of the main pipelines and infrastructure facilities. It should be noted that pipeline transport is inextricably linked with the implementation of a set of environmental measures on a fundamentally new scientific and technical basis for the design, construction, and operation of main oil pipelines. Therefore, the problem of researching factors influencing environmental risk during the operation of non-isothermal pipelines is relevant. During the long-term operation of such pipelines, emergencies occur, which can lead to oil leakage from defective holes in the body of the pipe and environmental pollution. Analysis of the consequences of emergency situations during the operation of non-isothermal oil pipelines will make it possible to take the necessary measures to prevent the occurrence of emergency situations in a timely manner. This is the practical significance of the author's work.

**Analysis of recent research and publications.** The reasons for pipeline failures are covered in many works, in particular, by [1, 2, 3]. Forecasting and assessment of oil losses during the emergency situation are given in the articles [4, 5]. The works of [6, 7] are devoted to research in the field of oil pumping and the influence of various factors on thermal and hydraulic regimes. However, the relationship between thermal and hydraulic conditions and its effect on the nature of the pressure distribution along the pipeline were not taken into account when forecasting oil losses due to damage to the linear part of the pipeline. This is especially true for pumping high-viscosity oil [8].

**Highlighting previously unresolved parts of the general problem, to which the specified article is devoted.** From the analysis of literature sources it follows that when determining the pressure distribution on a non-isothermal pipeline, it is necessary to consider the thermal and hydraulic processes in the relationship, which will more accurately predict possible oil leaks in the event of an emergency during the operation.

**The aim and objectives of the study.** The aim of the work is to reduce the impact of non-isothermal oil pipelines on the environment by forecasting environmental risk. To achieve this goal, the following research objectives were formulated: consider the thermal

and hydraulic process in conjunction to predict possible oil leaks in the event of an emergency; investigate the impact of oil temperature on the environment during the operation of the pipeline; carry out a forecast assessment of environmental risk.

The subject of study: oil pipeline.

Research methods: mathematical modeling of the studied processes was used during the research.

**Novelty and general scientific significance.** The novelty of this study lies in the comprehensive analysis of thermal and hydraulic processes during oil pumping through a pipeline. The results, combined with other research, will enable a more precise determination of potential threats during emergency situations on oil pipelines, which will make it possible to develop measures to prevent the occurrence of harmful effects on the environment.

**Presentation of the main material.** When considering mathematical models of processes in a pipeline system, it should be noted that the thermal and hydraulic modes are interrelated. Building a mathematical model of the motion of high-viscosity oil in a pipeline means formulating a closed system of equations that describes the laws of its dynamics. The stationary non-isothermal flow of oil in the main oil pipeline can be described using a system of equations that includes the continuity equation, equation of motion, and energy balance equation [9]. After performing some mathematical transformations, we obtain a system of differential Eqs. (1, 2) that considers both thermal and hydraulic calculations together

$$\frac{dp}{dx} = \frac{(K\pi d(t-t_0)) \frac{\partial \Phi_1}{\partial t} + \Phi_2 \frac{\partial \Phi_3}{\partial t}}{\frac{\partial \Phi_1}{\partial t} \cdot \frac{\partial \Phi_3}{\partial p} - (1 + \frac{\partial \Phi_1}{\partial p}) \frac{\partial \Phi_3}{\partial t}}, \quad (1)$$

$$\frac{dt}{dx} = \frac{\Phi_2 \cdot \frac{\partial \Phi_3}{\partial p} + (K\pi d(t-t_0)) \frac{\partial \Phi_1}{\partial p}}{(1 + \frac{\partial \Phi_1}{\partial p}) \cdot \frac{\partial \Phi_3}{\partial t} - \frac{\partial \Phi_1}{\partial t} \cdot \frac{\partial \Phi_3}{\partial p}}. \quad (2)$$

We introduce the following functions

$$\Phi_1 = \frac{M^2}{S^2 \rho}, \quad \Phi_2 = \frac{\Delta_r \lambda M^2}{2d\rho S^2} + \rho g \sin \alpha, \quad \Phi_3 = MI, \quad (3)$$

where  $M$  – mass flow rate, kg/s;  $p$  – pressure, Pa;  $d$  – internal diameter of the pipeline, m;  $S$  – cross-sectional area, m<sup>2</sup>;  $\lambda$  – friction factor;  $\rho$  – the density of oil, kg/m<sup>3</sup>;  $g$  – the gravitational acceleration,  $g = 9.81$  m/s<sup>2</sup>;  $K$  – the total heat transfer coefficient from oil to the environment, W/(m<sup>2</sup>·K);  $x$  – longitudinal coordinate, m;  $I$  – the specific enthalpy, m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>;  $t$  – oil temperature, °C;  $t_0$  – ambient temperature, °C;  $\Delta_r$  – mean velocity, m/s;  $\Delta_r$  – correction for non-isothermal flow,  $\Delta_r = 1.05$ ;  $\alpha$  – the angle of inclination of the pipeline to the horizontal. The correction for non-isothermal flow takes into account the dissipation of mechanical energy.

The novelty of the proposed mathematical model is that the heat transfer coefficient from the oil moving in the pipeline to the environment is proposed to be

determined taking into account the difference in oil temperatures according to the method described in [1].

$$K = 6.315656 - \frac{33.7669}{\Delta T}, \quad (4)$$

where  $\Delta T$  – temperature difference.

During the transportation of high-viscosity oil, a laminar flow or turbulent flow in hydraulically smooth pipes is observed. The friction factor does not depend on the roughness. The friction factor in the laminar flow is determined by the Stokes formula. The formula given by Haaland [10] is used to determine the friction factor in turbulent flow.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -1.8 \lg \left[ \frac{6.9}{Re} + \left( \frac{\varepsilon/d}{3.7} \right)^{1.11} \right], \quad (5)$$

where  $Re$  – Reynolds number;  $d$  – internal diameter of the pipeline, m;  $\varepsilon/d$  – relative roughness.

The enthalpy of oil  $I$ , viscosity  $\nu$  and density  $\rho$  depending on temperature and pressure are found by the known equations given in [11].

Should be consider how the pressure and temperature of the oil will change along the pipeline, using

the Eqs. (1, 2). Initial data: At the beginning of the pipeline pressure  $p_1 = 3.9$  MPa, pressure at the end of the pipeline  $p_2 = 0.15$  MPa, mean velocity 1.25 m/s,  $t_1 = 50$  °C – the temperature at the beginning of the pipeline, the temperature at the end of the pipeline  $t_2 = 19$  °C;  $t_0 = 5$  °C – ambient (soil) temperature, diameter  $d = 0.250$  m, pipeline length 50 km, oil density  $\rho_{20} = 845$  kg/m<sup>3</sup>, kinematic viscosity  $\nu_{20} = 18 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s,  $\nu_{60} = 2.8 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s.

Based on the results of the calculations, we build graphs of pressure and temperature distribution along the length of the pipeline (Fig. 1, 2).

From the analysis of Fig. 1, which shows the nature of the pressure distribution along the pipeline, it follows that the pressures determined by the proposed Eq. (1) and without taking into account the thermal regime and dissipation of mechanical energy differ, which must be taken into account when forecasting oil leakage situations.

The movement of real fluid is always accompanied by energy loss, even when flowing through a smooth-walled pipeline. The main cause of such losses is the

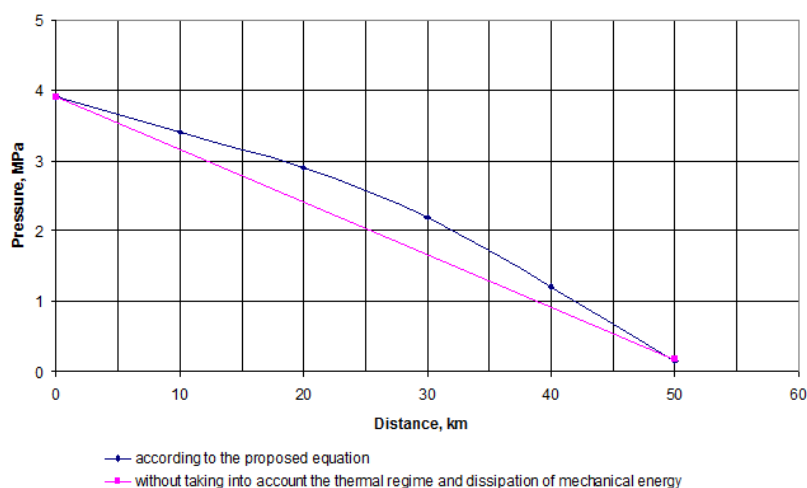


Fig. 1. Pressure distribution along the pipeline

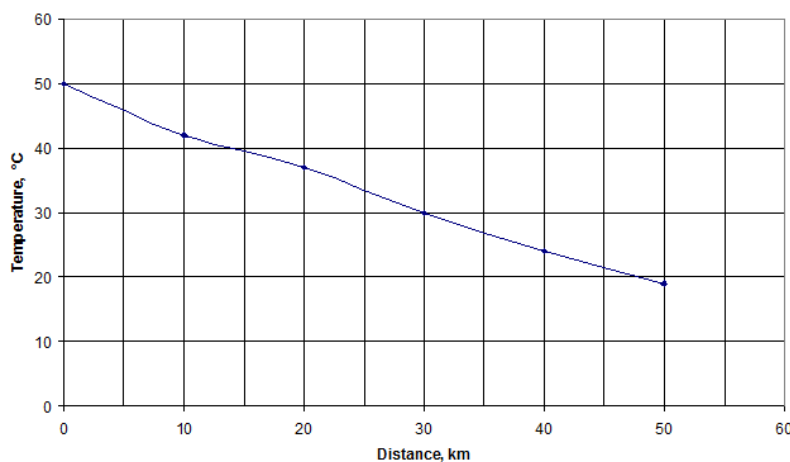


Fig. 2. Temperature distribution along the pipeline

internal friction of the fluid due to its viscosity. Therefore, when pumping high-viscosity oil, the effect of viscosity on the amount of head loss is quite significant. Thus, the pressure loss will be greater and the pressure at the end of the pipeline will be lower. To reduce the impact of non-isothermal pipelines on the environment, it is necessary to predict the amount of oil that may leak from a defective hole during an emergency. The pressure over the center of the defective hole, which is found according to Fig. 1, is one of the main factors affecting the amount of oil leakage. Given the nature of the oil pressure distribution along the pipeline and the presence of defects in the pipe body according to the diagnostic results, it is possible to predict how much oil will flow out of the defective hole as a result of an emergency.

Volume flow rate

$$Q = \mu s \sqrt{2g\Delta H} = \mu_f s \sqrt{2 \frac{p_{in} - p_{out}}{\rho}}, \quad (6)$$

where  $\mu$  – the discharge coefficient;  $s$  – the cross-sectional area of the orifice,  $m^2$ ;  $g$  – the gravitational acceleration,  $m/s^2$ ;  $\Delta H$  – the head difference,  $m$ ;  $p_{in}$  – the pressure inside of the pipe,  $Pa$ ;  $p_{out}$  – the pressure outside, which depends on the environment where the oil flows,  $Pa$ ;  $\rho$  – the density of oil,  $kg/m^3$ ;  $\mu_f$  – the discharge coefficient, which takes into account the filtration property of the soil.

Therefore, the amount of oil in units  $m^3$  that was spilled from the emergency orifice over time  $\tau$ , will be  $V=Q\tau$ . Here  $\tau = 2.5$  hours [1] (from the moment of depressurization of the pipeline to the moment of identification of an emergency situation and shutdown of the pump station). Heated oil poses a special danger to the environment in the event of an accident at the beginning of the pipeline, which must be taken into account when operating a non-isothermal pipeline.

The nature of the temperature distribution, determined by Eq. (2), makes it possible to identify the most

dangerous areas relative to the temperature difference. For example, for the pipeline under study, the temperature difference at the depth of laying the pipeline varies on average from  $50\text{ }^\circ C$  to  $19\text{ }^\circ C$ , a section up to 30 km from the beginning of the pipeline is dangerous (Fig. 2). Let's calculate the heat release into the environment for the investigated pipeline according to the method given in [11], (Fig. 3). For underground oil pipelines, the environment is the soil at the depth of pipeline laying. The distribution of heat release in the environment corresponds to the change in temperature in the dangerous area up to 30 km from the beginning of the pipeline and in the area from 30 km to 50 km. From the analysis of Fig.3 it follows that there is a significant heat release along the pipeline, which affects the environment, especially in the initial section of the pipeline. The total heat release into the environment is 2563 kJ/s. As Ukraine is permeated by a network of oil and gas pipelines with a total length of up to 40 thousand km, during their operation there is substantive thermal pollution of the environment.

The higher the initial heating temperature of highly viscous solidifying oil, the more damage is done to the environment. For example, in the winter, a melting zone will inevitably appear around the pipeline, resulting in the formation of new drainage strips along the pipeline, and the removal of soil. The use of thermal insulation only slows down these processes. The thermal effect of the pipeline on the environment lasts throughout the life of the structure. It follows that the operation of main oil pipelines is impossible without the requirements of environmental protection.

Particular attention should be paid to the trouble-free operation of non-isothermal oil pipelines. The magnitude of the environmental risk in the operation of main oil pipelines depends on the probability of an accident. Since the quantitative assessment of the level of environmental

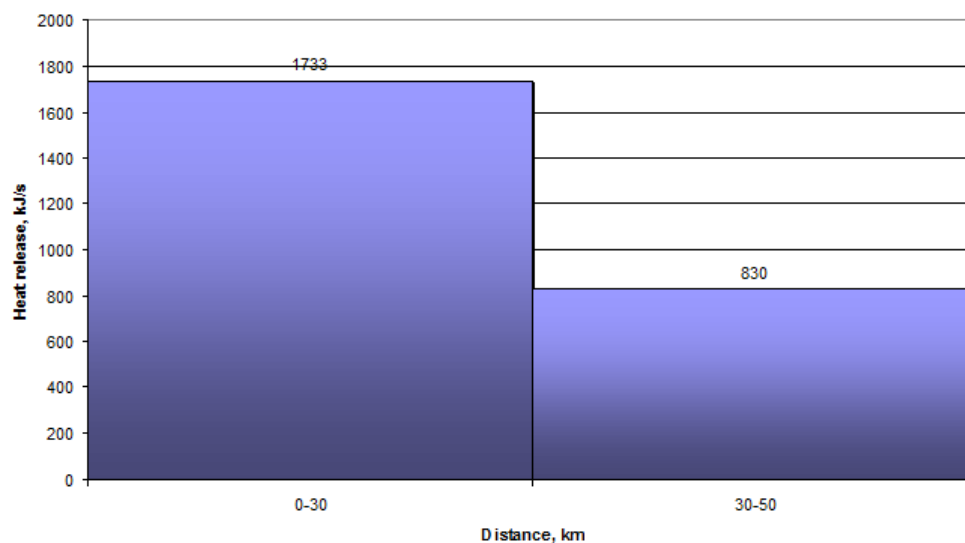


Fig. 3. Distribution of heat to the environment along the pipeline

risk does not allow us to resolve the question of its acceptability or unacceptability, the concept of relative environmental risk  $R_r$  is introduced, which allows comparing the real value of the risk acceptable environmental risk  $R_{en}$  with its maximum allowable value  $R_{en,max}$ . The average failure rate on main oil pipelines is taken for calculations.

The relative environmental risk is determined by the following equation

$$R_r = \frac{R_{en}}{R_{en,max}} = \frac{\varphi}{\varphi_m} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{V_{max} \cdot n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{S_{max} \cdot n}, \quad (7)$$

where  $\varphi$  – failure rate, 1/ (year · km);  $\varphi_m$  – the average failure rate on main oil pipelines, which according to [1], is 0.36 year<sup>-1</sup> per 1000 km;  $n$  – the number of defects in the body of the pipe (according to the results of diagnosis);  $V_i$  – the predicted volume of oil that may leak from the defective orifice, m<sup>3</sup>;  $V_{max}$  – the maximum allowable volume of oil at the time of leakage;  $S_i$  – the area of pollution at the volume of  $V_i$ ;  $S_{max}$  – the maximum allowable area of contamination.

The area of the oil slick formed during this period of time at the outflow increases both with the increase of the outgoing oil temperature (at a constant soil temperature) and the soil temperature (at a constant oil temperature) and with the increase of the oil outflow value at a constant oil temperature). Dependence between spot area  $S$  (m<sup>2</sup>) and leakage value  $V$ (m<sup>3</sup>) [12]:

$$S = 53,5V^{0,89}. \quad (8)$$

Calculations by formula (10) show that the environmental risk for the pipeline section is  $R_r=0,052$ . If the

maximum relative environmental risk to take  $R_{r,max} = 1$ , then the investigated section of the pipeline can be attributed to the environmentally friendly.

**Conclusions.** To predict environmental risk, the mathematical model of oil movement has been improved, which considers the influence of the thermal regime on the pressure distribution in the pipeline. The improvement of the method of thermohydraulic calculation consists of the proposed mathematical model for determining the full heat transfer coefficient depending on the temperature difference of oil, taking into account the dissipation of mechanical energy, as well as the simplicity of its implementation.

During the operation of non-isothermal oil pipelines in their initial section, there is a significant temperature difference, which has a negative impact on the environment. Heat release into the environment for the investigated pipeline in the initial section with a temperature difference of 30 °C is 2 times more than in the area with a temperature difference of 11 °C.

Predictive assessment of relative environmental risk allows comparing the real value of risk with its maximum allowable value. The environmental risk for the section of the investigated pipeline is  $R_r=0,052$ .

**Prospects for the use of research results.** The results of scientific research presented in this article can serve as a basis for forecasting the environmental risk during the operation of non-isothermal oil pipelines. Further research involves predicting hazard risks at oil and gas industry facilities.

## References

1. Енергоекологічна безпека нафтогазових об'єктів / Р. М. Говдяк та ін. Івано-Франківськ: «Лілея НВ», 2007. 556 с.
2. Kryvenko Galyna, Semchuk Yaroslav, Lialuk-Viter Halyna, Steliga Ivan. Ensuring the Environmental Safety of the Oil Pipelines Operation. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*. 6,3, 2019. P. 483–492.
3. Андрусак А. В. Аналіз і причини відмов на нафтопроводі та фактори, які впливають на їх експлуатацію. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2008. № 4. С. 83–85.
4. Kryvenko G.M., Vozniak L.V. Forecasting of emergency oil losses through the defective orifices in industrial pipelines. *World Science, Multidisciplinary Scientific Edition*. 2018. 3. P. 17–25.
5. Бабаджанова О. Ф., Павлюк Ю. Е., Сукач Ю. Г. Пожежонебезпечні аварійні виливи нафти з лінійної частини магістрального нафтопроводу. *Пожежна безпека*. 2010. № 16. С. 27–34.
6. Пилипів Л.Д. Дослідження впливу термообробки високов'язкої долиньської нафти на її реологічні та транспортабельні властивості. *Нафтогазова галузь України*. 2015. С. 18–20.
7. Яновський С.Р. Оптимізація температури підігріву долиньської нафти перед транспортуванням її нафтопроводом Долина – Дрогобич. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2009. № 4 (33). С. 92–95.
8. Volodymyr Grudz, Andriy Zhdek, Vasył Bolonnuy. Estimation of flow rate of oil loss as a result of damage of linear part of oil main. *Metallurgical and Mining Industry*. 2016. № 6. P. 75–78.
9. Возняк М. П., Возняк Л. В., Кривенко Г.М. Математична модель неізотермічного руху високов'язкої парафінової нафти з урахуванням її ньютонівської поведінки. *Нафтова і газова промисловість*. 1996. № 4. С. 41–42.
10. White Frank M. *Fluid Mechanics*. 1994. 736 p.
11. Тугунов П.И., Новоселов В.Ф., Коршак А.А., Шаммазов А.М. Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов. 2002. 658 с.
12. Adamu, Bashir, Tansey, Kevin and Ogotu, Booker. An investigation into the factors influencing the detectability of oil spills using spectral indices in an oil-polluted environment. *International Journal of Remote Sensing*, 37 (10), 2016. P. 2338–2357 (doi: 10.1080/01431161.2016.1176271).

UDC 621.928.9

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.2-47.3>

## GAS CLEANING FROM DUST IN A CYCLONE ROTARY DEVICE

Kuznietsov S.<sup>1</sup>, Venher O.<sup>1</sup>, Grygorieva L.<sup>2</sup>, Semenchenko O.<sup>1</sup>, Bezpалchenko V.<sup>1</sup>, Ivkina E.<sup>1</sup><sup>1</sup>Kherson National Technical University  
Instytutska str., 11, 29016, Khmelnytsky<sup>2</sup>Black Sea National University named after Petro Mohyla  
68 Desantnykiv str., 10, 54000, Mykolaivksiekol@gmail.com, super-elenavenger@ukr.net, kafecobezpeka@ukr.net,  
Oksana.Semenchenko@gmail.com, bezpalchenkov@ukr.net, liza\_ivkina@ukr.net

The cyclone rotary dust collector got its name due to the fact that it embodies the principle of two-stage separation of inhomogeneous dust and gas systems in a centrifugal field. First, in the first stage, operating on the principle of a cyclone, and then in the second, operating on the principle of a rotary dust collector. The apparatus differs from serial cyclones in that it has a shortened central tube with a conical baffle and a rotating rotor. It provides gas circulation and returns fine dust from the upper rotation zone to the lower cyclone zone. This greatly improves the efficiency of dust collection. The device is able to create a vacuum in the suction and pressure in the discharge pipe, due to which it can work autonomously (without a fan) and treat gases that do not have an initial overpressure. Due to the large centrifugal force acting on the particle in the rotary part of the dust collector, it effectively captures particles with a diameter of less than 8 microns. With the help of the rotor, a fine dispersion of the liquid and an exceptionally uniform (circular) irrigation of the walls of the apparatus are achieved, which has a positive effect on the capture of fine and sticky dust. The installation of a shortened central pipe with a conical baffle in the dust collector made it possible to divide the apparatus into two parts and carry out a two-stage gas purification. The rotor, mounted on the top of the dust collector, also performs a number of other functions. Working like a centrifugal atomizer, it finely atomizes the liquid, facilitating more efficient (wet) particle capture. At the same time, it provides an extremely uniform, circular irrigation of the walls of the first and second stages of the apparatus, which is necessary for washing off adhering dust. This is especially important when trapping sticky particles. When cleaning gases from loose, non-sticking particles, the apparatus can operate in dry mode without irrigation. By changing the speed of rotation of the rotor within certain limits, it is possible to change the productivity and pressure of the dust collector. *Key words*: cyclone-rotary dust collector, gas cleaning from dust, fine dust.

**Очищення газів від пилу в циклонно-ротаційному апараті. Кузнєцов С.І., Венгер О.О., Григор'єва Л.І., Семенченко О.О., Безпальченко В.М., Івкіна Є.С.**

Циклонно-ротаційний пиловловлювач отримав свою назву завдяки тому, що в ньому втілено принцип двоступеневого поділу неоднорідних пило-газових систем у відцентровому полі. Спочатку в першому ступені, що працює за принципом циклону, а потім у другому, – працює за принципом ротаційного пиловловлювача. Апарат відрізняється від серійних циклонів тим, що в ньому встановлена укорочена центральна труба з конусною перегородкою і ротор, що обертається. Він забезпечує циркуляцію газу та повертає дрібнодисперсний пил з верхньої ротаційної зони в нижню циклонну. Завдяки цьому суттєво підвищується ефективність пиловловлення. Апарат, здатний створювати розрідження у всмоктувальному та тиск у нагнітальному патрубку, завдяки чому може працювати автономно (без вентилятора) та піддавати очищенню газу, що не мають початкового надлишкового тиску. Завдяки великій відцентровій силі, що діє на частинку в ротаційній частині пиловловлювача, він ефективно вловлює частинки діаметром менше 8 мкм. За допомогою ротора досягається тонке диспергування рідини і виключно рівномірне (кругове) зрошення стінок апарату, що позитивно позначається при вловлюванні дрібнодисперсного і пилу, що злипається. Установка в пиловловлювачі укороченої центральної труби з конусною перегородкою дозволило розділити апарат на дві частини та здійснити двоступінчасте очищення газів. Ротор, встановлений у верхній частині пиловловлювача виконує, також і ряд інших функцій. Працюючи як відцентрова форсунка тонко розпорошує рідину, сприяючи більш ефективному (у мокрому режимі) уловлюванню частинок. Одночасно він забезпечує виключно рівномірне, кругове зрошення стінок першого і другого ступеня апарату, що необхідно для змиву пилу, що налипає. Це особливо важливо при уловлюванні часток, що злипаються. При очищенні газів від сипких частинок, що не злипаються, апарат може працювати в сухому режимі без зрошення. Змінюючи в певних межах швидкість обертання ротора, можна змінювати продуктивність і напір пиловловлювача. *Ключові слова*: циклонно-ротаційний пиловловлювач, очищення газів від пилу, дрібнодисперсний пил.

**Formulation of the problem. Formulation of the problem.** Air pollution by technogenic dust, today, has become one of the most pressing modern problems. Solid particles can accumulate and travel long distances. They adsorb harmful substances from the air, worsening the ecological situation on a local and global scale.

Particles smaller than 10 microns do not linger in the upper respiratory tract, accumulate in the lungs and interfere with the gas exchange of the body with the external environment. In industrial emissions into the

atmosphere, their countable number is huge, despite the fact that the mass fraction is negligible. According to WHO experts, ninety percent of the world's population breathes polluted air. Microscopic particles enter the respiratory and circulatory systems, damaging the tissues of the lungs, heart and brain and causing diseases such as cancer, stroke, heart and lung diseases.

On the recommendation of WHO in the EU countries in 2015, the following maximum permissible concentrations of dust were established:

– for particles with a size of 10 microns and less than 0,05 mg/m<sup>3</sup>;

– for particles 2,5 microns and less – 0,085–0,01 mg/m<sup>3</sup> [1].

Pollutant emissions from stationary sources are also regulated by the order of the Ministry of Environment and Natural Resources of Ukraine No. 309 and should not exceed 50 mg/m<sup>3</sup> [2].

**Analysis of recent research and publications.** The dust collection systems used today operate with design efficiency in a narrow range of speeds, concentrations, thermodynamic parameters of the carrier medium, and with all the advantages, in some cases, their use becomes ineffective. This applies to the capture of fine, agglomerating dust, as well as in case of insufficient pressure of the gas to be purified [3-7].

The developed design of the dust collector is devoid of these disadvantages.

**Formulation of research objectives.** The design and principle of operation of the two-stage cyclone-rotary dust collector provides gas circulation, in which fine dust returns from the rotation zone to the cyclone and coagulates, as a result of which the dust collection efficiency of fine particles is significantly increased.

**Statement of the main material.** Figure 1 shows an axonometric view of a cyclone-rotary dust collector. It has a shortened central tube with a conical baffle and a rotor [8].

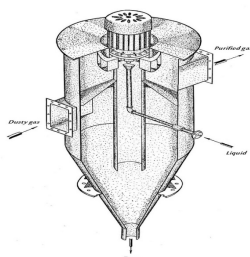


Fig 1. Cyclone-rotary dust collector

A gap is provided between the conical partition and the inner part of the cylinder, the dimensions of which are in the range from 5 mm to 9 mm, depending on the dimensions of the apparatus. The installation of a conical partition on the central pipe in the dust collector makes it possible to divide the apparatus into two parts and carry out two-stage gas purification. At the same time, in the second stage, due to the installation of a rotating rotor with variable speed in it, the centrifugal force ( $P_c$ ) can be increased by 3–5 times compared to that achieved in cyclones of known designs. This allows you to increase the degree of gas purification and effectively capture dust particles with a diameter of less than 10 microns. The cyclone rotary dust collector is capable of operating both in dry and wet modes [9].

The rotor installed in the dust collector performs the following functions:

– working as a gas blower, it creates a vacuum in the inlet and excess pressure in the discharge pipe. In this regard, the dust collector can operate autonomously (without a fan) and purify gases that do not have an initial overpressure;

– working like a centrifugal nozzle – it finely atomizes the liquid, contributing to a more efficient (in wet mode) trapping of particles. At the same time, it provides a uniform, circular irrigation of the walls of the first and second stages of the dust washer. This is especially important when dealing with sticky dust. When cleaning gases from loose, non-sticking particles, the apparatus can operate in dry mode without irrigation, while the purification efficiency does not significantly decrease;

– by changing the speed of rotation of the rotor within certain limits, it is possible to change the productivity and pressure of the dust collector.

To determine the efficiency of gas purification in cyclone-rotary dust collectors, let us consider some theoretical prerequisites for the separation of inhomogeneous dust and gas systems in a centrifugal field. As is known, during the operation of a cyclone, three components act on a particle moving in the field of centrifugal forces.

The first component is the centrifugal force, which throws the particle to the periphery of the cyclone:

$$P_c = \frac{m \cdot \omega_T^2}{R}, \quad (1)$$

where  $m$  – is the particle mass, kg;  $\omega_T$  – is the tangential velocity of the particle ( $\omega_T = \omega_{bx}$ ), m/s;  $R$  – is the radius from the center to the particle, m.

The second is the force of resistance to the movement of the particle in the radial direction:

$$P_R = 3\pi \cdot \omega_R \cdot d_q \cdot \mu, \quad (2)$$

where  $\omega_R$  – particle radial velocity, m/s;  $d_q$  – particle diameter, m;  $\mu$  – medium viscosity, N·s/m<sup>2</sup>

The third is gravity:

$$P_g = m \cdot g, \quad (3)$$

where  $m$  – is the mass of the particle, kg;  $g$  – acceleration of gravity.

The particle begins to move in the radial direction when  $P_c > P_R$ . Equating (1) and (2) forms and assuming that

$$m = \frac{\pi \cdot d_q^3}{6} \cdot \rho_q, \quad (4)$$

$$\text{we get: } \omega_R = \frac{d_q^2 \cdot \omega_T^2 \cdot \rho_q}{18\mu \cdot R} \quad (5)$$

The time of deposition of particles in the space of the apparatus between  $R_2$  and  $R_1$  will be:

$$\tau_{oc} = \frac{R_2 - R_1}{2\omega_R} = \frac{9\mu \cdot (R_2^2 - R_1^2)}{d_q^2 \cdot \omega_T^2 \cdot \rho_q}, \quad (6)$$

where  $R_2$  and  $R_1$  – radii of the central pipe and cyclone,

$m$  ( $R = \frac{R_1 + R_2}{2}$ );  $\rho_q$  – density, kg/m<sup>3</sup>;

$$\text{we get: } \frac{m \cdot \omega_T^2}{R} = 3\pi \cdot \omega_R \cdot d_q \cdot \mu \quad (7)$$

Assuming that the collected dust has a spherical shape, according to formula (8), the smallest particle diameter can be found that will be completely captured by the apparatus during the time  $\tau_{oc}$ .

$$d_{min} = 3 \sqrt{\frac{\mu \cdot (R_2 - R_1)}{\pi \cdot n' \cdot \rho_q \cdot \omega_r}} \quad (8)$$

From (8) it is possible to make an estimate of the degree of dust collection of the cyclone, assuming that fractions with particle sizes  $d_{min}$  and larger will be completely captured in the apparatus. For them, the degree of capture of particles in fractions of a unit will be one. The degree of particle trapping, the diameter is  $d_x < d_{min}$  determined from the ratio:

$$\eta_x = \frac{R_2 - R_x}{R_2 - R_1} = \frac{d_x^2}{d_{min}^2} \quad (9)$$

Attitude  $\frac{P_c}{g} = Fr_c$  called the separation factor or centrifugal Froude criterion. Substituting the value  $P_c$  and  $g$  we get:

$$Fr_c = \frac{m \cdot \omega_r^2}{R \cdot mg} = \frac{\omega_r^2}{Rg} = \frac{n^2 \cdot R}{900}, \quad (10)$$

where  $n$  – particle rotation frequency,  $m^{-1}$ .

Сопротивление циклона определяется из соотношения:

$$\Delta P_c = \xi \cdot \frac{\rho_r \cdot \omega_{entr}^2}{2}, \quad (11)$$

where  $\omega_{entr}$  – gas velocity in the inlet pipe,  $m/s$ ;  $\rho_r$  – gas density,  $kg/m^3$ .

Instead of  $\omega_{entr}$  the conditional gas velocity can be used, referred to the cross-sectional area of the cylindrical part of the cyclone –  $\omega_{con}$  ( $\omega_{con} = 3 \div 5$   $m/s$ ). Then

$$\Delta P'_u = \xi' \cdot \frac{\rho_r \cdot \omega_{entr}^2}{2}, \quad (12)$$

where  $\xi$  и  $\xi'$  – cyclone hydraulic resistance coefficient.

For various designs of cyclones  $\xi'_{x=1} = 2-5$ ;  $\xi' = 50-30$ .

From the equation (12) can be written:

$$\frac{\Delta P'_u}{\rho_r} = \frac{\xi \cdot \omega_{entr}^2}{2} \quad (13)$$

For each cyclone design, the ratio  $\frac{\Delta P_c}{\rho_r}$  has the optimum value. The best cleaning conditions are provided when  $\frac{\Delta P'_u}{\rho_r} = 50 \div 75m$ .

Cyclone performance in  $m^3/h$  is determined from the formula:

$$Q = \omega_{con} \cdot S \cdot 3600, \quad (14)$$

where  $S$  – cyclone cross section,  $m^2$ .

Thus, using the above equations, it is possible to determine the main indicators of the process of separating dust and gas systems in a centrifugal field. Table 1 shows the comparative characteristics of the operation of the cyclone TsN-15 and the cyclone-rotary dust collector – 600, obtained by calculation under the following conditions:  $D = 0,6m$ ;  $R_2 = 0,3m$ ;  $R_1 = 0,15m$ ;

$$R = \frac{R_1 + R_2}{2} = 0,225m; \mu = 1,8 \cdot 10^{-5} N \cdot s/m^2; \rho_q = 1500 kg/m^3.$$

The data given in the table show that cyclone rotary dust collector-600 compares favorably with the TsN-15 cyclone of equal diameter. It has a centrifugal force 12,5 times greater than in the TsN-15 cyclone. The settling rate is increased by the same factor and the settling time of particles is reduced. The Froude criterion (separation factor) for cyclone rotary dust collector-600 is 30 times higher than for cyclone TsN-15. Due to these advantages, the minimum diameter of particles to be captured in cyclone rotary dust collector-600 is 6,96 microns, while in cyclone TsN-15 it is 13,1 microns, i.e. 2 times more. Especially significant is the advantage of cyclone rotary dust collector-600 when capturing micron particles. Particles with a diameter of 10, 8, 6, 4 microns in the cyclone rotary dust collector-600 are captured by 100, 100, 74 and 33%, respectively, while in the TsN-15 cyclone – by 58, 37, 21 and 9%. To this it should be added that the cyclone rotary dust collector-600 operates autonomously (without a fan) and is capable of developing a pressure of 680 Pa, while the TsN-15 cyclone has a hydraulic resistance of  $\sim 400$  Pa and requires the installation of a fan.

Note: Values  $P_c$ ,  $\omega_r$ ,  $\tau_{oc}$  determined for nominal particle diameter  $d=10$  micron.

The combination of several principles of dust cleaning in one apparatus and the creation of controlled additional forces that contribute to the capture of dust in the working volume of the apparatus makes it possible to increase the efficiency of dust collection and create conditions for additional separation of the dust and gas flow when passing through the apparatus. However, at the same time, the hydraulic resistance of the apparatus should not increase significantly.

Cyclone-rotary dust collector has a number of advantages compared to conventional cyclones:

- acting as a gas blower, it creates a vacuum in the suction and pressure in the discharge pipe, due to which it can work autonomously (without a fan) and clean gases that do not have an initial overpressure;
- due to the large centrifugal force acting on the particle in the rotary part of the dust collector, it effectively captures particles with a diameter of 8 microns;
- with the help of a rotating rotor, a fine dispersion of the liquid and uniform irrigation of the walls of the apparatus are achieved, which contributes to an increase in the efficiency of capturing fine and sticky dust.

In cyclone rotary dust collector effectively implemented:

- absorption processes for purification of ventilation emissions from harmful gases ( $SO_2$ ,  $CO$ ,  $NO_2$ , etc.);
- technological processes of gas and liquid interaction;
- wet collection of fine dust and aerosols;
- cooling, humidification (drying) of gas;



Table 1

Comparative characteristics of cyclone TsN-15 and cyclone rotary dust collector-600

№	Parameter	Symbol	Units	Parameter value	
				TsN-15	Cyclone rotary dust collector-600
1	Performance	L	m <sup>3</sup> /h	4000	4000
2	Cyclone diameter	D	m	0,6	0,6
3	Cyclone diameter	$\omega_{entr}$	m/s	15	15
4	Gas velocity in free section	$\omega_{con}$	m/s	3,93	3,93
5	Centrifugal force	$P_C$	kg·m/s	$7,8510^{-10}$	$98,5 \cdot 10^{-10}$
6	Particle speed in radial direction	$\omega_R$	m/s	0,46	5,84
7	Settling time	$\tau_{oc}$	s	0,324	0,026
8	Minimum particle diameter	$d_{min}$	m	$13,1 \cdot 10^{-6}$	$6,96 \cdot 10^{-6}$
9	Separation factor	$Fr_C$		102	3270
10	Device resistance	$P_{it}$	Pa	405	405
11	Hydraulic resistance coefficient	$\xi$		3	3
12	Pressure	$P_n$	Pa	–	680
13	Ratio $\frac{\Delta PC}{\rho_o}$		m	337,5	337,5
14	The degree of trapping of particles with a diameter:				
	$d_2 = 15\text{micron}$	$\eta$	%	100	100
	$d_2 = 10\text{micron}$	$\eta$	%	58	100
	$d_2 = 8\text{micron}$	$\eta$	%	37	100
	$d_2 = 6\text{micron}$	$\eta$	%	21	74
	$d_2 = 4\text{micron}$	$\eta$	%	9	33

– can be used at various enterprises as absorbers – dust collectors, effectively capturing solid particles, aerosols and gaseous impurities.

An important task was to determine the degree of dust collection depending on the speed of rotation of the rotor, which in turn determines the performance and head of the dust collector. The studies were carried out both in dry and wet modes at the maximum aerodynamic efficiency of the dust collector (0,39–0,4). The real flow rate of the liquid in the studies was 0,2–0,25 dm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>. The dust content in the gas was determined by the gravimetric method with external filtration at the inlet, after the first and after the second stage of the dust collector. In the cyclone rotary dust collector, the main characteristic is not resistance ( $\Delta P$ ), but pressure (P). When working, both in dry and wet modes, the degree of purification increases as the irrigation  $P/\rho_o$  increases. Moreover, this increase is initially intense, and then smooth, fading. The transition region lies at  $P/\rho_o = 200 \div 300$ . Operation at higher values of  $P/\rho_o$  would be impractical, since in this case a slight increase in the degree of purification would be accompanied by a disproportionate increase in the energy expended. But here it should be taken into account that with an increase in the ratio  $P/\rho_o$ , the productivity of the apparatus increases. Therefore, the optimal area of operation of the cyclone rotary dust collector lies at the maximum values of  $P/\rho_o$ . When working in dry mode,

Table 2

Characteristics cyclone rotary dust collector-600

Cylinder diameter	0,6 m
Height	1,02 m
Central tube diameter	0,3 m
Central tube height	0,84 m
Rotor diameter	0,35 m
Rotor height	0,12 m
Cone height	0,9 m
Rotor speed	2800 min <sup>-1</sup>
Inlet size	0,24×0,24 m
Outlet size	0,15×0,15m
Performance	4000 m <sup>3</sup> /h
pressure	750 Pa
Engine power	2,5 kW
Cone height	0,12 m
Cone baffle diameter	0,582 m
Permissible dust content	200 mg/m <sup>3</sup>
Minimum effective particle size	8 micron
Cleaning degree	99,7%
Specific liquid consumption per 1000 m <sup>3</sup> of gas	0,1–0,3 m <sup>3</sup>
Specific electricity consumption per 1000 m <sup>3</sup> of gas	0,2–0,3 kW

the degree of cleaning is not significantly reduced. When cleaning gases from sticking dust, effective cleaning is possible only in wet mode, otherwise the dust collector may become blocked.

### References

1. World Health Assembly, 68. (2015). № doc.A68/A/CONF./2 Rev. 1. URL: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/253206> (дата звернення 27.03.2023).
2. Наказ міністерства охорони навколишнього природного середовища УКРАЇНИ 27.06.2006 № 309 Про затвердження нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0912-06#Text> (дата звернення 27.03.2023).
3. Мазилін С. Д., Гвоздев А. В., Роговой В. Д. Моделювання потоків у ротаційному пиловідділювачі систем вентиляції кабін сільськогосподарських машин. Вісник Львівського державного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. 1999, № 3. С. 190–194.
4. Мохнатко І. М. Експериментальні дослідження протипотокового ротаційного пиловідділювача повітря. Праці ТДАТУ. Мелітополь, 2009. Вип. 9, Т. 3. С. 160–164.
5. Роговой В. Д., Мазилін С. Д. Моделювання процесу сепарації пилоподібних частинок у ротаційному пиловідділювачі. Праця ТГАТА: «Техніка в с.г виробництві», Вип. 1, Том 9, Мелітополь, 2010. С. 87–89.
6. Карманов В.В., Кузнецов С.І. Аналіз пиловловлюючого обладнання льнозаводів. Вісник ХНТУ. № 2(61). 2017. С. 147–154.
7. Малєєв В. О., Кузнецов С. І., Карманов В. В., Безпальченко В. М. Наукові основи раціонального використання природно-ресурсного потенціалу Херсонської області : монографія // За ред. В. О. Малєєва. Херсон. 2018. 336 с.
8. Патент на корисну модель № 62802 Україна, МПК В04С3/04(2006.01), В04С5/24(2006.01), В04С5/30(2006.01). Циклонно-ротаційний пиловловлювач / Кузнецов С.І. (Україна); Заяв. 22.04.11; Опубл. 12.09.11, Бюл. № 17, 2011.
9. Кузнецов С.І., Михайлик В.Д., Русанов С.А. Моделювання роботи високоефективного циклонно-ротаційного пиловловлювача. Вісник ХНТУ. 2009. № 3(36). С. 81–85.

УДК 504.05

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.2-47.4>

## КОНЦЕПЦІЯ МЕНЕДЖМЕНТУ ШАХТНИХ ВОД RAG AG НА ШАХТАХ РУРУ ТА СААРУ ЯК МОДЕЛЬ ДЛЯ ЗАКРИТТЯ ШАХТ В УКРАЇНІ

Лубенська Н.О.<sup>1</sup>, Боднар О.І.<sup>2</sup>, Дятел О.О.<sup>2</sup><sup>1</sup>Центр пост-майнінгу, Вища технічна школа Георга Агріколи  
Herner str., 45, 44787, Bochum, Germany<sup>2</sup>Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління  
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ  
lubenskaja@gmail.com, dei2005@ukr.net, alexandr\_dyatel@ukr.net

Усі війни рано чи пізно закінчуються, і незважаючи на дуже складні часи для України, уже сьогодні необхідно думати про майбутнє. Після закінчення війни ми повинні відбудувати Україну, і набутий досвід міжнародних партнерів повинен стати у нагоді для відновлення зруйнованої чи пошкодженої інфраструктури та територій України в цілому.

Німеччина проводила реструктуризацію та поступове скорочення вугільної промисловості, починаючи з 1960-х, завершальним етапом якої було закриття останньої кам'яновугільної шахти у 2018 році. Некероване затоплення може призвести до непередбачених наслідків, тому ключовим в процесі закриття шахт чи пост-майнінгу, з технічної точки зору, являється управління шахтними водами. В цій статті автори надають детальний огляд концепції управління шахтними водами на прикладах так званих «водних провінцій» вугільних басейнів Рур та Саар, з поступовим переходом з підземних водовідливів на центральні водовідливи «колодязного типу». Такий комплексний підхід дає можливість значно скоротити витрати на вирішення «вічних» проблем пост-майнінгу, пов'язаних з шахтними водами.

У статті приведено приклад очищення ґрунтових вод, оскільки земля Північний Рейн-Вестфалія під час Другої світової війни була осередком вугільної та сталеливарної промисловості і впродовж 1944–1945 років і піддавалась дуже сильному бомбардуванню, як і територія Донбасу починаючи з 2014 року і по цей час. Вчені досі не можуть встановити повний обсяг негативних екологічних наслідків внаслідок військових дій. Насамперед від бомбардування страждали поверхневі об'єкти шахт, хімічних та сталеливарних заводів. Інколи під час нальотів робітники були змушені виливати шкідливі речовини просто на землю, що звичайно призводило до забруднення ґрунтів та ґрунтових вод. Щоб нейтралізувати подібні наслідки, такі як потрапляння шкідливих речовин в ґрунтові води, проводять заходи з їх комплексного очищення.

Автори дають рекомендації щодо закриття шахт в Україні, приймаючи досвід Німеччини і той факт, що закриття шахт буде продовжено в післявоєнний період. *Ключові слова:* закриття шахт, затоплення, пост-майнінг, водні провінції, Вох-модель.

**Mine water management concept of RAG AG at Rur and Saar mines as a model for mine closure in Ukraine. Lubenska N., Bondar O., Diatel O.**

All wars end sooner or later, and despite very difficult times for Ukraine, it is necessary to think about the future already today. After the end of the war, we must rebuild Ukraine, and the acquired experience of international partners must be useful for the restoration of the destroyed or damaged infrastructure and territories of Ukraine as a whole.

Germany has been restructuring and descending its coal industry since the 1960s, culminating in the closure of the last coal mine in 2018. Uncontrolled flooding can lead to unforeseen consequences, therefore, the key in the process of mine closure or post-mining, from a technical point of view, is mine water management. In this article, the authors provide a detailed overview of the mine water management concept using the examples of the so-called “water provinces” of the Ruhr and Saar coal basins, with a gradual transition from underground drains to central “well-type” drains. Such a comprehensive approach makes it possible to significantly reduce the costs of solving “eternal” post-mining problems related to mine waters.

The article gives an example of groundwater purification, since the land of North Rhine-Westphalia during the Second World War was the center of the coal and steel industry and during 1944-1945 and was subject to very heavy bombing, as well as the territory of Donbas from 2014 to the present time. Scientists still cannot establish the full scope of negative environmental consequences as a result of military actions. First of all, the surface facilities of mines, chemical and steel plants suffered from the bombing. Sometimes, during raids, workers were forced to pour harmful substances directly onto the ground, which usually led to soil and groundwater contamination. In order to neutralize such consequences, such as the ingress of harmful substances into groundwater, measures are taken to comprehensively clean them.

The authors make recommendations for mine closures in Ukraine, accepting the experience of Germany and the fact that mine closures will continue in the post-war period. *Key words:* closure of mines, flooding, post-mining, water provinces, Voh-model.

**Постановка проблеми.** Війна в Україні призвела до прямого впливу бойових дій на усі екологічні складові довкілля, у тому числі на поверхневі і підземні води, оскільки значно збільшилися ризики виникнення аварійних ситуацій на вугільних підприємствах, що розташовані поблизу лінії зіткнення. Проте

основна небезпека пов'язана з можливістю забруднення навколишнього середовища внаслідок аварії та неконтрольованого затоплення суміжних шахт на територіях, що не контролюються Урядом України.

Понад 35 шахт регіону затоплюється або вже повністю затоплені та не підлягають подальшій експлу-

атації. Частину пошкоджених або зупинених шахт на Донбасі було демонтовано [1]. Така ситуація є основною причиною потенційного забруднення підземних та поверхневих вод при їх контакті з шахтними водами, котрі забруднені, зокрема, залізом, хлоридами, сульфатами, іншими мінеральними солями й важкими металами.

Неконтрольоване затоплення шахт несе в собі величезну небезпеку. Підйом рівня шахтних вод до критичних відміток спричинить незворотні зміни у масивах гірських порід, внаслідок чого відбуватиметься підтоплення територій, просідання денної поверхні, активізування обвалів, зсуви ґрунту тощо. Шахтні води окислюються, насичуються металами, оскільки все обладнання, яке колись існувало під час гірничих робіт, залишилось там, у шахтах. Тож при контакті з залізобетонними конструкціями відбувається процес насичення шахтних вод небезпечними сполуками. Найбільшу ж небезпеку несе просідання поверхні, яка викликає деформацію фундаментів та руйнування споруд.

**Актуальність досліджень.** Сучасні проблеми екологічного стану навколишнього природного середовища навколо вугільних шахт України стосуються порушення екосистем та природних територій, руйнування промислових та екологічно небезпечних об'єктів, забруднення джерел питної води, земельних ресурсів, атмосферного повітря, порушення геологічного середовища тощо. Серед негативних наслідків, які супроводжують процеси закриття шахт, найбільш значущими є погіршення гідрогеологічного стану територій їх розташування. Це підтверджується як національним досвідом ліквідації шахт у різних регіонах України та і досвідом в інших країнах. Варто відзначити, що розробка родовищ кам'яного вугілля призводить до змін у водообміні і гідрохімічному режимі підземних вод на території, котрі значно перевищують площі гірничих робіт.

До початку військових дій всі басейни знаходились на тому етапі розвитку, коли обсяги видобутку вугілля зменшувались, значна кількість шахт припиняла розробку запасів вугілля і ці шахти перебували у стадії ліквідації. Ці обставини призвели до суттєвої зміни природно-техногенних умов, які сформувались в результаті впливу на природні компоненти розробки вугільних родовищ [2].

Враховуючи, що значна частина шахт східного регіону затоплюється, то вже зараз необхідно переймати досвід успішної реструктуризації інших країн, а особливо Німеччини.

**Результати досліджень.** Після припинення субсидованого видобутку кам'яного вугілля та закриття шахт в Німеччині залишаються вічні завдання, які, у першу чергу, пов'язані з водою, включаючи відкачування шахтної води, наземні польдерні заходи, а також очищення шахтних вод та моніторинг шахтних вод. Ці питання були погоджені у 2007 році в договорі між фондом RAG і федеральними зем-

лями Саар і Північна Рейн-Вестфалія, де знаходяться найбільші вугільні родовища. При цьому RAG AG зобов'язалася розробити та технічно впровадити оптимізовану концепцію поводження з шахтними водами відповідно до розділу 4, параграфу 2 контракту. Завдання Вищого Гіртехнадзору (Oberbergamt) включають перевірку та затвердження цього процесу.

При закритті шахт стикаються з комплексом технічних, соціальних та екологічних проблем. Одним із головних питань технічного профілю є питання управління шахтними водами. Шахтна вода – це дощова вода, яка просочується крізь землю та розчиняє мінерали чи інші речовини, присутні в породі. Неконтрольоване затоплення та підняття рівня шахтних вод включають наступні ризики: прориви шахтної води в сусідні шахти, виливи шахтних вод та виток метану на денній поверхні або в підвалах будинків; підняття поверхні землі і ризики пошкодження будівель чи інфраструктури внаслідок осідання/підйому ґрунту; небезпека обвалів або підземних поштовхів, ризики для стабільності породних відвалів, хвостосховищ та їх дамб, заболочування місцевості і забруднення джерел питної води.

Довгострокова концепція управління шахтними водами була розроблена для всіх трьох кам'яних вугільних регіонів RAG AG (Рурська область, Саарланд, Іббенбюрен). Були враховані регіональні відмінності з точки зору географії, рельєфу та мережі підземних виробок.

У Рурській області, наприклад, затоплення контролюється таким чином, що існує достатньо велика відстань між шахтними водами та водоносними горизонтами, які використовуються в розкривних породах. Щоб у разі потреби можна було впливати на шахтні води, передбачені резервні свердловини для аварійного відкачування. А при запланованому підтопленні завжди забезпечується відповідна відстань до джерел питної води (150 м). Підйом шахтної води зупиняється на певному рівні за допомогою насосів і викачується на поверхню у вибраних місцях.

Необхідно розуміти, якої кількості та якості шахтні води будуть поступати в короткостроковій та довгостроковій перспективі. Питання про можливі заходи з очищення води, а також загальний вплив шахтної води на навколишнє середовище відіграють важливу роль.

При цьому для всіх колишніх гірничих площадок були розроблені індивідуальні проекти подальшого використання. Діапазон цього подальшого використання різноманітний, починаючи від об'єкта всевітньої спадщини Zollverein до житлових районів і промислових об'єктів.

Одним із найважливіших елементів поточної концепції управління шахтними водами RAG є те, що шахти мають затоплюватися контрольованим способом. Висота встановлення насоса має бути якомога нижчою, тобто має бути якомога коротшою відстань, на яку має перекачуватися вода, тому системи

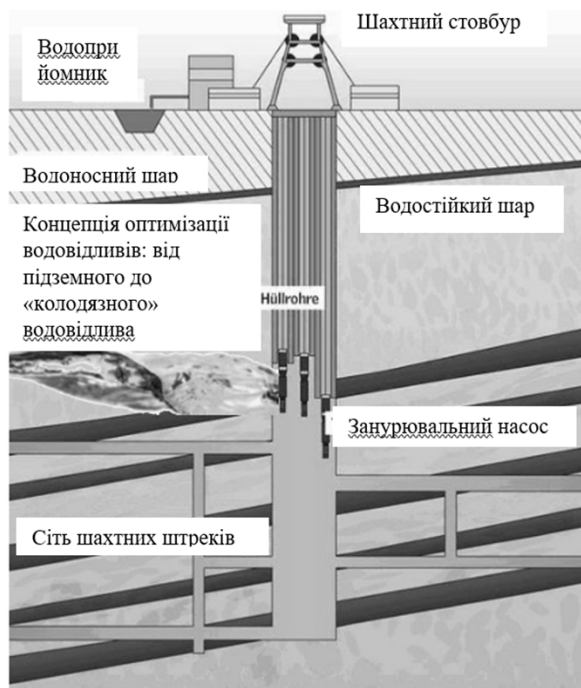


Рис. 1. Принцип роботи занурювального насосу на шахтах RAG, фото RAG

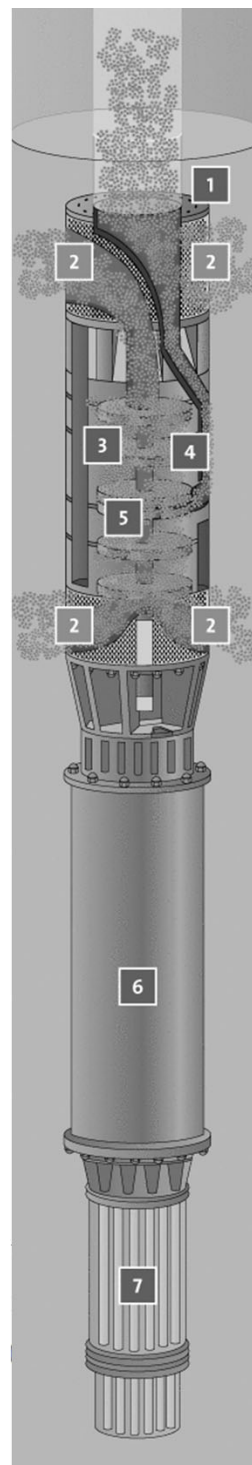


Рис. 2. Компоненти занурювального агрегата [3]

Пояснення до рисунку 2:

1. Зворотний клапан утримує колонку води над насосом після його вимкнення.
2. Шахтна вода надходить у насос через зони всмоктування у верхній і нижній частині насосного агрегату.
3. Два насоси, розташовані один над одним у протилежних напрямках, подають відповідно, половину потоку в центр насоса.
4. Кілька гідравлічних ступенів створюють необхідний тиск близько 80 бар.
5. Ступінь водовідводу об'єднує потоки шахтної води і направляє воду в стояк через зовнішні канали.
6. Відпрацьоване тепло від двигуна, який приводить в дію насос, поглинається внутрішнім контуром охолодження та виводиться назовні.
7. Крім того, теплообмінник забезпечує подальше охолодження двигуна.

водовідливів повинні бути перетворені на «системи колодязного типу» з сучасними глибинними насосами. Функціонування водовідливів «колодязного типу» подібне до садових колодязів, обладнаних насосами: у шахтних стовбурах, які RAG раніше заливала бетоном, опускають занурювальні насоси з поверхні через спеціальні труби-кожухи до рівня шахтної води. Занурювальний насос складається з насосно-моторного агрегату. Разом обидва агрегати мають довжину близько дванадцяти метрів і важать

до 20 тон. Два насоси, розташовані один над одним і в протилежних напрямках, створюють тиск.

Відкачування води буде відбуватися з поверхні. Це усуває потребу в підземних машинних відділеннях і вентиляції, що призводить до економії витрат і енергії та скорочення викидів CO<sub>2</sub>.

Оскільки шахти гідравлічно з'єднані під землею і їх можна розглядати як одну одиницю, вони об'єднані у водні провінції. За допомогою спеціальної Vox-моделі програмного забезпечення

DMT GmbH&Co. KG розраховується, у якому місці найбільш вигідно зробити центральний водовідлив «колодезного типу», який буде відкачувати воду відразу з декількох шахт.

Вох-модель – це тривимірна програма для моделювання напрямку та швидкості потоку шахтних і підземних вод, включаючи температуру, розчинені речовини та хімічні реакції. Програмне забезпечення дає змогу дискретизувати різноманітні простори потоків, визначати гнучку кількість каверн і гідрозв'язків, а також відображати турбулентні потоки. Модель вже використовувалася в проєктах у Німеччині, Іспанії, Франції, Англії, Польщі, Болгарії, ПАР та Україні.

**Концепція управління ресурсами Рурського басейну водними.** Шахтна вода в Північній Рейн-

Вестфалії скидається в Рурському регіоні у річки Рейн, Ліппе, Рур і Емшер, в районі Іббенбюрен у річку Емс (рис. 3). Об'єм шахтних вод що скидаються у поверхневі водні об'єкти становить близько 70 мільйонів метрів кубічних шахтної води на рік.

Рурська область за територіальними признаками поділяється на 4 водні зони: західну, середню, південну та східну. У 2006 році в Рурській області було двадцять підземних водовідливів. Після реалізації концепції переходу на водовідливи «колодезного типу» залишаться 6 центральних водовідливів (рис. 4): Walsum, Lohberg, Heinrich, Friedlicher Nachbar, Robert Müser, Haus Aden [4] технічні параметри яких наведені у таблиці 1.

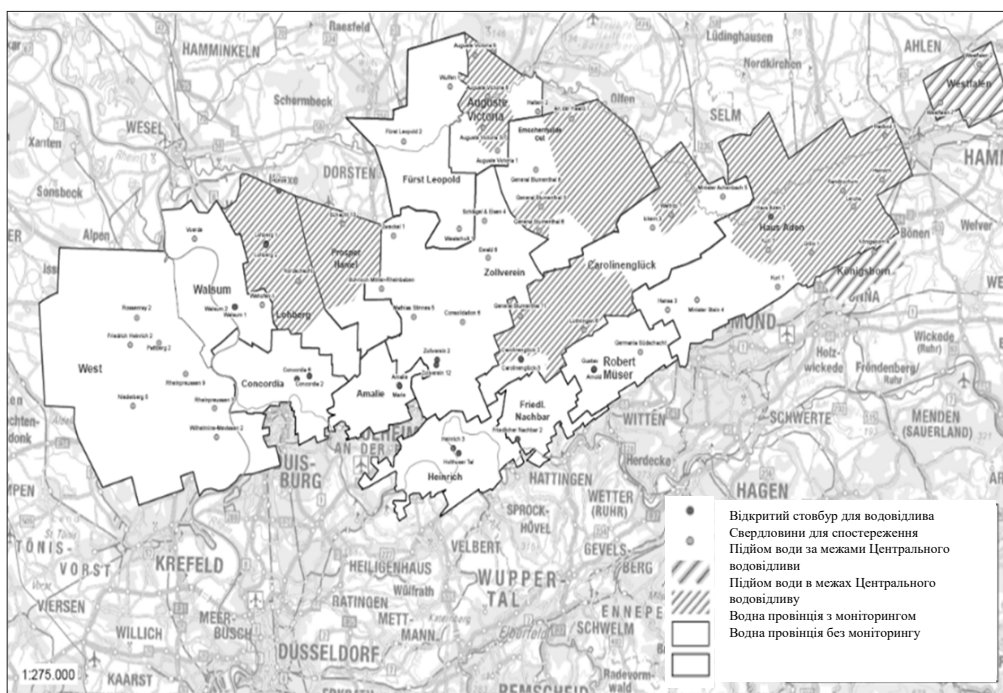


Рис. 3. Зони підйому води та зони моніторингу в Рурському басейні (станом на 07.07.2022) [3]

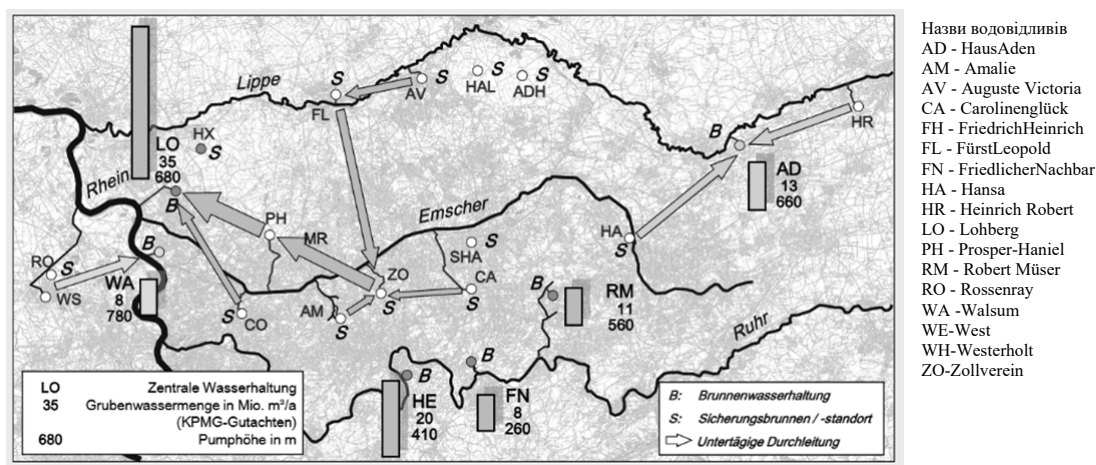


Рис. 4. Підземні гідрозв'язки, зменшення кількості площадок за рахунок центральних водовідливів та перерозподілення шахтної води [3]

Таблиця 1

## Технічні параметри різних центральних водовідливів

Центральний водовідлив (водна провінція)	Планова висота насоса, м	Плановий об'єм шахтної води, млн м <sup>3</sup> /рік	Водна зона	Скид води в річку
Walsum	780	8	захід	Рейн
Lohberg	680	35	центр	Рейн
Heinrich	410	20	південь	Рур
FriedlicherNachbar	260	8	південь	Рур
RobertMüser	560	11	південь	Рур
HausAden	660	13	схід	Ліппе

*Водна зона Захід.* Об'єкт Walsum був введений в експлуатацію в 2016 році як перший центральний водовідлив в Рурському басейні. Насосні станції Voerde, FriedrichHeinrich ½ та Rosenray ½, Friedrich Heinrich 4, насосні станції шахти West були закриті. Таким чином, центральний водовідлив Walsum став центральною системою відкачування води в західній водній зоні. Шахтні води по трубопроводу відводяться прямо в річку Рейн.

*Водна зона Центр.* У 2014 році було 5 центральних водовідливів, які забезпечували активну відкачку шахтних вод: Amalie, Concordia, Carolinenglück, Fürst Leopold і Zollverein. Після закриття шахт відпала потреба в такій кількості водовідливів. Концепція управління шахтними водами RAG передбачає подальше скорочення водовідливів, шахтна вода має поступати до водовідливу Лоберг і спрямовуватися безпосередньо у річку Рейн.

*Водна зона Південь.* Через геологічні умови тут постійно працюють 3 центральних водовідливи: Heinrich, Friedlicher Nachbarn, Robert Müse. Шахтні води через низьку мінералізацію скидаються безпосередньо у річку Рур.

*Водна зона Схід.* Два водовідливи вже виведено з експлуатації, а ділянку Haus Aden було розширено до центрального водовідливу водної провінції. У 2023 році він має запрацювати як центральний водовідлив «колодязного типу». Шахтні води скидаються в річку Ліппе.

*Концепція управління водними ресурсами басейну Саар.* Після припинення видобутку вугілля в Саарланді у 2012 році шахтна вода перекачувалась у 5 місцях (Пютлінген, Кампхаузен, Енсдорф, Реден і Луїзенталь – їх технічні характеристики наведено у табл. 2) і складала понад 17 мільйонів метрів кубічних.

Відповідно до концепції RAG до 2035 року [5] підйом води можна умовно розділити на 2 етапи: з 2012 року приблизно до 2017 року та з 2018 року до 2035 року.

На першому етапі планувалося об'єднати 5 водовідливів. Насоси водної провінції Reden були відключені, шахтна вода піднімається з –600 м над рівнем моря до –320 м над рівнем моря і тече до центрального водовідливу Duhamel (рис. 5).

На другому етапі планується припинення роботи водовідливів Luisenthal, Viktoria та Camphausen. Таким чином буде створено рівномірний рівень шахтної води для всього району Саар. При рівні води близько +190 м над рівнем моря вода потім стікає безпосередньо у річку Саар.

Після затоплення до поверхні залишається приблизно 500 м, щоб забезпечити безпечну відстань до джерел питної води. Крім того, близько 87 км річок звільняються від шахтної води: Бліз, Зінербах і Клінкенбах через встановлення центрального водовідливу Reden, Фішбах – водовідливу Camphausen, Келлербах і Шлебах – водовідливу Viktoria [6].

*Очищення ґрунтових вод в землі Північний Рейн-Вестфалія.* Як відомо, земля Північний Рейн-Вестфалія під час Другої світової війни була осередком вугільної та сталеливарної промисловості і впродовж 1944–1945 років і піддавалась дуже сильному авіабомбардуванню з боку союзників [7]. Вчені досі не можуть встановити повний обсяг негативних екологічних наслідків. Насамперед від бомбардування страждали поверхневі об'єкти шахт, хімічних та сталеливарних заводів. Інколи під час нальотів робітники були змушені виливати шкідливі речовини просто на землю, що звичайно призводило до забруднення ґрунтів та ґрунтових вод.

Таблиця 2

## Технічні параметри центральних водовідливів в землі Саар

Центральний водовідлив	Обсяг шахтних вод, млн м <sup>3</sup> /рік	Висота підйому води, м
BW Duhamel	0,2	650
BW Viktoria	1,9	400
BW Reden	13,9	900
BW Luisenthal	0,3	350
BW Camphausen	1,7	750

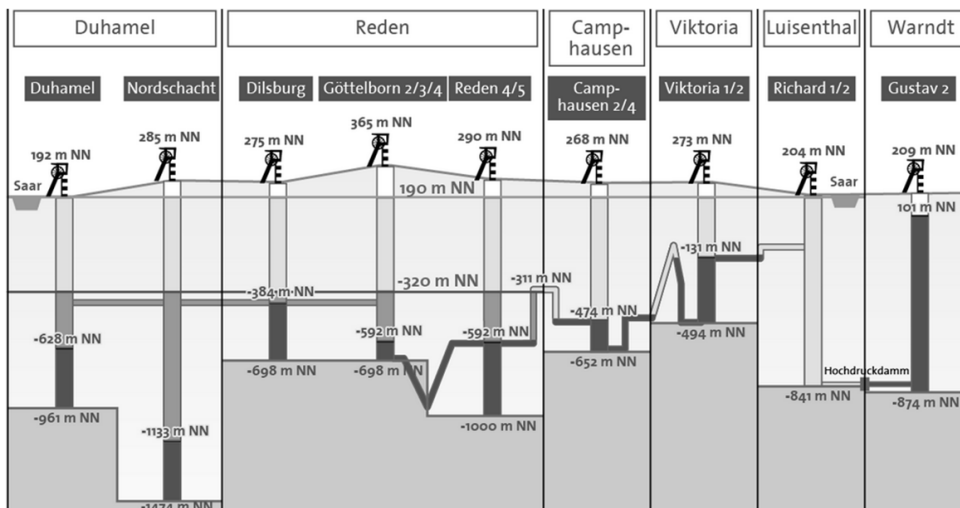


Рис. 5. Поступове затоплення водних провінцій Reden та Duhamel до рівня 190 м. Друга фаза затоплення шахт в басейні Саар

Щоб нейтралізувати подібні наслідки, такі як потрапляння шкідливих речовин в ґрунтові води, проводять заходи з їх комплексного очищення. Практична модель очищення ґрунтових вод поряд із териконом наведена на рисунку 6.

Така система очищення води застосовується там, де більша частина забруднення знаходиться під землею. Ґрунтові води перехоплюються дренажними або занурювальними насосами. Насоси передають воду в систему очищення, де активоване вугілля відфільтровує забруднюючі речовини. Очищені ґрунтові води повертають назад. Моніторингові прилади контролюють якість підземних вод на значній території в прилеглих районах. Використане активоване вугілля термічно регенерується, а потім використовується повторно. Якість очищеної води

контролюється раз на два тижні незалежним інститутом (рис. 7).

Принцип роботи станції з очищування ґрунтових вод на майданчику Хуго 2/5/8 в Гельзенкірхені: 1-й крок очищення. Ґрунтова вода, яка підлягає очищенню, надходить до адсорбера з активованим вугіллям через впускний патрубок і збірний резервуар. 2-й крок. Перший адсорбер з активованим вугіллям. Вода нагнітається знизу через перший адсорбер з активованим вугіллям. Вугілля фільтрує забруднюючі речовини. 3-й крок. Трубна розводка. Ґрунтові води надходять до другого адсорбера через розводку труб. Вона регулює напрямок потоку води в системі очищення. 4-й крок. Другий адсорбер з активованим вугіллям. Другий адсорбер забезпечує повне очищення ґрунтових вод. 5-й крок. Третій адсорбер

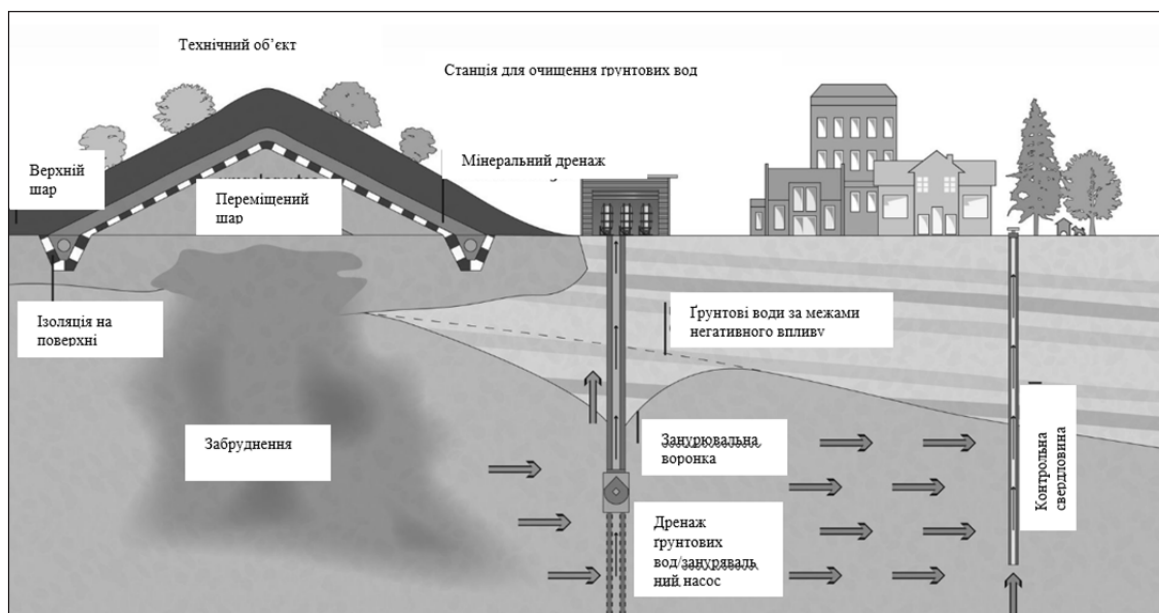


Рис. 6. Очищення ґрунтових вод [3]





Рис. 7. Система очищення ґрунтових вод на майданчику Хуго 2/5/8 в Гельзенкірхені. Енергозабезпечення за рахунок фотовольтаніки на даху [3]

з активованим вугіллям. Третій адсорбер доступний як резерв або «режим наготові» для заміни. 6-й крок. Вантажний гак. Вантажні гаки використовуються для зручності транспортування та заміни використаних адсорберів з активованим вугіллям. 7-й крок. Закінчення циклу. Відведення очищених ґрунтових вод у каналізацію.

**Висновки. Рекомендації щодо закриття шахт в Україні.** В Україні питанням трансформації/оптимізації вугільних шахт займаються приблизно з середини 1990-х років, нажаль екологічні ризики,

включаючи комплексні проблеми шахтних та ґрунтових вод.

Тому, рекомендується, вивчити та розробити власну концепцію управління шахтними водами, базуючись на прикладі «водних провінцій» RAG AG в Німеччині. Звісно, що Україні передусе довгий та складний шлях відновлення. Але для розробки подібної концепції не треба очікувати завершення війни. Всі необхідні дані, як схема розкрою шахтного поля і таке інше, є в наявності в відповідних міністерствах та установах.

#### Література

1. Оцінка екологічної шкоди та пріоритети відновлення довкілля на сході України. К.: ВАІТЕ, 2017. 88 с.
2. Ермаков В.Н., Лунева О.В., Лубенская Н.А. К вопросу реструктуризации угольной промышленности в Украине в контексте европейского опыта. *Екологічні науки*. 2021. Вип. 1(36). С. 16–21.
3. Офіційний сайт Акціонерного товариства RAG AG URL: <https://www.rag.de/>
4. Konzept zur langfristigen Optimierung der Grubenwasserhaltung der RAG Aktiengesellschaft für Nordrhein-Westfalen, Herne, August 2014. 29 p.
5. Konzept zur langfristigen Optimierung der Grubenwasserhaltung der RAG Aktiengesellschaft für das Saarland, Herne, März 2014. 21 p. URL: <https://docplayer.org/40354010-Konzept-zur-langfristigen-optimierung-der-grubenwasserhaltung-der-rag-aktiengesellschaft-fuer-das-saarland.html> (дата звернення 15.02.2023).
6. Maßnahmenkonzept Wasserprovinzen Duhamel/Reden, Essen, 29.06.2018.
7. Alan J. Levine: The strategic bombing of Germany, 1940–1945. Greenwood Publishing Group, Westport 1992, ISBN 0-275-94319-4. S. 338.

УДК 621.577

УДК 697+697.3+621.577.012-837

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.2-47.5>

## ВИКОРИСТАННЯ ШАХТНИХ ВОД В ЯКОСТІ ДЖЕРЕЛА ГЕОТЕРМАЛЬНОЇ ЕНЕРГІЇ В УМОВАХ ВИРОБНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВ

Салій І.В.<sup>1</sup>, Яковенко Л.О.<sup>1</sup>, Гончаренко М.І.<sup>1</sup>, Фролов П.В.<sup>2</sup><sup>1</sup>Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління  
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, м. Київ<sup>2</sup>Верховна Рада України

dei2005@ukr.net, oprpbdea@gmail.com

Означені окремі проблемні питання екології та децентралізації джерел отримання й використання альтернативної енергії. Нині країни Європи спрямовують свою діяльність і на європейський зелений курс. Його мета – досягти кліматичної нейтральності на європейському континенті до 2050 року та забезпечити суспільно-економічний розвиток, не завдаючи шкоди довкіллю.

Енергетична криза та питання децентралізації джерел отримання енергії в останнім часом змушують шукати альтернативні комплекси отримання енергії. Динамічний розвиток екологічних джерел енергії вже зумовив їх використання в промислових процесах. Тому керівники підприємств намагаються вживати якомога ефективніших заходів для модернізації цієї сфери. Зростаючий інтерес до екологічних джерел енергії, безперечно, працює на користь захисту та поліпшення навколишнього природного середовища. Глобальна енергетична криза викликала зацікавленість до впровадження теплових насосів, що дозволить забезпечити енергетичну безпеку України, зменшити навантаження на довкілля та поліпшити клімат.

Тепловий насос є одним із екологічних джерел енергії, що може стати альтернативою, наприклад, газовому котлу, тому що він на 100% може бути екологічним. Проте його система буде повністю екологічна лише тоді, якщо для роботи використовуватиметься електроенергія, що надходитиме з відновлюваних джерел енергії.

Теплові насоси, які працюють від електроенергії з низьким рівнем викидів, є основною технологією глобального переходу до безпечного та сталого опалення, а також невід'ємною частиною будь-якого плану, спрямованого на скорочення викидів та використання природного газу. І на сьогодні – це невідкладний пріоритет у Європейському Союзі. Теплові насоси мають широкий спектр застосування. Вони використовуватимуться щодня не лише в системах централізованого теплопостачання, але й відіграватимуть важливу роль у відповідних галузях промисловості.

Ефективність опалення підвищуватиметься, особливо якщо використовувати відповідний насос з потрібною потужністю для тієї чи іншої території та правильного типу центрального опалення.

За результатами досліджень джерел наукової літератури визначено, що питання використання геотермальної енергії в умовах виробничих підприємств у поєднанні: енергетичного аудиту будівлі, теплового насоса та сонячної станції не висвітлено в науковій літературі, незважаючи на надзвичайну важливість та актуальність такої проблеми. *Ключові слова:* комплексна система використання геотермальної енергії, енергоаудит будівлі, тепловий насос, сонячні станції.

**The use of mine waters as a source of geothermal energy in the conditions of industrial enterprises. Saliy I., Yakovenko L., Honcharenko M., Frolov P.**

All European countries have directed their activities to the European Green Course. Its goal is to achieve climate neutrality on the European continent by 2050 and ensure economic development without harming the environment.

Environmental problems and the energy crisis and the issue of decentralization of energy sources recently force us to look for alternative energy production complexes. The dynamic development of ecological energy sources is already being implemented in industrial processes, and company managers are taking measures to modernize this area. The growing interest in green energy sources is definitely working in favor of protecting and improving the environment. The global energy crisis has sparked interest in the introduction of heat pumps, which will ensure Ukraine energy security and improve the climate.

The heat pump is one of the ecological sources of energy, which is an alternative to, for example, a gas boiler, because the heat pump can be 100% ecological. The whole system will be completely ecological only when it uses electricity from renewable energy sources to run the heat pump.

Low-emission electricity-powered heat pumps are a central technology in the global transition to safe and sustainable heating. Heat pumps are an integral part of any plan to reduce emissions and use natural gas, and are an urgent priority in the European Union today. Heat pumps have a wide range of applications that will not only work every day in district heating systems, but will also play an important role in industry.

Heating efficiency will increase, especially if you choose the right pump with the necessary power for the specific area and the correct type of central heating.

According to the results of researched sources of scientific literature, it was established that the issue of using geothermal energy in the conditions of industrial enterprises in combination: the energy audit of the building, heat pump and solar station is not covered in the scientific literature, despite the extremely high relevance of this problem. *Key words:* complex system of geothermal energy use, building energy audit, heat pump, solar stations.

**Постановка проблеми та актуальність досліджень.** Зелена енергія та пошук альтернатив пристроям із високим вмістом вуглецю є обов'язковими. Багатьом власникам та керівникам промислових підприємств незабаром доведеться впроваджувати екологічні, енергоефективні рішення отримання теплової енергії. Всі країни Європи спрямовують свою діяльність на Європейський зелений курс. Його мета – досягти кліматичної нейтральності на європейському континенті до 2050 року та забезпечити економічний розвиток без шкоди довкіллю. Щоб досягти нульового чистого викиду потрібно виконати значне скорочення використання вугілля, нафти та газу, вжити необхідних заходів щодо припинення продажів нових легкових автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння до 2035 року та поступове припинення роботи всіх вугільних і нафтових електростанцій до 2040 року [1].

На шахтах є оптимальні можливості для використання енергії з глибин землі і ця галузь енергетики потребує значних обсягів фінансування на державному рівні та відповідної законодавчої бази [2]. Крім законодавства у сфері виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії, діяльність у сфері геотермальної енергетики також урегульовано Водним кодексом України та Кодексом України «Про надра», а також Податковим кодексом України в частині сплати рентних платежів.

**Мета** науково дослідної роботи – обґрунтування ефективних та екологічно прийнятих рішень використання шахтних вод і безпечних технологічних способів освоєння теплового ресурсу закритих шахт за допомогою зміни їхнього енергетичного профілю завдяки використанню ґрунтових теплових насосів.

**Методи дослідження** – збір, систематизація й аналіз фактичних даних щодо властивостей відпрацьованих породних масивів, інженерний та геологічний аналіз.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблематика статті є міждисциплінарною та торкається декількох сфер наукової та практичної діяльності – теплотехніки, енергетики та екології.

Як засвідчує аналіз останніх досліджень, усі технології, необхідні для досягнення відповідного глибокого скорочення глобальних викидів до 2030 року, вже існують, тому політика щодо сприяння їх розгортанню цілком реалістична й підкріплена практикою.

Так, теплові насоси, які працюють від електроенергії з низьким рівнем викидів, стали центральною технологією глобального переходу до безпечного та сталого опалення. У 2021 році близько 10% світових потреб в опаленні приміщень задовольнялися тепловими насосами і темпи встановлення їх стрімко зростають. За оцінками Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), теплові насоси в усьому світі можуть зменшити глобальні викиди вуглекис-

лого газу (CO<sub>2</sub>) щонайменше на 500 мільйонів тон у 2030 році, що на сьогодні дорівнює річним викидам CO<sub>2</sub> усіх автомобілів у Європі.

В опублікованому новому спеціальному звіті Міжнародного енергетичного агентства йдеться мова про те, що в світі у найближчі роки зросте використання теплових насосів оскільки глобальна енергетична криза прискорить їх впровадження. Опалення більшості будівель у всьому світі, таких як будинки, офіси, школи та заводи, все ще залежить від викопного палива, зокрема природного газу. В спеціальній доповіді МЕА «Майбутнє теплових насосів» зроблено комплексний глобальний прогноз по цій темі [3].

Дослідження фахівців та науковців з теплотехніки та енергетики були присвячені використанню теплових насосів на підприємствах в цілому – В.А. Коренда, І.Ю. Вишняков, О.С. Протасов, Н.В. Бірківська [4], О.В. Інкін, Д.В. Рудаков [5], В.Р. Сердюк О.В. Дєдова [6], С.О. Кудря [7]. Вагомий внесок наукових у дослідження використання теплових насосів в промисловості зробили М.К. Безродний, Н.О. Притула [8], Ю.Ф. Снежкін [9] та ін.

**Новизна** полягає у використанні шахтної води як безкоштовного джерела тепла для теплових насосів, через розташування значної кількості стовбурів, що перекачують воду з вугільних та залізородних шахт, ґрунтуючись на енерго аудиті будівель та використанні електроенергії, отриманої від сонячної станції. Тому поєднання енергетичного аудиту будівлі, теплового насоса та сонячної станції з розробленням проекту і виступатиме в якості новизни.

Розроблення умов раціонального застосування теплових насосів для опалення та правильного вибору параметрів низькотемпературного джерела теплоти і необхідних параметрів теплоносія в системі опалення у споживача.

**Виклад основного матеріалу.** Вагоме значення має тепловий ресурс шахтних вод Донбасу та інших гірничодобувних регіонів. Так, щорічний скид відкачуваних шахтних вод з температурою 16–20 °С навіть після припинення видобутку на багатьох шахтах в Україні сягає сотень мільйонів м<sup>3</sup>. На 2018 р. у світі існує 28 геотермальних систем на закритих шахтах модулями теплової потужності 0,35–4,6 МВт, більшість з яких встановлена у Рурському вугільному басейні Німеччини.

Для реалізації проекту необхідна підтримка урядової політики, щоб допомогти споживачам подолати вищі початкові витрати на теплові насоси порівняно з альтернативами. Витрати на придбання та встановлення теплового насоса можуть бути в два-чотири рази дорожчі, ніж на газовий котел. Фінансові стимули для теплових насосів уже доступні в понад 30 країнах, які разом покривають понад 70% попиту на опалення сьогодні. Багато з них також надають додаткову підтримку домогосподарствам з низькими доходами, де енергозбереження від теплового

насоса може бути значним, коливаючись від 2% до 6% доходу домогосподарства [3].

По-друге, для практичної реалізації технологічної схеми з використанням геотермальної енергії шахтних вод необхідно здійснити наукові дослідження та пошук екологічно прийнятних рішень в умовах діючих виробничих підприємств, зробити техніко-економічне обґрунтування ефективності її роботи, завдання якого полягають у наступному:

- оцінити мінімальний та максимальний тепловий потік, що виникає при відборі підземних вод з різних горизонтів шахти;

- визначити показники роботи теплових насосів залежно від температури шахтних вод;

- виконати порівняльний аналіз використання шахтних вод в теплових насосах з іншими видами низько потенційних джерел теплової енергії;

- визначити витрати електроенергії на роботу теплового насоса, а також вартість виробленого ними тепла, оцінити економічний ефект від роботи запропонованої геотермальної системи;

- виконати роботи по впровадженню гібридної сонячної станції для незалежного електроспоживання;

- кількісно оцінити зменшення викидів CO<sub>2</sub> за рахунок застосування теплових насосів і параметрів регулювання скиду шахтних вод, що забезпечують їх мінімальний вплив на поверхневі водотоки.

Забезпечення екологічно стійкого й довгострокового використання геотермального ресурсу з підтримкою гідродинамічно безпечного рівня шахтних вод, дозволить уникнути змішування шахтних вод з прісними водами, розташованими над водоносними горизонтами, які використовуються для водопостачання. Дозволить підвищити ефективність модуля за рахунок підтягування охолоджених вод, що скидаються назад у шахту після теплового використання. Такі питання потребують детального гідрогеологічного дослідження, дослідження геотермічних умов, визначення прогнозу зміни температур і полів фільтрації, узгодження створених теплових потужностей з потребами існуючих і перспективних споживачів теплової енергії з урахуванням сезонних коливань температура і енергоспоживання.

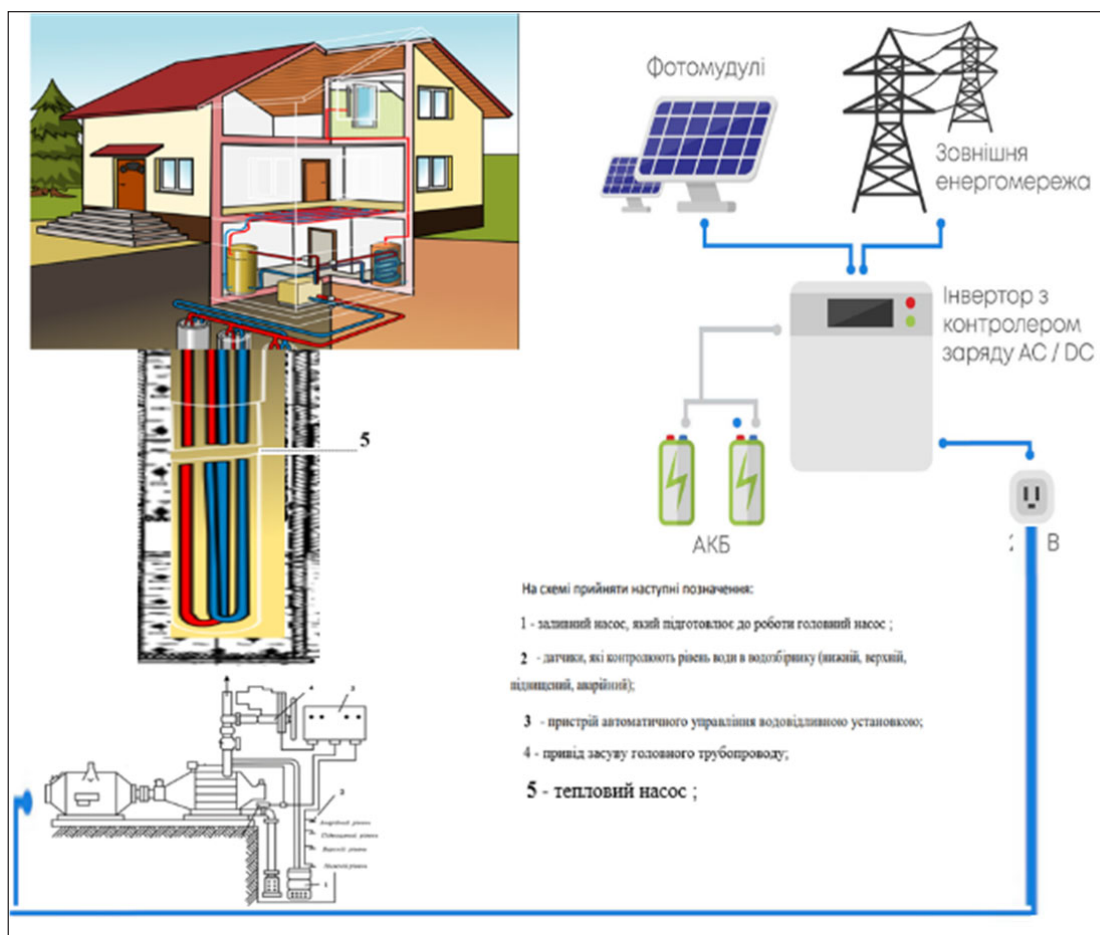
Існуючі схеми не є повними, вони не враховують наслідки використання мінералізованої води як теплоносія з високим вмістом солі. Відсутність відповідних рішень з цих питань призводить до того, що існуючий геотермальний потенціал закритих шахт в Україні майже не використовується.

Видобуток залізної руди та вугілля супроводжується великими обсягами відкачки підземних вод. Відповідно до програм Кабінету Міністрів України по реструктуризації гірничодобувної галузі кількість запланованих до ліквідації шахт в Україні постійно зростає. За останніми оцінками, на території країни вже існує та з'являється в найближчому майбутньому близько сотні шахт, що можуть завдати значної

шкоди навколишньому середовищу, призводять до великих втрат робочих місць, і при цьому потребуватимуть значних витрат на підтримання їх гідродинамічної безпеки. А наразі відпрацьовані стволи шахт цих підприємств є джерелом величезних ресурсів теплової енергії, яка зосереджена в шахтних водах та породному масиві та яка, незважаючи на позитивний світовий науково-практичний досвід розробки (Німеччина, Нідерланди, Іспанія, Словенія, Болгарія і Великобританія) [10], в даний час практично не використовуються. Необхідно також відзначити що, на етапі згорання гірничих робіт та у пост-експлуатаційний період, питання водо регулювання стає критичним як для рентабельності закриття підприємства, так і для підтримання його екологічної та технічної безпеки. Ці питання є найскладнішими за прогнозованістю і керованістю процесів інтенсивного техногенного перетворення гірничого масиву. У природному стані існує чітка вертикальна зональність підземної гідросфери за інтенсивністю водообміну. Вона порушується при веденні гірничих робіт внаслідок деформацій гірничого масиву, тому зона інтенсивного водообміну занурюється [11]. Це призводить до активізації зв'язку між гірничими виробками та водами покривних відкладень, поверхневими водотоками, збільшення водопритоку та виснаження ресурсів прісних вод.

Основні принципи технологічної схеми використання геотермальної енергії на основі підземної системи для отримання тепла з шахтної води полягають у наступному. Для попередження підтоплення відпрацьованих гірничих виробок шахти потрібен систематичний відбір шахтних вод за допомогою свердловин чи потужності існуючого водовідливу. Максимальна ефективність роботи свердловин досягається за суміщенні їх стовбурів з магістральними виробками. Підйом води здійснюється за допомогою електричних центробіжних насосів (мал. 1).

Після надходження шахтних вод на денну поверхню вони мають температуру, яка близька до температури гірничих порід на глибині їх відбору. Шахтні води подаються в проміжний теплообмінник, всередині якого циркулює теплоносієм. Віддавши тепло теплоносію і охолонувши, шахтні води або очищаються та направляються до гідрографічної мережі (безповоротна система), або повертаються до підземних виробок верхніх горизонтів (циркуляційна система). Теплоносієм з проміжного теплообмінника надходить до міжтрубного простору випарника теплового насоса, де охолоджується як низько потенційне джерело енергії, і знову направляється в теплообмінник. Вироблена насосом тепла енергія подається споживачу через опалювальний контур і гаряче водопостачання. Для покриття піків споживання теплової енергії будівлями в холодну пору року, коли теплової потужності геотермального модулю може виявитися недостатньо, використовується додаткова котельня, яка працює на тради-



Мал. 1. Принципова схема роботи теплового насоса з горизонтальним теплообмінником

ційних енергоносіях (вугілля, газ). Запропонована технологічна схема використання шахтних вод як основа отримання геотермальної енергії має ряд переваг, у тому числі екологічних (контроль рівня підземних вод шляхом регулювання витрати відбору води, зниження впливу на навколишнє середовище через економію викопного палива) і енергетичних (опалення будівель). Тепловий насос може бути альтернативою, наприклад, газовому котлу. Він буде на 100% екологічний за однієї основної умови, коли електроенергія, яка використовується для роботи теплового насоса, надходить з відновлюваних джерел енергії – сонячних електростанцій.

Теплові насоси в промисловості знаходять усе ширше застосування. Їх ефективність зростає, а універсальність використання обумовлена економічністю, особливо на великих підприємствах, де є величезні корисні площі для обігріву, які були б просто надзвичайно дорогими за традиційного обігріву. Теплові насоси пропонують великі можливості, особливо те, що їх використання стає все більш поширеним, а конструкція все більш стабільною. Ефективність опалення підвищується, якщо вибрати правильний насос з потрібною потужністю для потрібної території та правильного типу центрального опалення. Як наслідок, отримаємо

тепловий насос, який буде найдешевшим джерелом енергії.

Що важливо, до впровадження системи опалення тепловим насосом необхідно зробити перший крок до зменшення енергоспоживання будівлі, цим кроком стати енерго аудит промислових будівель, це дозволить здійснити обстеження з метою розроблення заходів, які дозволять його подальшу безпечну експлуатацію з урахуванням заходів енергозбереження. Енергетичний аудит повинен охоплювати всі елементи, установки та пристрої, пов'язані зі споживанням енергії в будівлях, а саме: установки опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, установки гарячого водопостачання, освітлення, стіни, дахи, плоскі дахи, відновлювані джерела енергії (фотоелектричні панелі, сонячні колектори, установки для спалювання біомаси, теплові насоси), інші, нетрадиційні джерела енергії та охолодження. Аудит має охоплювати не менше 90 відсотків загального споживання енергії пов'язаного з діяльністю підприємства, що використовується як в пристроях, так і в установках, транспортних засобах і будівлях. Метою енергоаудиту є підвищення енергоефективності певної компанії або вивчення можливостей її покращення, що стає все більш важливим у контексті вимог законодавства та поточної декарбонізації

економіки. Енергоаудит повинен завершуватися аудиторським звітом, який повинен містити узагальнену оцінку та пропозиції щодо дій щодо покращення енергоменеджменту в компанії.

**Перспективи використання.** Теплові насоси мають широкий спектр застосувань, які будуть працювати не тільки щодня в системах централізованого теплопостачання, але й відіграватимуть важливу роль у промисловості. Визначальним фактором розміру теплового насоса є його тепла потужність, яка повинна перевищувати 100 кВт. Використання теплових насосів у промисловості стає все більш популярним, тому що завдяки їхнім технічним можливостям можна використовувати такі насоси, як ґрунтові так і повітряні.

Реалізація науково-дослідної роботи дозволить істотно зменшити негативний вплив процесу скидання шахтних вод на якість води у водний об'єкт, а також забезпечити відсутність негативного впливу на клімат, здоров'я людей, забезпечення екологічної безпеки при експлуатації ставків-накопичувача шахтних вод за рахунок впровадження сучасних технологій протифільтраційного захисту.

**Висновки.** Розглянуті матеріали, а також оцінка сфер раціонального застосування ґрунтових тепло-насосних систем на гірничо-видобувних підприємствах України та напрямів підвищення їх енергоефективності задля забезпечення теплопостачання протягом усього опалювального періоду, дозволяють зробити такі висновки:

1. Для виробничих підприємств в умовах сучасного економічного становища ґрунтові тепло-на-

сосні технології є більш привабливими, незважаючи на існуючі проблеми їх застосування за низьких розрахункових температур, притаманних нашій країні.

2. Наведений досвід використання теплових насосів на вугільних шахтах в Польщі дозволив переконатись в тому, що реалізація таких проектів буде цілком обґрунтована з точки зору екологічного та економічного значення.

3. Комбінування ґрунтових теплових насосів з використанням сонячних панелей веде не тільки до підвищення ефективності роботи перших, але може давати економію капіталовкладень за використання останніх (наприклад, зменшення площі сонячних колекторів). Варіанти таких комбінацій залежать від призначення та розташування будівлі, але в більшості випадків вони присутні та завжди дають економічний ефект у довгостроковій перспективі.

Таким чином, аналіз зазначених висновків дозволяє визначити головні задачі, які мають бути вирішеними у подальших дослідженнях:

1. Дослідити енергетичну ефективність нових схем теплопостачання на базі ґрунтових теплових насосів з додатковим використанням сонячних панелей на вході до випарника теплового насоса.

2. Виконати порівняльний аналіз досліджених схем теплопостачання на прикладі реального промислового об'єкта та визначити найбільш ефективну з них.

3. Дослідити розподіл тепла, повітря та температурний градієнт в приміщенні реального промислового об'єкта з однією з комбінованих тепло-насосних схем.

### Література

1. Raport. Zerowe emisje netto do 2050 r. Plan działania dla globalnego sektora energii. URL: [https://iea.blob.core.windows.net/assets/612ff947-b579-4486-9f56-f207db273429/NetZeroby2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector\\_Polish.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/612ff947-b579-4486-9f56-f207db273429/NetZeroby2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_Polish.pdf)
2. Виступ Президента зі щорічним Посланням до Верховної Ради про внутрішнє і зовнішнє становище України. URL: <https://www.president.gov.ua/news/vistup-prezidenta-zi-shorichnim-poslannyam-do-verhovnoyi-rad-80113>
3. Report. The Future of Heat Pumps. URL: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps>
4. Коренда В.А., Вишняков І.Ю., Протасов О.С., Бірківська Н.В. Використання теплових насосів для опалення будівель на підприємствах. *Наукові доповіді НУБіП України. Техніка і енергетика АПК*. 2020. № 5.
5. Інкін О.В., Рудаков Д.В., (2021), «Аналіз способів та критеріїв встановлення геотермальних модулів на закритих вугільних шахтах», *Фізико-технічні проблеми горного виробництва* 2021. Вип. 23. С. 118–135.
6. Сердюк В. Р., Дедова О. В. Європейський та вітчизняний досвід використання теплових насосів в системах теплопостачання житла. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві* 2017. № 23 (2). С. 98–105.
7. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії: підручник. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 492 с.
8. Безродний М.К., Притула Н.О. Енергетична ефективність теплонасосних схем теплопостачання: монографія Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 208 с.
9. Снежкін Ю.Ф., Чалаєв Д.М., Шаврін В.С., Дабіжа Н.О. Теплові насоси в системах теплохолодопостачання: монографія / під ред. акад. НАН України А.А. Долінського. Київ: НАН України, Ін-т техн. теплофізики, 2008. 104 с.
10. LANUV NRW (2018): Landesamt für Natur, Umwelt, und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen: Potenzialstudie warmes Grubenwasser – Fachbericht 90. Recklinghausen. *Фізико-технічні проблеми горного виробництва* 2021, № 23. 154 с.
11. Sadovenko, I., Inkin, O., Dereviahina, N., & Khryplyvets, Y. (2019). Actualization of prospects of thermal usage of groundwater of mines during liquidation. E3S Web of Conferences 123, 01046. URL: <https://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/201912301046>
12. Улицький О.А., Єрмаков В.М., Луньова О.В., Бойко К.С. До питання оцінки прогнозу змін гідрогеологічних умов техноекосистеми Селидівської групи шахт. *Екологічна безпека та природокористування*, 2019. № 3. С. 32–42.
13. Самойчук К.О., Лівик Н.В. Використання геотермальної енергії для виробництва теплової і електричної енергії : навч. посіб. URL: [https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/ophv\\_5/page8.html](https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/ophv_5/page8.html)

## ОЦІНКА ВПЛИВУ НА КОРОЗІЙНИЙ СТАН НАФТОПРОВОДУ ПОПЕРЕЧНИХ МАКРОГАЛЬВАНІЧНИХ ПАР

Степова О.В., Степовий Є.Б.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

пр. Першотравневий, 24, 36011, м. Полтава

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

Підземні сталеві споруди завдяки контакту з ґрунтовим середовищем піддаються корозії. Площа поверхні контакту підземних споруд з вологими, а часом солончаковими ґрунтами дуже велика. Випробуваннями зразків сталі в ґрунтах встановлено втрату маси з одиниці поверхні, рівну  $0,05 \text{ г/м}^2 \text{ год}$ . Виходячи з цієї величини швидкості корозії і не враховуючи нерівномірний її характер, втрати маси металу на утворення продуктів корозії складе тисячі тон на рік. Однак реальні втрати металу завдяки нерівномірному характеру руйнування будуть ще більшими. Практично встановлено, що вже після 8–10 років експлуатації в стінках трубопроводу товщиною 8 мм утворюються перші наскрізні проіржавління, тобто швидкість місцевого руйнування складає 1 мм/рік. Як результат, на окремих ділянках магістральних трубопроводів, де швидкість руйнування приблизно в 20 разів більша середньої, необхідно вже через 8 років проводити заміну труб. Тому очікувані втрати на підземних трубопроводах, якщо не застосовувати ефективних засобів захисту, можуть складати приблизно 10–15% від загальної кількості металу, що знаходиться в контакт з землею.

В роботі розглянуто фактори, що впливають на екологічну безпеку експлуатації нафтопроводів. Розв'язана задача розрахунку швидкості електрохімічної корозії трубопроводу при роботі поперечних макрогальванічних пар на ділянці нафтопроводу. В даній науковій роботі запропонована математична модель розрахунку універсальної характеристики корозійних процесів – швидкості електрохімічної корозії, що виникає при роботі поперечних макрогальванічних пар на ділянці нафтопроводу. Отримані результати дозволяють більш достовірно оцінити несучу здатність нафтопроводів, що працюють за умов агресивного середовища із тріщинами в ізоляційних покриттях, що дозволяє зменшити екологічні ризики через недопущення аварійних розливів нафти та прогнозувати розвиток корозії сталі за часом, що є важливим при визначенні залишкового ресурсу трубопроводу та забезпечення його екологічно безпечної експлуатації. *Ключові слова:* сталевий нафтопровід, електрохімічна корозія, гальванічний елемент, модель корозії, швидкість корозії, екологічна безпека.

### Assessment of the impact of transverse macrogalvanic pairs on the corrosion state of the oil pipeline. Stepova O., Stepovyi Ye.

Underground steel structures are subject to corrosion due to contact with the soil environment. The surface area of contact between underground structures and wet and sometimes saline soils is very large. Tests of steel samples in soils revealed a mass loss per unit surface equal to  $0.05 \text{ g/m}^2 \text{ h}$ . Based on this corrosion rate and not taking into account its uneven nature, the loss of metal mass due to the formation of corrosion products will amount to thousands of tons per year. However, the actual metal loss due to the uneven nature of the destruction will be even greater. It has been practically established that after 8–10 years of operation, the first through rusting occurs in the walls of an 8 mm thick pipeline, i.e., the rate of local destruction is 1 mm/year. As a result, in certain sections of the main pipelines, where the rate of destruction is about 20 times higher than the average, it is necessary to replace the pipes after 8 years. Therefore, the expected losses in underground pipelines, if no effective protection measures are used, can be approximately 10–15% of the total amount of metal in contact with the ground.

The paper considers the factors affecting the environmental safety of oil pipelines. The problem of calculating the rate of electrochemical corrosion of a pipeline during the operation of transverse macrogalvanic pairs on a section of an oil pipeline is solved. This research paper proposes a mathematical model for calculating a universal characteristic of corrosion processes – the rate of electrochemical corrosion that occurs during the operation of transverse macrogalvanic pairs in an oil pipeline section. The results obtained allow for a more reliable assessment of the bearing capacity of oil pipelines operating in aggressive environments with cracks in the insulation coatings, which reduces environmental risks by preventing accidental oil spills and predicting the development of steel corrosion over time, which is important in determining the residual life of the pipeline and ensuring its environmentally safe operation. *Key words:* steel oil pipeline, electrochemical corrosion, galvanic cell, corrosion model, corrosion rate, environmental safety.

**Постановка проблеми.** Серед основних екологічних проблем, пов'язаних з функціонуванням нафтогазової галузі, автори [1] виділяють транспортування нафти й газу та вирішення проблеми екологічної безпеки під час експлуатаційних робіт. Цей напрям ґрунтується на недопущенні екологічних аварій і катастроф, пов'язаних з експлуатацією трубопроводного транспорту. Аналіз причин ушкодження нафтопроводів вказує на те, що переважною причиною виходу їх з ладу є процес корозії сталеві труби при вільному доступу активуючих електродів – технологічних розчинів солей, кислот,

лугів та ін. Такі конструкції потребують особливої уваги та періодичного моніторингу корозійного стану їх зовнішньої поверхні. Окремі методи оцінки корозійного стану нафтопроводів побудовані на врахуванні процесів корозії сталі, які представлені емпіричними формулами, не пов'язуються з наявністю пошкоджень в ізоляційних покриттях, наявних електродів та ін. Коректні ж оцінки корозійного стану нафтопроводів можливо отримати тільки на базі вивчення самого процесу корозії в даних умовах та його впливу на опір конструкції.

**Актуальність дослідження.** Перші збудовані нафтопроводи працюють більше 48 років [2, 3] середній термін експлуатації яких складає понад 35 років. Термін експлуатації системи сталевих нафтопроводів України у багатьох випадках наближається до планового. Виявлені численні корозійні пошкодження зовнішніх та внутрішніх поверхонь труб загострюють проблему подальшої надійної та екологічно безпечної експлуатації. Зі збільшенням термінів їх експлуатації все актуальнішою стає проблема ефективної та безперервної роботи трубопроводного транспорту, яка забезпечується організацією періодичної технічної діагностики стану елементів трубопроводів та ремонту в місцях виявлених недопустимих дефектів.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Тема відповідає актуальним напрямкам науково-технічної політики України в галузі дослідження технічного стану будівель і споруд, що експлуатуються, які висвітлені у Постанові Кабінету Міністрів України № 409 від 5 травня 1997 р. «Про забезпечення надійності і безпечної експлуатації будівель, споруд та інженерних мереж».

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням безпечної експлуатації нафтопроводів і їх екологічної безпеки присвячено праці багатьох вчених. Аспекти електрохімічної корозії та особливості ґрунтової корозії, корозійні умови в різних регіонах України досліджено авторами [4]. Моделюванню залежностей корозії металу від факторів навколишнього середовища та прогнозуванню довговічності трубопроводів в умовах корозійних впливів велику увагу приділено в роботі [5–8]. Однією з перших моделей, які описують руйнування металу під впливом навколишнього агресивного середовища, є закони Фарадея. Існують й інші математичні моделі руйнування металу трубопроводів під дією оточуючого середовища інших авторів і вчених, але усі вони є в дечому подібними і схожими. Це виявляється в тому, що у залежності моделей входять багато різних поправкових коефіцієнтів, які є справедливими лише для трубопроводів, які не зазнають локального агресивного впливу. Тож наведені моделі не дають змогу з достатньою точністю описати процеси електрохімічної корозії нафтопроводів.

Чисельні дослідження щодо поведінки сталі при електрохімічній корозії проведені закордонними вченими [9, 10], але при дослідженнях не враховано впливу локальних корозійних пошкоджень та умов експлуатації конструкцій

Незважаючи на те, що цій проблемі присвячені численні дослідження вітчизняних і закордонних авторів, у цей час вона ще повністю не вирішена й багато питань залишаються відкритими. Часті розриви трубопроводів, вимагають пошуку нових технічних рішень, спрямованих на забезпечення їхньої безпечної експлуатації, підвищення довго-

вічності й стабільності функціонування. Тому проблема оцінки корозійного зносу труби, забезпечення безпечної експлуатації й підвищення довговічності трубопроводів, безсумнівно, залишається актуальною й своєчасною.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** У процесі проектування та експлуатації нафтопроводів недостатньо враховується їх вплив на довкілля й оцінюється екологічна безпека експлуатації нафтопроводів. Аналіз причин відмов трубопроводів показує, що більше 60% всіх відмов відбулися з причин корозії металу труб.

Метою даної роботи є розроблення залежності для розрахунку універсальної характеристики електрохімічної корозії – електрохімічного струму підземного сталевих нафтопроводу при роботі поперечних макрогальванічних пар.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Результати даної наукової роботи в комплексі з іншими дослідженнями дадуть змогу визначити потенційні корозійно-небезпечні ділянки місцевості для підземних сталевих трубопроводів, дозволять попередити виникнення аварійних ситуацій та негативних впливів на довкілля шляхом вчасного вжиття необхідних заходів.

**Викладення основного матеріалу.** Щільність струму по колу поперечного перерізу магістрального нафтопроводу розподіляється нерівномірно. Кожний елемент поверхні трубопроводу має свій потенціал корозії  $U_{cm}$ . При цьому виникають врівноважуючі струми між окремими ділянками. Ці струми доцільно розглядати як струми гальванічних елементів із замкненим зовнішнім ланцюгом по металу трубопроводу. Внутрішнім ланцюгом є навколишнє середовище. Такі гальванічні елементи називають елементами диференціальної аерації.

У припущенні незмінності зовнішніх умов магістрального нафтопроводу вирішено плоску задачу. Щільність врівноважуючих струмів на поверхні трубопроводу може бути визначена за формулою:

$$\vec{i}_n = -\frac{1}{\rho_2} \cdot \frac{\partial U_2}{\partial N}, \quad (1)$$

де  $U_2$  – електричне поле, яке утворюється врівноважуючими струмами в ґрунті;  $\rho_2$  – питомий електричний опір ґрунту;  $N$  – напрямок нормалі до поверхні трубопроводу.

Електричне поле врівноважуючих струмів в трубопроводі є рішенням рівняння для стаціонарного потенціалу електричного поля, яке відповідає граничним умовам неперервності потенціалів та нормальної складової відповідної щільності струму на поверхні труби ( $\rho=r$ ), тобто

$$U_m(r_1\Theta) - U_2(r_1\Theta) = b_m \cdot \ln \frac{i_{mk}}{i_{nk} \cdot \rho_2} \cdot \left( \frac{\partial U_2}{\partial \rho} \right)_{\rho=r}; \quad (2)$$

$$\frac{1}{\rho_a} \cdot \left( \frac{\partial U_m}{\partial \rho} \right)_{\rho=r} = \frac{1}{\rho_2} \cdot \left( \frac{\partial U_2}{\partial \rho} \right)_{\rho=r}, \quad (3)$$



де  $i_{нк}$  – щільність струму без врахування врівноважувачих струмів, визначається з рівняння (1);  $U_m$  – електричне поле, яке співпадає з врівноважувачими струмами в трубі;  $\rho_m$  – питомий електричний опір металу трубопроводу;  $k_2$  – деяка стала в рівнянні електричного потенціалу в області дифузійної кінетики

$$\varphi = b_m \cdot \ln \frac{i_{нк}}{k_2} + b_m \cdot \ln \left( 1 + \frac{i_n}{i_{нк}} \right). \quad (4)$$

Для того, щоб рішення диференційного рівняння були періодичними за  $\Theta$ , задаємося умовами

$$U_z = \sum_{n=0}^{\infty} A_n \cdot \rho^{-n} \cdot \cos n \cdot \Theta; \quad U_m = \sum_{n=0}^{\infty} B_n \cdot \rho^n \cdot \cos n \cdot \Theta. \quad (5)$$

Перевіримо чи є задані умови рішенням рівняння (2):

$$U_z = \sum_{n=0}^{\infty} A_n \cdot \rho^{-n} \cdot \cos n \cdot \Theta, \quad \frac{\partial U_z}{\partial \rho} = \sum_{n=0}^{\infty} A_n \cdot (-n) \rho^{-n-1} \cdot \cos n \cdot \Theta,$$

$$\frac{\partial}{\partial \rho} \left( \rho \frac{\partial U_z}{\partial \rho} \right) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n (-n) \cdot (-n) \rho^{-n-1} \cdot \cos n \cdot \Theta = \sum_{n=0}^{\infty} A_n n^2 \rho^{-n-1} \cdot \cos n \cdot \Theta,$$

$$\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial}{\partial \rho} \left( \rho \frac{\partial U_z}{\partial \rho} \right) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n n^2 \rho^{-n-2} \cdot \cos n \cdot \Theta.$$

$$\frac{\partial^2 U_z}{\partial \Theta^2} = \sum_{n=0}^{\infty} A_n \rho^{-n} (-n) \cdot n \cdot \cos n \cdot \Theta = \sum_{n=0}^{\infty} A_n (-n)^2 \rho^{-n} \cdot \cos n \cdot \Theta,$$

$$\frac{1}{\rho^2} \cdot \frac{\partial^2 U_z}{\partial \Theta^2} = \sum_{n=0}^{\infty} A_n (-n^2) \rho^{-n-2} \cdot \cos n \cdot \Theta.$$

Тоді

$$\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial}{\partial \rho} \left( \rho \frac{\partial U_z}{\partial \rho} \right) + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2 U_z}{\partial \Theta^2} = \sum_{n=0}^{\infty} A_n n^2 \rho^{-n-2} \cdot \cos n \cdot \Theta + \sum_{n=0}^{\infty} A_n (-n^2) \rho^{-n-2} \cdot \cos n \cdot \Theta = 0.$$

Тобто рівняння (1) задовільняється. Аналогічно буде й для  $U_m$ . Підставимо в граничні умови (5):

$$\frac{1}{\rho_m} \sum_{n=0}^{\infty} B_n \cdot n \cdot r^{n-1} \cdot \cos n \cdot \Theta = \frac{1}{\rho_z} \sum_{n=0}^{\infty} A_n (-n) \cdot r^{-n-1} \cdot \cos n \cdot \Theta,$$

$$\text{або } \sum_{n=0}^{\infty} \frac{n \cdot r^{n-1}}{\rho_m} \left( B_n + \frac{\rho_m}{\rho_z} \cdot r^{-2n} \cdot A_n \right) \cos n \cdot \Theta = 0.$$

Отримана рівність можлива лише тоді, коли

$$B_n = -\frac{\rho_m}{\rho_z} \cdot r^{-2n} \cdot A_n. \quad (6)$$

Підставимо отриману залежність в граничну умову (5), використовуючи при цьому (2):

$$\begin{aligned} & \sum_{n=0}^{\infty} B_n \cdot r^n \cdot \cos n \cdot \Theta - \sum_{n=0}^{\infty} A_n \cdot r^{-n} \cdot \cos n \cdot \Theta = \\ & = b_m \ln \frac{FDC_n(a^2 - 1)}{M_k \cdot r \cdot k_2 \cdot \ln a(1 + a^2 - 2a \cdot \cos \Theta)} - \frac{b_m M_k \cdot r \cdot \ln a(1 + a^2 - 2a \cdot \cos \Theta)}{FDC_n \cdot \rho_z (a^2 - 1)} \times \\ & \quad \times \sum_{n=0}^{\infty} A_n (-n) \cdot r^{-n-1} \cdot \cos n \cdot \Theta. \end{aligned} \quad (7)$$

Введемо позначення:

$$\ln \frac{FDC_n(a^2 - 1)}{M_k \cdot r \cdot k_2 \cdot 2a \cdot \ln a} = \lambda_1, \quad \text{а } \frac{b_a \cdot M_k \cdot r \cdot 2a \cdot \ln a}{FDC_n \rho_z (a^2 - 1)} = \lambda_2,$$

$$\frac{1+a^2}{2a} = x. \quad (8)$$

Тоді (7) можна записати так:

$$\begin{aligned} & \sum_{n=0}^{\infty} (B_n r^n - A_n r^{-n}) \cos n \cdot \Theta = \\ & = \lambda_1 - b_m \cdot \ln(x - \cos \Theta) + \lambda_2 (x - \cos \Theta) \sum_{n=0}^{\infty} A_n \cdot n \cdot r^{-n-1} \cdot \cos n \cdot \Theta; \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} & \sum [(B_n r^n - A_n r^{-n}) \cos n \cdot \Theta - \lambda_2 x n^{-n-1} \cdot A_n \cdot \cos n \cdot \Theta + \lambda_2 A_n \cdot n \cdot r^{-n-1} \cdot \cos \Theta \cdot \cos n \cdot \Theta] = \\ & = \lambda_1 - b_m \cdot \ln(x - \cos \Theta). \end{aligned} \quad (10)$$

Використаємо формулу:

$$\cos \Theta \cdot \cos n \cdot \Theta = \frac{1}{2} [\cos(n+1) \cdot \Theta + \cos(n-1) \cdot \Theta],$$

після чого (9) буде мати вигляд:

$$\begin{aligned} & \sum_{n=0}^{\infty} \left[ (B_n r^n - A_n r^{-n} - \lambda_2 x n \cdot r^{-n-1} \cdot A_n) \cos n \cdot \Theta + \frac{1}{2} \lambda_2 n A_n \cdot r^{-n-1} (\cos(n-1) \Theta + \cos(n+1) \Theta) \right] = \\ & = \lambda_1 - b_m \ln(x - \cos \Theta). \end{aligned} \quad (11)$$

Розкладемо функцію  $f(x, \Theta) = \ln(x - \cos \Theta)$  в ряд Фур'є за косинусами:

$$\ln(x - \cos \Theta) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=0}^{\infty} a_n \cdot \cos n \cdot \Theta, \quad (12)$$

$$\text{де } a_0 = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} f(x, \Theta) d\Theta, \quad a_n = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} f(x, \Theta) \cos n \cdot \Theta d\Theta \quad (13)$$

коефіцієнти Фур'є для парної функції.

Для знаходження коефіцієнтів Фур'є розрахуємо необхідні інтеграли. Перший інтеграл (для визначення  $a_0$ )  $\frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} \ln(x - \cos \Theta) d\Theta$  належить до числа інтегралів, що не беруться. Тільки завдяки тому, що він залежить від  $x$ , його можна розглянути як інтеграл, який залежить від параметра.

Введемо позначення

$$I_0(x) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} \ln(x - \cos \Theta) d\Theta.$$

та знайдемо похідну

$$I_0'(x) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} \frac{d\Theta}{x - \cos \Theta}. \quad (14)$$

Таким чином

$$I_0'(x) = \frac{2}{\sqrt{x^2 - 1}}. \quad \text{Тоді, } I_0(x) = \int \frac{2}{\sqrt{x^2 - 1}} dx = 2 \ln(x + \sqrt{x^2 - 1}) + C.$$

Підставимо замість  $x$  його значення  $\frac{1+a^2}{2a}$ : маємо  $a_0 = I_0(x) = 2 \ln a + C = 2 \ln C_1 a$ ,

$$C = 2 \ln C_1 \quad (15)$$

Обчислимо  $a_n$  із (13):

$$a_n = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} \cos n \cdot \Theta \cdot \ln(x - \cos \Theta) d\Theta. \quad (16)$$

Введемо позначення:

$$I_n(x) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} \cos n \cdot \Theta \cdot \ln(x - \cos \Theta) d\Theta. \quad (17)$$

Після розв'язання інтеграла шляхом інтегрування за частинами отримаємо

$$I_n(x) = \frac{1}{2n} (I_{n+1}'(x) - I_{n-1}'(x)), \quad \text{або } 2n I_n(x) = I_{n+1}'(x) - I_{n-1}'(x). \quad (18)$$

Після інтегрування (18) по змінній  $x$  та з врахуванням формули інтегрування за частинами отримаємо:

$$\begin{aligned} \int I_n(x) dx &= \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} \cos n \cdot \Theta \cdot \ln(x - \cos \Theta) d\Theta + C_2 = \\ &= \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} [-x \cdot \cos n \cdot \Theta + \cos \Theta \cdot \cos n \cdot \Theta + x \cdot \cos n \cdot \Theta \cdot \ln(x - \cos \Theta) - \\ &\quad - \cos \Theta \cdot \cos n \cdot \Theta \cdot \ln(x - \cos \Theta)] d\Theta + C_2 = \\ &= \frac{2}{\pi} \left[ -\frac{x}{n} \sin n \cdot \Theta + \frac{1}{2} \int_0^{\pi} (\cos(n+1)\Theta + \cos(n-1)\Theta) d\Theta + \right. \\ &\quad \left. + x \int_0^{\pi} \cos n \cdot \Theta \cdot \ln(x - \cos \Theta) d\Theta - \frac{1}{2} \int_0^{\pi} (\cos(n+1)\Theta + \cos(n-1)\Theta) \ln(x - \cos \Theta) d\Theta \right] + C_2 = \\ &= \frac{2}{\pi} \left[ -\frac{x}{n} \sin n \cdot \Theta + \frac{1}{2(n+1)} \sin(n+1)\Theta + \frac{1}{2(n-1)} \sin(n-1)\Theta \right] \int_0^{\pi} \cos n \cdot \Theta \cdot \ln(x - \cos \Theta) d\Theta - \\ &\quad - \frac{1}{2} \int_0^{\pi} (\cos(n+1)\Theta + \cos(n-1)\Theta) \ln(x - \cos \Theta) d\Theta + C_2. \end{aligned}$$

Тут необхідно виділити два випадки: коли  $n=1$  та коли  $n \geq 2$ . Будемо рахувати, що  $n \geq 2$ .

Перші три складові в останній рівності дорівнюють нулю. Тоді

$$\int I_n(x) dx = x I_n(x) - \frac{1}{2} I_{n+1}(x) - \frac{1}{2} I_{n-1}(x) + C_2. \quad (19)$$

Підставимо (19) в (18):

$$2nx \cdot I_n(x) - n I_{n+1}(x) - n I_{n-1}(x) + C_3 = I_{n+1}(x) - I_{n-1}(x).$$

Звідси

$$(n+1) I_{n+1}(x) = 2xn \cdot I_n(x) - (n-1) I_{n-1}(x) \quad (20)$$

Рівність (20) являє собою рекурентну залежність, яка зв'язує  $I_{n+1}$ ,  $I_n$ ,  $I_{n-1}$  при  $n=2$ .

Розглянемо випадок, коли  $n=1$ .

$$\begin{aligned} I_1(x) &= \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} \cos \Theta \cdot \ln(x - \cos \Theta) d\Theta = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} \ln(x - \cos \Theta) d \sin \Theta = \\ &= \frac{2}{\pi} \sin \Theta \cdot \ln(x - \cos \Theta) - \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} \frac{\sin^2 \Theta}{x - \cos \Theta} d\Theta = -\frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} \frac{\sin^2 \Theta}{x - \cos \Theta} d\Theta. \end{aligned}$$

В останньому рівнянні зробимо заміну

$$\pi \rightarrow \operatorname{tg} \frac{\pi}{2} = +\infty. :$$

$$\begin{aligned} -\frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} \frac{\sin^2 \Theta}{x - \cos \Theta} d\Theta &= -\frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{4t^2 \cdot 2dt}{x - \frac{1-t^2}{1+t^2}} = -\frac{16}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{t^2 dt}{(t^2+1)^2 [(x+1)t^2 + x-1]} = \\ &= -\frac{16}{\pi(x+1)} \int_0^{\infty} \frac{t^2 dt}{(t^2+1)^2 (t^2+k^2)}, \text{ де } k^2 = \frac{x-1}{x+1}. \end{aligned}$$

Таким чином

$$a_n = I_1(x) = -\frac{2}{a}.$$

Розрахуємо значення  $I_2(x)$ .

$$\begin{aligned} I_2(x) &= \frac{-2 \cdot \left(1 - \frac{a-1}{a+1}\right)}{\frac{(a+1)^2}{2a} \cdot \left(1 + \frac{a-1}{a+1}\right)^3} = -2 \frac{a+1-a+1}{a+1} \cdot \frac{(a+1)^2}{2a} \cdot \left(\frac{a+1+a-1}{a+1}\right)^3 = \\ &= -2 \frac{2}{a+1} \cdot \frac{2a}{(a+1)^2} \cdot \frac{(a+1)^3}{(2a)^3} = -\frac{1}{a^2}. \end{aligned}$$

Аналізуючи значення  $a_1, a_2$  та підставляючи  $a_n$  в (20), то (11) буде мати вигляд:

$$\begin{aligned} -A_0 \left(1 + \frac{\rho_m}{\rho_c}\right) + \sum_{n=1}^{\infty} A_n r^{-n-1} \left\{ -\left[ \left(1 + \frac{\rho_m}{\rho_c}\right) \cdot r + \lambda_2 n x \right] \cos n \cdot \Theta + \right. \\ \left. + \frac{\lambda_2 n}{2} [\cos(n-1) \cdot \Theta + \cos(n+1) \cdot \Theta] \right\} = \lambda_1 - b_m \ln a - 2b_m \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{na^n} \cdot \cos n \cdot \Theta \quad (21) \end{aligned}$$

Використавши таку властивість ряду  $\sum_{n=1}^{\infty} Q_n = \sum_{n=2}^{\infty} Q_{n-1} = \sum_{n=0}^{\infty} Q_{n+1}$ , прирівнявши доданки при косинусах однакових кутів, маємо

$$A_1 = \frac{\tilde{\lambda}_1 + A_0 L}{\tilde{\lambda}_2}; \quad A_2 = \left(xr + \frac{L}{2\tilde{\lambda}_2}\right) \cdot \frac{\tilde{\lambda}_1 + A_0 L}{\tilde{\lambda}_2} - \frac{rb_m}{a\tilde{\lambda}_2} \quad (22)$$

Враховуючи (5) отримаємо:

$$\frac{\partial U_a}{\partial \rho} = \sum_{i=0}^{\infty} A_i \rho^{-i-1} (-i) \cos n \cdot \Theta, \text{ тоді}$$

$$i_n = \frac{1}{\rho_c} \cdot \frac{\partial U_c}{\partial \rho} = -\frac{1}{\rho_c} \sum_{n=1}^{\infty} n A_n r^{-n-1} \cdot \cos n \cdot \Theta \quad (23)$$

Визначивши необхідні значення  $A_n$  за (22), можливо визначити щільність врівноважуючих струмів на поверхні трубопроводу.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Перевагою отриманої залежності є можливість оцінки корозійного стану ділянки нафтопроводу при роботі поперечних макрогальванічних пар, передбачення та прогнозування розвитку корозійних процесів на поверхні металу нафтопроводу.

Досліджуючи динаміку втрати товщини стінки трубопроводу на ділянці планується розробити методику оцінки залишкового ресурсу ділянок трубопроводу за несучою здатністю та придатністю до подальшої експлуатації. Оцінка втрат товщини стінок трубопроводу дає можливість раціонально спланувати ремонтні роботи, прогнозувати реальні строки роботи конструкції, тим самим забезпечивши екологічно безпечне функціонування нафтопроводів.

### Література

1. Побережний Л.Я., Яворський А.В., Цих В.С., Станецький А.І., Гричанчук А.В. Підвищення рівня екологічної безпеки трубопроводних мереж нафтогазового комплексу України. *Науково-технічний журнал «Техногенно-екологічна безпека»*. 2017. № 1. С. 24–31.
2. Поляков С., Клименко А., Ниркова Л., Малькова О. Електрохімічний моніторинг магістральних трубопроводів на корозійно-небезпечних ділянках. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. 2008. Спец. вип. № 7. Т. 2. С. 761–766.
3. Ждек А.Я., Грудз В.Я. Визначення залишкового ресурсу тривало експлуатованих нафтопроводів із врахуванням наявних корозійних дефектів та умов експлуатації. *Науковий вісник: ІФНТУНГ*. 2012. № 2(32) С. 58–66.

4. Рогознюк В.В., Гужов Ю.П., Кузьменко Ю.О. Технічна експлуатація систем захисту від підземної корозії магістральних нафтопроводів. К.: *Техдіагаз*. 2000. С. 3–5.
5. Степова О.В. Врахування корозійних процесів сталевих нафтопроводів з метою підвищення екологічної безпеки. *Екологічні науки: науково-практичний журнал* / Головний редактор О.І. Бондар. К.: ДЕА. 2018. № (1)20. Т. 2. С. 15–21.
6. Stepova O., Parashchiienko I., Lartseva I. Calculation of steel pipeline corrosion depth at the work of galvanic corrosion element operating. *International Journal of Engineering & Technology*. Vol. 7, No 3.2. 2018. P. 431–435. Міжнародна науко метрична база Scopus.
7. Stepova O., Parashchiienko I. Modeling of the corrosion process in steel oil pipelines in order to improve environmental safety . *Eastern-european journal of enterprise technologies, industrial and technology systems*. VOL 2. № 1 (86). 2017. P. 15–20.
8. Побережний Л.Я. Закономірності корозійно-механічної деградації трубопроводів у складних умовах експлуатації: автореф. На здобуття наук. ступ. докт. техн. наук. Івано-Франківськ: Івано-Франківський націон. техн. ун-т нафти і газу. 2008. 34 с.
9. Xue H.B., Cheng Y.F. Electrochemical corrosion behavior of X80 pipeline steel in a near-neutral pH solution. *Materials and corrosion*. 2010. Vol. 61. Issue 9. P. 756–761.
10. Yang Yan, Wang Shuli, Chuang Wen Experimental Study on Alternating Current Corrosion of Pipeline Steel in Alkaline Environment. *International Journal of Electrochemical science: Int. J. Electrochem. Sci*. 2016. Vol. 11. P. 7150–7162.

## МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ВОДОЙМИ НА ОСНОВІ ЕНТРОПІЙНО ЗВАЖЕНОГО ІНДЕКСУ ЯКОСТІ ВОДИ

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)

Проведено оцінку якості водойм, що використовуються як джерело питного водопостачання містами півдня Дніпропетровської області, на основі використання вдосконаленого індексу якості води з ентропійним ваговим коефіцієнтом. В процесі розрахунку індексів якості води вага кожного параметра зазвичай або не враховується, і параметри вважаються рівнозначними, або ж надається експертами відповідно до їхнього практичного досвіду що є суб'єктивним і багато корисної та цінної інформації про якість води може втрачатися. Застосування ентропійних ваг дозволить підвищити об'єктивність індексу якості води. Розробка ентропійнозваженого індексу якості води передбачає наступні етапи: побудову вихідної матриці проб води і оцінюваних параметрів; побудову нормованої матриці, що містить нормовані значення кожного оцінюваного параметра в конкретному зразку з метою усунення похибок, викликаних різними розмірами і одиницями виміру; обчислення ентропійних ваг, щоб параметрам з нижчою ентропією або мірою безпорядку присвоювалася таким чином більша вага; агрегація ваг ентропії та шкали оцінки якості.

В результаті застосування методики оцінки екологічного стану водойми на основі ентропійно-зваженого індексу якості води ділянки р. Дніпро, що розташована на півдні Дніпропетровської області, встановлено, за значенням індексу якості у теплий та холодний періоди року відрізняється. Мінімальне значення EWQI для холодної пори 55,41 (п4), максимальне – 111,02 (п2). Мінімальне значення EWQI для теплої пори 72,76 (п4), максимальне – 104,50 (п2). Найгірша якість води характерна для пункту контролю п2 (ID27577, р. Дніпро, 219 км, с. Придніпровське, КП «Дніпро» Придніпровської с/р), при чому, значення для холодної пори року EWQI=111,02 вищі, ніж для теплої – EWQI=104,50, що вказує на те, що забруднення не обумовлено біохімічними процесами, і може пояснюватися негативним екологічним впливом Новопавлівського гранітного кар'єру. На величину ентропійно зваженого індексу якості води впливає вибір нормативного значення, тому перспективними є дослідження з обґрунтування вибору величини нормативного значення для кожних конкретних умов. *Ключові слова:* екологічний стан поверхневих вод, ентропійно зважений індекс якості води, забруднення води.

### Methods of assessment of the ecological status of a water body based on the entropy-weighted index of water quality. Bezsonnyi V.

An assessment of the quality of reservoirs used as a source of drinking water supply by the cities of the south of the Dnipropetrovsk region was carried out, based on the use of an improved water quality index with an entropy weighting factor. In the process of calculating water quality indices, the weight of each parameter is usually either not taken into account, and the parameters are considered equivalent, or it is given by experts according to their practical experience, which is subjective and a lot of useful and valuable information about water quality can be lost. The use of entropy weights will increase the objectivity of the water quality index. The development of the entropy-weighted water quality index involves the following stages: construction of the initial matrix of water samples and estimated parameters; construction of a normalized matrix containing normalized values of each evaluated parameter in a specific sample in order to eliminate errors caused by different sizes and units of measurement; calculating entropy weights so that parameters with a lower entropy or degree of disorder are thus assigned a higher weight; aggregation of entropy weights and quality rating scales.

As a result of the application of the methodology for assessing the ecological state of the reservoir based on the entropy-weighted water quality index of the Dnipro River, located in the south of the Dnipropetrovsk region, it was established that the quality of the index differs in warm and cold periods of the year. The minimum value of EWQI for the cold season is 55.41 (p4), the maximum is 111.02 (p2). The minimum value of EWQI for the warm season is 72.76 (p4), the maximum is 104.50 (p2). The worst water quality is characteristic of control point p2 (ID27577, Dnipro district, 219 km, Prydniprovsk village, KP "Dnipro" Prydniprovsk village), moreover, the value for the cold season is EWQI=111.02 higher than for the warm season – EWQI=104.50, which indicates that the pollution is not due to biochemical processes and can be explained by the negative environmental impact of the Novopavlivskiy granite quarry. The value of the entropy-weighted water quality index is affected by the choice of the normative value, therefore, studies on the justification of the choice of the value of the normative value for each specific condition are promising. *Key words:* ecological state of surface waters, entropy-weighted water quality index, water pollution.

**Постановка проблеми.** Екологічна оцінка забруднення та визначити потенційні джерела надповерхневих водойм допомагає встановити рівень ходження цього забруднення. Водойми, що вико-

ристовуються для водопостачання, є важливою складовою сталого функціонування території, що включає в себе розвиток промисловості, сільського господарства та благополуччя населення, особливо це важливо для такого промислово навантаженого регіону як Дніпропетровська область. Оцінка поверхневих вододжерел допомагає визначити їх потенційну водопостачальну здатність та ресурси, які можуть бути використані для забезпечення питної води. Забруднення поверхневих вододжерел стає все більшою проблемою через зростання промислового та сільськогосподарського навантаження, а також надмірну експлуатацію водних ресурсів.

**Актуальність дослідження.** Відмінна якість води є незамінним елементом у забезпеченні сталого розвитку водних ресурсів. Це тісно пов'язано з пунктами 3 (міцне здоров'я та благополуччя), 6 (чиста вода та належні санітарні умови) та 14-го (збереження морських ресурсів) переліку Цілей сталого розвитку ООН [1]. Оцінка поверхневих вододжерел є дуже важливою для забезпечення доступу до безпечної питної води, охорони довкілля та сталого використання водних ресурсів. Поверхневі водойми є основним джерелом питної води, тому проблема оцінки екологічного стану поверхневої водойми є актуальною.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Тема дослідження відповідає основним напрямкам Концепції Загальнодержавної цільової соціальної програми «Питна вода України» на 2022–2026 роки, схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 28 квітня 2021 р. № 388-р.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Комплексне оцінювання екологічного стану водойм дозволяє отримати велику кількість фізичних, хімічних і біологічних показників, багато з яких інтегровані в показники якості води (ІЯВ, англ.мовна аббревіатура – WQI) [2]. У 1965 році перший сучасний індекс якості води, розроблений Хортоном, ініціював численні дослідження в області дослідження індексів якості води [3–6]. Однак найважливішими етапами, що беруть участь в розробці таких індексів, є вибір параметрів, зважування факторів, відображаючих важливість кожного параметра і остаточна агрегація в числовий бал шляхом встановлення рейтингової шкали за кожним параметром. Останніми роками набуває поширення використання ентропійних підходів до оцінки якості води [7–9]. Ваги на основі ентропії стали корисним методом, що використовує інформаційну ентропію для присвоєння ваг параметрам якості води [10]. Інформаційна ентропія займається виявленням невизначеності або хаосу в рамках випадкового процесу. Присвоєння ваг тому чи іншому параметру в конкретному місці залежить від невизначеності його виникнення в цьому місці. Більш висока невизначеність виникнення в будь-

якому місці означає меншу вагу параметрів у цьому місці [11]. Агрегація ваг і шкали оцінки якості всіх параметрів в сукупно виведений числовий бал називається ентропійним зваженим індексом якості води (EWQI).

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** В процесі розрахунку ІЯВ вага кожного параметра зазвичай або не враховується, і параметри вважаються рівнозначними, або ж надається експертами відповідно до їхнього практичного досвіду що є суб'єктивним і багато корисної та цінної інформації про якість води може втрачатися. Застосування ентропійних ваг дозволить підвищити об'єктивність індексу якості води.

**Новизна.** Вперше проведено оцінку якості водойм, що використовуються як джерело питного водопостачання містами півдня Дніпропетровської області, на основі використання вдосконаленого індексу якості води з ентропійним ваговим коефіцієнтом.

**Виклад основного матеріалу.** У дослідженні було використано відкриті дані спостережень за екологічним станом поверхневих вод лабораторії моніторингу вод та ґрунтів Регіонального офісу водних ресурсів у Дніпропетровській області за 2020–2021 рр. Для ілюстрації запропонованої методики визначення ентропійно зваженого індексу якості води виконувалося для північної частини Каховського водосховища, у постах мережі моніторингу якості води розташованих біля наступних населених пунктів:

- п1, ID27094, р. Дніпро, 245 км, м. Марганець, питний в/з;
- п2, ID27577, р. Дніпро, 219 км, с. Придніпровське, КП «Дніпро» Придніпровської с/р;
- п3, ID27095, р. Дніпро, 228 км, м. Нікополь, питний в/з;
- п4, ID27096, р. Дніпро, 201 км, м. Покров, питний в/з;
- п5, ID27098, р. Дніпро, 196 км, с. Мар'янське, ГВС каналу Дніпро-Кривий Ріг.

Гідроecологічні системи можуть характеризуватися процесами, що збільшують, так і процесами, що знижують ентропію. Поняття ентропії є багатозначним. Поряд з ентропією Клаузіуса з'явилися статистичні, інформаційні, математичні, лінгвістичні, інтелектуальні та інші ентропії. Ентропія стала базисним поняттям теорії інформації і стала виступати мірилом невизначеності якоїсь ситуації. Для характеристики міри складності системи У. Ешбі [12] вперше запропонував використовувати поняття ентропії. В цілому, система не втрачає своєї організованості або високої впорядкованості. Щоб екологічна система могла діяти і взаємодіяти з навколишнім середовищем, вона повинна споживати інформацію з навколишнього середовища і доносити інформацію до навколишнього середовища. Цей

процес називається інформаційним метаболізмом, який спільно з речовинним та матеріальним метаболізмом утворює повний метаболізм. Вперше пов'язав поняття ентропії та інформації К. Шеннон [13]. З його подачі ентропія – це кількість інформації, що припадає на одне елементарне повідомлення джерела, яке виробляє статистично незалежні повідомлення. Отримання будь-якого обсягу інформації дорівнює втраченій ентропії.

Розробка ентропійнозваженого індексу якості води (ЕІЯВ) передбачає наступні етапи [10, 11]:

Перший крок передбачає побудову вихідної матриці проб води і оцінюваних параметрів (1).

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

де  $x_{ij}$  – концентрація  $i$ -ї речовини для  $j$ -го створу, мг/дм<sup>3</sup>.

Другий крок передбачає побудову нормованої матриці, що містить нормовані значення кожного оцінюваного параметра в конкретному зразку з метою усунення похибок, викликаних різними розмірами і одиницями виміру.

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{m1} & y_{m2} & \dots & y_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

де  $y_{ij}$  – нормоване значення  $i$ -ї речовини для  $j$ -го створу.

Нормоване значення параметру якості води знаходимо за виразом (2):

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - (x_{ij})_{\min}}{(x_{ij})_{\max} - (x_{ij})_{\min}} \quad (3)$$

Нормоване значення параметру якості води для розчиненого у воді кисню знаходимо за виразом (3):

$$y_{ij} = \frac{(x_{ij})_{\max} - x_{ij}}{(x_{ij})_{\max} - (x_{ij})_{\min}} \quad (4)$$

Третій крок передбачає обчислення інформаційної ентропії (E) кожного оцінюваного параметра за формулою, введеної Клодом Шенноном [13] (4):

$$E_n = -\left(\frac{1}{\ln n}\right) \sum_{i=1}^m V_{ij} \ln V_{ij} \quad (5)$$

де  $n$  – кількість точок відбору проб, а  $V_{ij}$  – ймовірність появи нормалізованого значення ( $v_{ij}$ ) оцінюваного параметра  $j$  у  $i$ -й вибірці, що визначається наступним чином:

$$V_{ij} = \frac{v_{ij}}{\sum v_{ij}} \quad (6)$$

Четвертий крок включає обчислення ентропійних ваг ( $W$ ), щоб параметрам з нижчою ентропією

або мірою безпорядку присвоювалася таким чином більша вага:

$$W_j = (1 - E_j) / \sum_{j=1}^t (1 - E_j) \quad (7)$$

Параметрам з меншою ентропією присвоюється більша вага, оскільки вони вказують на наявність більш структурованої системи, яка є більш організованою і менш випадковою, а тому може бути більш інформативною для оцінки якості води.

Нарешті, агрегація ваг ентропії та шкали оцінки якості в індекс ЕІЯВ виражається наступним чином:

$$EWQI = \sum_{j=1}^n W_j U_j, \quad (8)$$

де  $EWQI$  – ентропійнозважений індекс якості води;  $U_j$  для кожного параметра задається як відношення контрольованого значення  $j$ -го параметра ( $I_j$ ) до його стандартного значення ( $S_j$ ):

$$U_j = \left(\frac{I_j}{S_j}\right) \times 100. \quad (9)$$

Відповідно до шкали класифікації якості води, запропонованої [22], якість води визначається за п'ятьма класами: від «відмінна якість вода» до «надзвичайно погана якість вода». Стандарти класифікації наведені в таблиці 1.

В цілому, згідно ДСТУ 4808:2007 «Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання» якість води на досліджуваній ділянці ріки Дніпро відноситься за двома показниками (сухий залишок та хлориди) до 4 класу та характеризується як посередня, обмежено придатна, небажана якість води (табл. 2).

Таблиця 1

Шкала якості води [14]

EWQI	Клас	Якість води
<50	1	Відмінна якість води
50~100	2	Хороша якість води
100~150	3	Середня або середня якість води
150~200	4	Погана якість води
>200	5	Надзвичайно погана якість води

Для подальших розрахунків у якості нормативного значення було використано показники нижньої межі 3-го класу якості води за ДСТУ 4808:2007.

Звертають на себе увагу значна різниця між медіаною та середнім значенням для сухого залишку та хлоридів, високі концентрації яких характерні для одного із пунктів контролю.

Враховуючи, що на процеси, які формують екологічний стан води, має місце вплив температурного режиму, розрахунки ентропійного індексу якості води були проведені для теплого (квітень – жовтень) та холодного (дистопад – березень) періоду року. Результати розрахунку індексу якості води з ураху-

Таблиця 2

## Загальна екологічна характеристика якості води

Забруднююча речовина	Середнє	Медіана	Норматив	Клас якості за ДСТУ 4808:2007
Завислі речовини, мг/дм <sup>3</sup>	6,64	6,15	1501	1
Сухий залишок, мг/дм <sup>3</sup>	1007,03	311,00	651	4
Розчинений кисень, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	9,34	9,47	7	1
БСК 5, мгО/дм <sup>3</sup>	2,68	2,40	3,1	2
ХСК, мгО/дм <sup>3</sup>	30,54	29,75	31	3
Хлоридні іони, мг/дм <sup>3</sup>	308,75	37,79	101	4
Сульфатні іони, мг/дм <sup>3</sup>	180,48	49,95	121	3
Загальна жорсткість мг-екв/дм <sup>3</sup>	6,77	3,40	5,1	3
Азот амонійний, мг/дм <sup>3</sup>	0,23	0,23	0,31	2
Азот нітритний, мг/дм <sup>3</sup>	0,01	0,01	0,011	2
Азот нітратний, мг/дм <sup>3</sup>	0,38	0,29	0,51	2
Фосфатні іони, мг/дм <sup>3</sup>	0,18	0,16	0,051	3
Залізо загальне, мг/дм <sup>3</sup>	0,14	0,12	101	1
Марганець, мг/дм <sup>3</sup>	0,04	0,02	101	1
Нафтопро дукти, мг/дм <sup>3</sup>	0,04	0,04	51	1
Кольоровість, град.	10,75	10,99	81	1

ванням ентропійного вагового коефіцієнту наведені у табл. 3.

Згідно зі шкалою (табл. 2) у пункті спостережень п2 вода відноситься до 3-го класу – середня якість води, за іншими пунктами контролю – до 2-го класу – хороша якість води. Мінімальне значення EWQI для холодної пори 55,41 (п4), максимальне – 111,02 (п2). Мінімальне значення EWQI для теплої пори 72,76 (п4), максимальне – 104,50 (п2).

З наведеного графіку видно, що, в цілому, для теплої пори року ентропійний індекс якості води вищий, ніж холодної пори.

Найгірша якість води характерна для пункту контролю п2 (ID27577, р.Дніпро, 219 км, с. Придніпровське, КП «Дніпро» Придніпровської с/р), при чому, значення для холодної пори року EWQI=111,02 вищі, ніж для теплої – EWQI=104,50, що вказує на те, що забруднення не обумовлено біохімічними процесами, і може пояснюватися негативним екологічним впливом Новопавлівського гранітного кар'єру.

**Головні висновки.** В результаті застосування методики оцінки екологічного стану водойми на основі ентропійно-зваженого індексу якості води

Таблиця 3

## Результати розрахунку ентропійно зваженого індексу якості води (EWQI)

EWQI	п1	клас	п2	клас	п3	клас	п4	клас	п5	клас
Теплий період	75,04	2	104,50	3	79,82	2	72,76	2	78,66	2
Холодний період	61,38	2	111,02	3	60,84	2	55,41	2	62,16	2

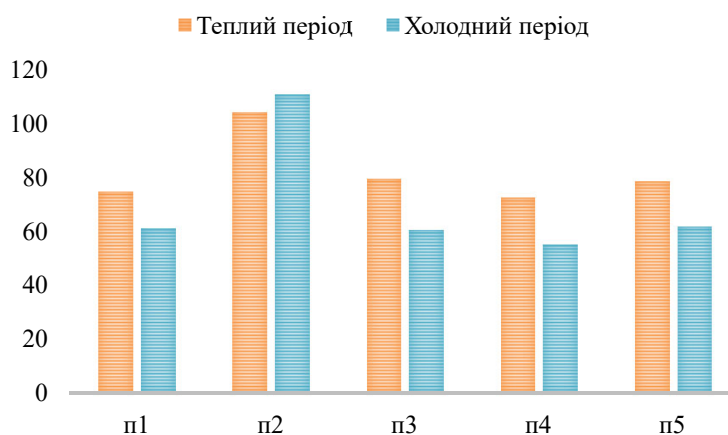


Рис. 1. Динаміка EWQI за пунктами контролю

ділянки р. Дніпро, що розташована на півдні Дніпропетровської області, встановлено, за значенням індексу якості у теплий та холодний періоди року відрізняється. Мінімальне значення EWQI для холодної пори 55,41 (п4), максимальне – 111,02 (п2). Мінімальне значення EWQI для теплої пори 72,76 (п4), максимальне – 104,50 (п2). Найгірша якість води характерна для пункту контролю п2 (ID27577, р. Дніпро, 219 км, с. Придніпровське, КП «Дніпро» Придніпровської с/р), при чому, значення для холодної пори року EWQI=111,02 вищі,

ніж для теплої – EWQI=104,50, що вказує на те, що забруднення не обумовлено біохімічними процесами, і може пояснюватися негативним екологічним впливом Новопавлівського гранітного кар'єру.

**Перспективи подальших досліджень.** На величину ентропійно зваженого індексу якості води впливає вибір нормативного значення, тому перспективними є дослідження з обґрунтування вибору величини нормативного значення для кожних конкретних умов.

### Література

1. Безсонний В.Л., Пляцук Л.Д., Третяков О. В. Засоби математичного прогнозування оцінки екологічного стан поверхневих водних об'єктів. *Екологічні науки : науково-практичний журнал*. 2022. № 5(44). С. 64–68. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.5-44.9>
2. Sutadian A.D., Muttill N., Yilmaz A.G., Perera B.J.C. Development of a water quality index for rivers in West Java Province, Indonesia. *Ecol Indic*. 2018. 85:966–982.
3. Sutadian A.D., Muttill N., Yilmaz A.G., Perera B.J.C. () Development of river water quality indices – a review. *Environ Monit Assess*. 2016. 188(1):58.
4. Ewaid S.H., Abed S.A. Water quality index for Al-Gharraf River, southern Iraq. *Egypt J Aquat Res*. 2017. 43(2):117–122.
5. Medeiros A.C., Faial K.R.F., Faial K.D.C.F., da Silva Lopes I.D., de Oliveira Lima M., Guimarães R.M., Mendonça N.M. Quality index of the surface water of Amazonian rivers in industrial areas in Pará, Brazil. *Mar Pollut Bull*. 2017. 123(1–2):156–164.
6. Yaseen Z.M., Ramal M.M., Diop L., Jaafar O., Demir V., Kisi O. Hybrid adaptive neuro-fuzzy models for water quality index estimation. *Water Resour Manage*. 2018. 32(7):2227–2245.
7. Simonyan G. Systemic-Entropic Approach for Assessing Water Quality of Rivers, Reservoirs, and Lakes. In A. Devlin, J. Pan, & M. M. Shah (Eds.), *Inland Waters – Dynamics and Ecology*. *IntechOpen*. 2020. <https://doi.org/10.5772/intechopen.93220>
8. Simonyan G., Pirumyan G. Entropy – System Approach to Assess the Ecological Status of Reservoirs in Armenia. Preprints, 2019. 2019010260. doi: 10.20944/preprints201901.0260.v1).
9. Безсонний В. Л., Третяков О. В., Пляцук Л. Д., Некос А. Н. Ентропійний підхід до оцінки екологічного стану водотоку. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2022. Вип. 28. С. 6–19.
10. Li P., Qian H., Wu J. Groundwater quality assessment based on improved water quality index in Pengyang County, Ningxia, Northwest China. *J Chem*. 2010. 7(S1):S209–S216.
11. Amiri V., Rezaei M., Sohrabi N. Groundwater quality assessment using entropy weighted water quality index (EWQI) in Lenjanat, Iran. *Environ Earth Sci* 2014. 72(9):3479–3490.
12. Ashby W. Introduction to cybernetics. 1959. М.: ІЛ. 432 p.
13. Shannon C. Works on information theory and cybernetics. 1963. М.: ІЛ. 830 p.
14. Wu J., Li P., Qian H. Groundwater quality in Jingyuan County, a semi-humid area in Northwest China. *J Chem*. 2011. 8(2):787–793.



## ГІДРОЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ДІЛЯНКИ Р. САМАРА ПОБЛИЗУ С. ВЕРБКИ ПАВЛОГРАДСЬКОГО РАЙОНУ ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Маренков О.М., Барановський Б.О., Курченко В.О., Гудим Н.Г., Голуб І.В., Дрегваль І.В.  
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара  
пр. Гагаріна, 72, 49050, м. Дніпро  
[gidrobions@gmail.com](mailto:gidrobions@gmail.com)

У роботі представлено результати гідробіологічних та іхтіологічних досліджень р. Самара поблизу с. Вербки Павлоградського району Дніпропетровської області. У ході досліджень виявлено, що прибережна рослинність р. Самари на дослідженій ділянці складається основним чином з водних, лучних-болотних, лучних ділянок рослинності та невеликих за площею штучних лісових насаджень. Флора досліджуваної ділянки заплави (прибережна смуга) та русла Самари нараховує 134 видів судинних рослин. При дослідженні фітопланктону виявлено, що фітопланктон р. Самари на ділянці розчистки був представлений водоростями з 7 систематичних груп. Найбільше різноманіття фітопланктону відмічено у групі діатомових. У кількісному відношенні як за чисельністю, так і за біомасою також домінували діатомові водорості. Зоопланктон ділянки розчистки складався з організмів, які відносяться до 3 систематичних груп. За чисельністю у складі зоопланктону переважали коловертки. Видовий склад зообентосу і зоофітосу (фауни заростей) свідчить про помірне забруднення досліджуваної ділянки р. Самари. Чисельність організмів бентофауни незначна. Основу біомаси бентосних безхребетних склали головним чином олігохети, молюски та личинки двокрилих комах. На більшості акваторії вона в середньому дорівнює 1,3 г/м<sup>2</sup>. Видовий склад іхтіофауни ділянки р. Самара нараховував 33 види риб, які відносилися до 12 родин. Відмічається збільшення чисельності сонячного окуня. Характеристика угруповань гідробіонтів дослідженої ділянки в цілому свідчить про незадовільний екологічний стан, тому, що ріка Самара знаходиться в умовах частково зарегульованого стоку. Дана ділянка зазнає певного антропогенного впливу розташованого на берегах населеного пункту. З метою покращення гідроекологічного стану досліджуваних ділянок річки Самара рекомендується проводити щорічне вселення риб. *Ключові слова:* р. Самара, фітопланктон, зоопланктон, іхтіофауна, біомеліорація.

**Hydro-ecological assessment of the area of the Samara river near the village of Willows of the Pavlograd district of the Dnipropetrovsk region. Marenkov O., Baranovski B., Kurchenko V., Gudym N., Holub I., Dregval I.**

The paper presents the results of hydrobiological and ichthyological studies of the Samara River near the village of Verbky of Pavlohrad District, Dnipropetrovsk Region. During the research, it was found that the vegetation of the Samara River and the coasts of the researched area consists mainly of water, meadow-swamp, meadow areas of vegetation, and small artificial forest plantations. The flora of the researched area of the floodplain (coastal strip) and the channel of the Samara River includes 134 species of vascular plants. When the phytoplankton was examined, it was found that the phytoplankton of the Samara River in the clearing area was represented by algae from 7 systematic groups. The greatest diversity of phytoplankton was noted in the group of diatoms. Diatoms also dominated quantitatively both in terms of number and biomass. The zooplankton of the clearing area consisted of organisms belonging to 3 systematic groups. Rotifers predominated in zooplankton. The species composition of zoobenthos and zoophytes (thicket fauna) indicates moderate pollution in the researched area of the Samara river. The number of benthofauna organisms is insignificant. The basis of the biomass of benthic invertebrates was mainly oligochaetes, mollusks, and larvae of dipterous insects. In most water areas, it is on average equal to 1.3 g/m<sup>2</sup>. The species composition of the ichthyofauna in the Samara River included 33 species of fish belonging to 12 families. There is an increase in the number of Sunfish, which are often caught by amateur fishermen. The characteristics of the hydrobiont communities of the studied area as a whole indicate an unsatisfactory ecological condition, because the Samara River is in conditions of partially regulated flow: a large number of ponds and reservoirs prevent spring washing of the channel, in which silt accumulation is progressing, and this area is subject to certain anthropogenic influence located on the banks' settlement. In order to improve the hydro-ecological condition of the studied sections of the Samara River, it is recommended to carry out annual stocking of fish. *Key words:* Samara river, phytoplankton, zooplankton, ichthyofauna, biomelioration.

**Постановка проблеми.** Загальною особливістю річок Степу України є сильний антропогенний вплив на їх гідрологічний, гідрохімічний режими та гідробіологічний стан: вирубка деревної рослинності прибережних ділянок, оранка водозборів та територій річкових долин, внесення добрив та отрутохімікатів [1].

Потрапляння надлишкової кількості різних забруднюючих речовин в басейни малих річок Придніпров'я зумовлено, насамперед, господарською діяльністю. Це в свою чергу впливає на змен-

шення біорізноманіття, зниження стійкості екосистем та їх деградацію, заболочення заплави і русел, втрату водності річок [2].

Найважливіше із завдань сучасності є забезпечення екозбалансованого розвитку річок рибогосподарського та рекреаційного призначення та їх водозбірних басейнів [3].

Серед долинних комплексів Степового Придніпров'я, долина середньої та нижньої течії річки Самари відрізняється найбільшим різноманіттям ландшафтів рослинного та тваринного світу.

Однак, багаторічний антропогенний вплив призвів до значної трансформації акваторіальних комплексів річок степової зони України і, в тому числі і р. Самари [4].

Функціонування водних екосистем, а особливо – невеликих поверхневих водойм, залежить від характеру водозбору і в першу чергу від рослинного покриву. У природних умовах в басейні Самари були скрізь розповсюджені ліси [5]. Таким чином, водойми знаходились в оточенні лісової рослинності, яка знижувала рівень випаровування та перешкоджала заростанню прибережних мілководних зон річок, завдяки затіненню поверхні і розвитку повітряно-водної рослинності.

Річка Самара, як типова степова, знаходиться в умовах часткового зарегульованого стоку. В останні десятиріччя цей процес підсилюється внаслідок глобального потепління.

**Актуальність дослідження.** Екологічна оцінка систематичних спостережень за гідрохімічним станом басейну річки Самари свідчить про техногенні забруднення від підприємств гірничо-металургійної галузі, які потребують термінового впровадження зворотних циклів повторного використання води [6].

Урбанізованість території та велика кількість екологічно небезпечних підприємств призводять до загострення проблеми [7]. Вздовж течії р. Самари підприємства щорічно скидають значну кількість зворотних вод незадовільної якості (забрудненні). До найбільш забруднюючих підприємств відносять філію ПРАВОКС ПРАТ «ДТЕК Павлоградвугілля», загальний скид неочищених та стічних вод складає 15583,5 тис. м<sup>3</sup>/рік, а також КП «Павлоградводоканал» (м. Павлоград) – за вмістом завислих речовин, азоту амонійного, БСК5, нафтопродуктів [8].

Поверхневі води р. Самара, у районі розповсюдження шахтних стоків біля с. Вербки характеризуються високою мінералізацією та жорсткістю. З цього випливає, що за цими показниками вода р. Самари непридатна як для культурно-побутового, рибогосподарського та рекреаційного використання [9]. Наявність додаткових речовин та погіршення хімічних показників говорить про збільшення антропогенного навантаження на р. Самара кожного року [10].

Також у воді зафіксовані досить високі показники нітратів, нітритів та фосфатів. Джерелом надходження нітратів та нітритів є стоки з сільсько-господарських полів, оброблених нітратними добривами та комунальні скиди зворотних вод з очисних споруд без належного очищення. Головним джерелом потрапляння фосфатів, які викликають швидкий ріст водоростей (особливо синьо-зелених), що приводить до порушення у гідроекосистемах є господарсько-побутові, промислові стічні води, а також сільськогосподарська діяльність [11].

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Для від-

новлення річкових екосистем та раціонального водокористування, потрібно розпочати оздоровлювати екосистеми малих річок [12].

Оздоровлення зон відтворення риб проводять шляхом відновлення водності річки за рахунок проведення гідромеханізованих робіт, створення штучних нерестовищ у прибережних ділянках річок, де простежується дефіцит мілководь та заток. Використовують комплекс біомеліоративних робіт, які включають у собі: вилучення водної рослинності, зариблення рибами-біомеліораторами [13, 14].

При наявності зарибку аборигенних видів риб рекомендується проводити зариблення наступними видами: щука, судак, сом та ін. (обсяги визначаються відповідними обґрунтуваннями). Охорона та оптимізація природних нерестовищ в період весняної заборони (за узгодженням з територіальними органами рибоохорони). Через домінування карася сріблястого та поширення сонячного окуня рекомендується проводити цілеспрямований його вилов рибалками-любителями у місцях їх масового скупчення, оскільки вони виступають конкурентами аборигенних видів риб (сазан, лящ) [15].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз літератури вітчизняних та зарубіжних дослідників показує, що техногенні забруднення від підприємств гірничо-металургійної галузі та часткове зарегульованого стоку має негативний вплив на фізіологічний стан гідробіонтів. Деградація видового різноманіття спостерігається переважно у місцях надходження промислових і комунально-побутових стічних вод р. Самари. За останні роки зі складу зообентосу зникли чутливі групи до забруднення (волохокрильці, личинки одноденок) [16].

Для збереження екологічного балансу у водних екосистемах потрібне впровадження спеціалізованих заходів [17]. Біологічна меліорація поліпшує рекреаційний стан та підвищує біопродуктивність водойми, а також мінімізує вплив забруднюючих речовин. Для попередження та мінімізації явищ евтрофікації існують заходи щодо інтенсифікації процесів самоочищення водних об'єктів із використанням спрямованого формування біоценозів. Альголізація широко застосовується в меліорації водних об'єктів. Найчастіше застосовуються методи засновані на використанні окремих видів риб [18]. Для зменшення негативного впливу «цвітіння» води на гідроекосистему та рибні господарства застосовують види риб-меліораторів (білий товстолобик, білий амур) [19].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Основним результатом прогресуючих процесів антропогенно-кліматичної трансформації є занесення, замулення і заростання річок та їх поступове заболочування.

На забруднених ділянках річки, у порівнянні з умовно чистими, знижується рівень видового

різноманіття гідробіонтів. Внаслідок забруднення шахтними водами та стоками підприємств змінюється гідрохімічний склад води.

Перелічені негативні наслідки антропогенної трансформації річки потребують негайних заходів, щодо відновлення гідрології та нормального функціонування угруповань гідробіонтів. Основним і першим з цих заходів є розчистка русла річки гідромеханічним методом із дотриманням рекомендацій по мінімізації впливу на її екосистему в процесі реалізації даної роботи. Найбільш заощадливим заходом в екологічному і економічному аспекті є застосування біологічної меліорації, яка є однією із дієвих засобів боротьби з негативними наслідками надлишкової продукції різних груп гідробіонтів.

**Новизна.** Проведено комплексні гідробіологічні та іхтіологічні дослідження р. Самара поблизу с. Вербки Павлоградського району Дніпропетровської області. Надано сучасну характеристику рослинних угруповань та гідробіонтів дослідженої ділянки, проаналізовано видовий та кількісний склад дослідних об'єктів.

**Методика дослідження.** При вивченні водної та прибережної рослинності використовували стандартні методики гідроботанічних досліджень [20]. Основним методом вивчення структури та розподілу угруповань макрофітів був метод профілів.

Визначення видів флори судинних рослин проводили за [21, 22] з використанням мікроскопів "Citoval" та МБС-9. Назви рослин наведені згідно сучасної ботанічної номенклатури [23]. Біолого-екологічний аналіз флори проведений на основі системи екоморф А.Л. Бельгарда [24].

При гідробіологічних дослідженнях як основне літературне джерело використовували [25].

Якісні і кількісні проби зоопланктону відбирали шляхом зачерпування відром 50–100 л води з поверхневого шару і наступним фільтруванням її через планктонну сітку Апштейна з газу № 67. Концентрат із сітки переносили в ємності і фіксували на місці 40% нейтральним формаліном.

При камеральній обробці якісний зоопланктон вивчався під мікроскопами МБІ-1 і МБС-2. Кількісні проби доводили до певного об'єму і досліджували методом підрахунків у модифікованій камері Богорова. Відносно «бідні» проби проглядали цілком, у «багатих» масові види рахували в частині проби з подальшим перерахунком на весь об'єм.

Для визначення біомаси окремих представників використовували таблиці індивідуальних мас.

Видову ідентифікацію зоопланктону проводили з використанням визначників [26, 27, 28, 29, 30]. Якісні проби фітофілних безхребетних відбирали гідробіологічним сачком (люмбек) серед заростей вищої водної рослинності.

Для добору кількісних проб бентосу використовували дночерпак моделі Екмана-Берджа площею 1/40 м<sup>2</sup>. Проби відбирали двічі, вміст зливали

у ємність, з якої послідовно відмивали організми від ґрунту, переносили їх у лабораторний посуд і відразу ж фіксували 40% формаліном.

Подальшу якісну і кількісну обробку проб виконували в лабораторії. Чисельність визначали прямим підрахунком організмів, біомасу – прямим зважуванням окремих груп на аналітичних вагах.

Визначення видової належності виконували по визначниках [26, 31, 32, 33]. Відбір гідрохімічних, гідробіологічних та іхтіологічних проб проводили протягом вегетаційного періоду під час експедиційних виїздів, контрольних, науково-дослідних малькових ловів на дослідних ділянках р. Самара поблизу с. Вербки Павлоградського району Дніпропетровської області.

Молодь риб відловлювали в першій декаді серпня на мілководдях за контрольними точками – вище та нижче мосту через р. Самару. Знаряддями лову була малькова тканка – волокуша завдовжки 10 м. Відібрані проби фіксували 4%-ним розчином формаліну. Біологічний аналіз риб проводили згідно класичних методик в іхтіології [34, 35] за такими показниками: стандартна та абсолютна довжина тіла, індивідуальна маса, стать і стадія зрілості, маса статевих продуктів, відносна та абсолютна плодючість, коефіцієнт вгодованості. Вік риби визначали за стандартними іхтіологічними методиками В.Л. Брюзгіна [36] та І.І. Чугунової [37].

Статистичну обробку матеріалу проводили за допомогою комп'ютерної програми STATISTICA 6.0.

**Виклад основного матеріалу.** Відповідно до геоботанічного районування [38] досліджувана територія належить до Лозівського геоботанічного району Павлоградського округу різнотравно-типчачово-ковилиових степів, байрачних дубових лісів, заплавної лук і лучно-галофільної рослинності на лесових терасах Приазовсько-Чорноморської степової підпровінції Понтичної степової провінції Європейсько-Азіатської степової області.

Природна рослинність території, до якої відноситься досліджувана ділянка збереглась лише частково. Прибережна рослинність на дослідженій ділянці складається основним чином з водних, лучних-болотних, лучних ділянок рослинності та невеликих за площею штучних лісових насаджень.

Флора досліджуваної ділянки заплави (прибережна смуга) та русла Самари нараховує 134 видів судинних рослин. У порівнянні з іншими ділянками Самари флора ділянки не відрізняється великим різноманіттям.

Це можна пояснити значним багаторічним антропогенним пресом, тому, що ріка Самара знаходиться в трансформованому стані, а досліджена ділянка розташована в межах населеного пункту.

Серед гігоморф у складі флори переважають мезофіти. У складі флори багато бур'янистих видів (рудерантів), які переважають серед ценоморф. З них 36 видів адвентивних. На території та

акваторії не зареєстровано рідкісних та зникаючих видів рослин.

Рослинність мілководь представлена в основному групами асоціацій зануреної і повітряно-водної рослинності. Ценозів рослин з плаваючим листям тут не виявлено. Характер заростання відповідає подібним до водойм регіону і полягає в зональному розподілу угруповань, що складається з поясів рослинності.

На ділянці русла р. Самари розповсюджені асоціації повітряно-водної рослинності за такою схемою (табл. 1).

До їх складу входять: мітлиця повзуча (*Agrostis stolonifera*), вовконіг європейський (*Lycopus europaeus*), м'ята водяна (*Mentha aquatica*), плетуха звичайна (*Calystegia sepium*), омег водяний (*Oenantae aquatica*), паслін солодко-гіркий (*Solanum dulcamara*), вех широколистий (*Sium latifolium*).

Друга зона представлена асоціаціями зануреної водної рослинності: куширу темно-зеленого та підводного (*Ceratophyllum demersum, submersum*), рдеснику гребінчастого (*Potamogeton pectinatus*), рдеснику кучерявого (*Potamogeton crispus*).

У їх складі присутні ряска триборозенчаста (*Lemna trisulca*) та іноді ряска мала (*Lemna minor*) та жабурник (*Hydrocharis morsus-ranae*).

Рослинність території заплави представлена в основному лучно-болотною та лучною рослинністю, а також фрагментарно солончаковими угрупованнями.

Мезофільно-лучна рослинність в основному представлена угрупованнями злаків, серед яких домінують: пирій повзучий (*Elytrigia repens*), костриця лучна (*Festuca pratensis*), костриця валіська (*Festuca valesiaca*), конюшина повзуча (*Trifolium repens*), подорожник великий (*Plantago major*), осока розсунута (*Carex distans*). У їх складі кульбаба лікарська (*Taraxacum officinale*), шавель

кінський (*Rumex confertus*), герань пагорбкова (*Geranium collinum*) та ін.

Гігрофільно-лучна (лучно-болотна) рослинність представлена угрупованнями мітлиці повзучої (*Agrostis stolonifera*), бульбокомишу морського (*Bolboschoenus maritimus*) з такими гігрофільними видами: жовтець повзучий (*Ranunculus repens*), шавель кучерявий (*Rumex crispus*), вовконіг європейський (*Lycopus europaeus*), китник лучний (*Alopecurus pratensis*), осока лисяча (*Carex vulpina*), ситник Жерара (*Juncus gerardi*), алтей лікарський (*Althea officinalis*) перстач гусячий (*Potentilla anserina*) та інші.

Галофітно-лучна рослинність представлена асоціаціями подорожнику Корнута (*Plantago cornuti*) з ситником Жерара (*Juncus gerardi*), покісниці розставленої (*Puccinella distans*), тризубець морський (*Triglochin maritima*), солончакова айстра звичайна (*Tripolium vulgare*).

На найбільш антропогенно навантажених ділянках до складу рослинних комплексів входить багато бур'янистих видів таких як нетреба звичайна (*Xanthium strumarium*), амброзія полинолиста (*Ambrosia artemisifolia*), будяк (*Carduus acanthoides*), осот звичайний (*Cirsium vulgare*) тощо та ін.

По берегах водозахисні штучні насадження в основному із в'язів та білої акації під пологом яких зберігається бур'яниста та бур'янисто-лучна трав'яниста рослинність.

При дослідженні фітопланктону виявлено, що фітопланктон р. Самари на ділянці розчистки був представлений водоростями з 7 систематичних груп (табл. 2).

Найбільше різноманіття фітопланктону відмічено у групі діатомових (12 видів), інші групи були представлені 1–2 видами. У кількісному відношенні як за чисельністю, так і за біомасою також домінували діатомові.

Мінімальними кількісними показниками характеризувався вольвоксові, золотисті та пірофітові водорості. Загальна кількість видів на акваторії біля мосту грохи вища. В якісному відношенні фітопланктон двох станцій відбору проб дослідженої ділянки майже не відрізнявся. У цілому його можна охарактеризувати як діатомовий. За даними попередніх досліджень цієї ділянки в літній період у фітопланктоні домінують евгленові, пірофітові, протококові і синьо-зелені, що спричиняє забруднення води.

Зоопланктон ділянки розчистки складався з організмів, які відносяться до 3 систематичних груп (табл. 3).

За чисельністю в складі зоопланктону переважали коловертки. Домінуючими організмами були гіллястовусі ракоподібні (*Moina rectirostris* Leudig, *Chydorus sphaericus*). Біомаса зоопланктону на ділянці вище мосту дещо вища. Біомаса зоопланктону в середньому на ділянці розчистки складала 0,372 г/м<sup>3</sup>. У цілому склад планктону даної ділянки

Таблиця 1

## Характеристика розподілу рослинності русла

Асоціації рослинності	Тип розподілу
<b>Занурена рослинність</b> (Aquiherbosa immersa)	
1. <i>Potamogeton pectinatus</i> Рдеснику гребінчастого	розріджено-групове
2. Рдеснику кучерявого <i>Potamogeton crispus</i>	розріджено-групове
3. <i>Ceratophyllum demersum</i> Кушира зануреного	розріджено-групове
<b>Повітряно-водяна рослинність</b> (Aquiherbosa amphibia)	
4. <i>Phragmites australis</i> Очерету південного	переривчасто-поясне
5. <i>Scirpus lacustris</i> Комишу озерного	розріджено-переривчасто-поясне
6. <i>Bolboschoenus maritimus</i> Бульбокомишу морського	розріджено-переривчасто-поясне

Таблиця 2

## Якісний і кількісний розвиток фітопланктону

Показники Групи	Біля мосту			1 км вище мосту		
	Кількість видів	чисельність у тис. клітин/л	біомаса у мг/л	Кількість видів	чисельність у тис. клітин/л	біомаса у мг/л
Золотисті	1	120	1,08	1	60	0,59
Пірофітові	2	140	6,20	2	105	4,65
Евгленові	2	140	2,50	1	160	1,77
Вольвоксові	1	80	2,16	1	300	1,08
Протококові	2	160	0,32	4	200	3,20
Діатомові	12	3780	14,84	9	380	1,81
Нитчасті	2	370	2,59	1	250	1,47
Усього:	22	4790	2969	19	1455	14,57

Таблиця 3

## Якісний і кількісний розвиток зоопланктону

Показники Групи	Біля мосту			1 км вище мосту		
	Кількість видів	чисельність у тис. клітин/л	біомаса у мг/л	Кількість видів	чисельність у тис. клітин/л	біомаса у мг/л
Коловертки	8	24	0,240	6	13	0,131
Гіллястовусі ракоподібні	4	6	0,174	3	5	0,159
Веслоногі ракоподібні	1	6	0,030	1	3	0,015
Усього	13	36	0,443	10	21	0,305

свідчить про наявність антропогенного забруднення в наслідок зміни гідрологічного режиму. Відновлення основного складу планктону і біомаси кормових організмів на ділянці розчистки відбувається на протязі одного року. Рідкісних видів в складі зоопланктону не виявлено.

Бентофауна частини річки Самари (Терновка-гірло Вовчої), до якої відноситься ділянка розчистки, різноманітна, представлена майже всіма систематичними групами (16) і нараховує 73 види.

Видовий склад бентофауни ділянки розчистки (2 км нижче моста у с. Вербки менш різноманітний, представлений 18 видами з 8 систематичних груп. Він в основному складається із пелофільних (мешканців мулистих ґрунтів) та фітофільних (мешканців угруповань макрофітів) безхребетних, з домінуванням личинок хірономід (*Chironomus plumosus*, *Psectrocladius psilopterus*), олігохет (*Tubifex tubifex*) – показники органічного забруднення. Це вказує на досить жорсткі умови існування і значне мінеральне й органічне забруднення (це особливо підтверджує наявність тубіфіцид (*Tubifex tubifex*) і круглих червів (Nematoda).

Видовий склад зообентосу і зоофітосу (фауни заростей) свідчить про помірне забруднення досліджуваної ділянки р. Самари.

Чисельність організмів бентофауни незначна. Основу біомаси бентосних безхребетних склали головним чином олігохети, молюски та личинки двокрилих комах. На більшості акваторії вона в середньому дорівнює 1,3 г/м<sup>2</sup>.

Відновлення основного складу бентофауни і біомаси кормових організмів на ділянці розчистки відбувається на протязі 2–3 років.

Днопоглиблювальні роботи сприяють відновленню природної гідрології ділянки, у наслідок чого покращується кисневий режим, що призводить до збагачення біорізноманіття гідробіонтів.

Видовий склад іхтіофауни ділянки р. Самара нараховував 33 види риб, які відносилися до 12 родин: родина міногових – 1 вид, родина оселедцевих – 1 вид, родина коропових – 14 видів, родина в'юнових – 1 вид, родина сомових – 1 вид, родина щукових – 1 вид, родина миневих – 1 вид, родина колючкових – 2 види, родина голкових – 1 вид, родина центрархових – 1 вид, родина окуневих – 4 види, родина бичкових – 5 видів.

**Плітка *Rutilus rutilus* (L.).** Середньостатична довжина особин плітки становила у самиць 20,12±0,24 см, у самців – 18,12±0,16 см. Маса риб коливалася в межах від 65 г до 240 г, середньостатистична маса – 186,1±12,3 г. Вік особин плітки коливався в межах від 2 до 8 років, в середньому – 4–6 років. Коефіцієнт вгодованості за Фультоном складав 1,5±0,13 та жирність 3–4 бали.

**Лящ *Abramis brama* (L.).** Максимальний вік в уловах становив 6 років як у самок, так і у самців. Кількість вікових класів знаходилась на рівні – 5. Ядром популяції ляща були особини віком від 3 до 5 років. Довжина ляща за даними уловів коливалася в межах від 24,3 до 28,7 см; показники маси знаходилися в межах від 250 до 860 г, середня

маса –  $440 \pm 24,2$  г. Середньовікові значення коефіцієнту вгодованості за Фультоном трималися на рівні 2,2–2,9 одиниць.

**Судак *Sander lucioperca* L.** Віковий ряд судака в контрольних уловах був досить обмежений і нараховував лише 5 класів (2–6-річки). Ядро популяції складалося з 3–5-річних особин. Довжина судака становила: у самок –  $35,13 \pm 4,45$  см (25–55 см), у самців –  $30,18 \pm 2,18$  см (27–40 см); маса особин судака коливалася в межах від 375,0 до 972,0 г, в середньому  $590,0 \pm 48,1$  г. Коефіцієнт вгодованості за Фультоном був на рівні  $1,6 \pm 0,12$ .

**Плоскирка *Blicca bjoerkna* L.** В уловах плоскирка була представлена 4-ма промисловими групами – від 3 (18,6%) до 6 (6,4%) років. Середні лінійно-вагові показники дорівнювали: довжина –  $18,8 \pm 0,43$  см, маса –  $156,0 \pm 11,14$  г.

**Карась сріблястий *Carassius auratus gibelio* (Bloch, 1782).** Карась – досить еврибіонтний вид і, на відміну від багатьох інших видів риб, добре пристосувався до напружених гідроекологічних умов водойм Дніпропетровської області. Вікова структура популяції карася нараховувала у самок 7 класів (від 3-х до 9 років), у самців – 8 класів (від 2-х до 9 років). Основу вилову складала особини 4-и річного віку.

Показники лінійного росту карася коливались від 14 до 29,4 см. Показники маси карася складала від 75 г до 420 г – середньостатистична маса особин –  $275,0 \pm 13,6$  г. Середні значення коефіцієнту вгодованості карася становили  $3,1 \pm 0,23$ .

**Короп (сазан) *Cyprinus carpio carpio* (L.).** Віковий ряд коропа представлений 8 класами (2–9-річки). Ядром популяції коропа були 4–6-річки.

Довжина особин коливалася в межах від 17,0 (у 2-х-літок) до 45,1 см (у 9-и-літок). Маса коропа знаходилася в межах від 280 г до 1800 г, в середньому –  $690,0 \pm 21,2$  г. В поодиноких випадках зустрічалися особини віком 9 років та вагою до 2,4 кг. Коефіцієнт вгодованості за Фультоном –  $2,2 \pm 0,22$ . Співвідношення самців та самок складало 52% та 48% відповідно.

**Окунь *Perca fluviatilis* L.** В уловах домінували особини 3–8-річного віку. Середньостатистичні показники довжини окуня становили  $20,22 \pm 1,43$  см, маси –  $212,0 \pm 13,24$  г, віку – 5 років. Відношення самців та самок у стаді складало як 1:1.

**Краснопірка *Scardinius erythrophthalmus* L.** На дослідних ділянках краснопірка досить поширений вид, який освоюється рибалками-аматорами. Середні лінійно-вагові показники дорівнювали: довжина –  $19,4 \pm 1,24$  см, маса –  $180,0 \pm 21,4$  г. Співвідношення самців та самок у стаді визначається як 1:1.

**Щука *Esox lucius* L.** Цінний біомеліоратор – хижак. Перевагу віддає водотокам з уповільненою течією. Досить швидко росте, особливо у перші роки життя до настання статевої зрілості. На дослідній ділянці цьогорічки досягають маси 100 г, дворічки – до 450 г, трирічки – до 1200 г. У басейні річки Самара

Павлоградського району Дніпропетровської області найбільш поширені особини вагою від 560 до 2500 г. Середня маса особин –  $1400 \pm 180,2$  г.

**Золотий карась *Carassius carassius* (L.).** Відноситься до переліку риб Червоної книги України, іноді зустрічається в уловах рибалок-аматорів. Середні лінійно-вагові показники дорівнювали: довжина –  $14,2 \pm 1,21$  см, маса –  $120,0 \pm 21,21$  г. Співвідношення самців та самок у стаді визначається як 1:1. Виловлених риб досліджували без вилучення з водного середовища і живими відпускали.

**Линь *Tinca tinca* (L.).** Вид, який часто зустрічається в уловах рибалок-аматорів поблизу заростей очерету та рдесту. Середньостатистичні показники довжини окуня становили  $22,12 \pm 1,12$  см, маси –  $250,0 \pm 18,12$  г, віку – 5 років.

**Сонячний окунь *Lepomis gibbosus* (L.).** Відмічається збільшення чисельності сонячного окуня, який часто ловиться рибалками-аматорами. Якщо у 2014 році відмічалось поодинокі випадки вилову сонячного окуня на акваторії річки Самара, то у 2020–2021 рр. знайдені локальні ареали існування сонячного окуня, при цьому чисельність цьоголіток даного виду сягнула  $1,5$  екз./100 м<sup>2</sup>.

Середня довжина особин сонячного окуня становила  $14,6 \pm 1,8$  см. У досліджуваних точках зустрічалися особини масою від 25 до 55 г. Середня маса особин складала  $48,6 \pm 5,28$  г.

На сьогоднішній день досить важко прогнозувати чисельність сонячного окуня в малих річках, але судячи з того, що даний вид добре пристосувався до умов навколишнього середовища регіону та з великою швидкістю освоює річки Дніпропетровської області, то його чисельність підвищується. Даний вид не має промислового значення та виступає потенційним конкурентом аборигенних видів, тому його вилучення бажано здійснювати в необмеженій кількості та не враховувати до добового улову рибалки.

**Тюлька, верховодка, вівсьянка, гірчак, чебачок амурський.** Дані види риб є планктофагами, які виступають харчовими конкурентами малькам риб. Основу популяції тюльки та верховодки складала 1–2-річки. Середньовиважена маса тюльки дорівнювала 1,6 г, довжина – 4,5 см, запаси жиру становили 1–2 бали. За даними фізіологічних показників коефіцієнт вгодованості тюльки становив  $1,19 \pm 0,05$ . Середньовиважена маса гірчака, який відноситься до видів, що охороняються Бернською конвенцією, дорівнювала 1,8 г, довжина – 3,9 см. Середньовиважена маса чебачка амурського, який відноситься до видів-вселенців, дорівнювала 1,6 г, довжина – 4,8 см.

**Раки.** На дослідній ділянці зустрічалися річкові раки, як статевозрілі, так і молоді. У середньому довжина вилучених раків коливалася в межах від 8,5 см до 14,8 см. Промислова довжина раків складала  $11,8 \pm 1,5$  см.

**Головні висновки.** Природна рослинність території, до якої відноситься досліджувана ділянка, збереглась лише частково. Прибережна рослинність складається основним чином з водних, болотних, лучних ділянок рослинності та невеликих за площею чагарникових та штучних деревних насаджень. На дослідній ділянці не зареєстровано рідкісних та зникаючих видів рослин. Рослинність території заплави представлена в основному лучно-болотною та лучною рослинністю, а також фрагментарно бур'янисто-солончаковими угрупованнями. Рослинність мілководь представлена групами асоціацій повітряно-водяної рослинності і всього 3 асоціаціями зануреної рослинності, що свідчить про несприятливі гідрологічні умови для суто водних рослин – малі глибини та надлишок органічних речовин. Флороценотична характеристика макрофітної рослинності в цілому репрезентує незадовільний екологічний стан ділянки річки Самари. Видовий склад фітопланктону не відрізняється від типового для малих річок степової зони України і свідчить про помірне органічне забруднення. Він представлений водоростями з 7 систематичних груп. У цілому його можна охарактеризувати як діатомовий. За даними попередніх досліджень цієї ділянки в літній період у фітопланктоні домінують евгленові, пірофітові, протококові і синьо-зелені, що спричиняє забруднення води. Зоопланктон ділянки розчистки складається з організмів, які відносяться до 3 систематичних груп. Біомаса зоопланктону в середньому на ділянці розчистки складала 0,372 г/м<sup>3</sup>. У цілому склад планктону даної ділянки свідчить про наявність антропогенного забруднення в наслідок зміни гідрологічного режиму. Рідкісних видів в складі зоопланктону не виявлено. Видовий склад бентофауни ділянки розчистки (2 км нижче моста у с. Вербки менш різноманітний, представлений 18 видами з 8 систематичних груп. Він в основному складається із пелофільних (мешканців мули-

стих ґрунтів) та фітофільних (мешканців угруповань макрофітів) безхребетних, з домінуванням личинок хірономід (*Chironomus plumosus*, *Psectrocladius psilopterus*), олігохет (*Tubifex tubifex*) – показники органічного забруднення. Це вказує на досить жорсткі умови існування і значне мінеральне й органічне забруднення. На більшості акваторії біомаса бентосних безхребетних у середньому дорівнює 1,3 г/м<sup>2</sup>. Рідкісних видів у складі планктону і бентосу не виявлено. Характеристика угруповань гідробіонтів дослідженої ділянки в цілому свідчить про незадовільний екологічний стан, тому, що ріка Самара знаходиться в умовах частково зарегульованого стоку, дана ділянка зазнає певного антропогенного впливу розташованого на берегах населеного пункту.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Як свідчать наші дослідження, у річці Самара утворилися певні резерви кормової бази, які дозволяють проводити чисельне зариблення молоддю риб. При цьому важливим аспектом даних робіт є використання посадкового матеріалу оптимальної наважки, від чого будуть залежати такі важливі показники, як виживання та промповернення. Досвід штучного відтворення іхтіофауни на внутрішніх водоймах свідчить, що оптимальною віковою групою для посадкового матеріалу є річники та дволітки наважкою не менш 100 г. Відтворювальний потенціал аборигенних риб малих річок реалізується не в повному обсязі, що обумовлено деградацією природних нерестовищ, їх низькою ефективністю. Окрім оздоровлення зон відтворення риб шляхом відновлення водності за рахунок проведення гідромеханізованих робіт найбільш ефективним є створення штучних нерестовищ у прибережних ділянках річок, де простежується дефіцит мілководь та заток (особливо в місцях масового нересту риб). З метою покращення гідроекологічного стану досліджуваних ділянок річки Самара та підвищення біопродуктивності та біорізноманіття рекомендується проводити щорічне вселення риб.

### Література

1. Барановський, Б.А., Дем'янов В.В., Гринюк В.И. Современное состояние малых рек степной зоны Украины. *Екологія кризових регіонів України*: матеріали міжнар. конф. (Дніпро, 2001). Дніпро, 2001. С. 109.
2. Богиня О.С. Аналіз екологічних проблем малих річок середнього Придніпров'я. *Актуальні проблеми гуманітарних та природничих наук*: матеріали IV міжнар. наук.-практ. конф. (м. Одеса, 25–26 серпня 2017 р.). Одеса, 2017. С. 31–34.
3. Закон України «Про затвердження Загальнодержавної цільової програми розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро на період до 2021 року». *Відомості Верховної ради України (ВВР)*: 2012. № 4836-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4836-17#Text>
4. Kochet V. M. Species composition of fish fauna in the Samara River at the current stage of fish community development / *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, ecology*. 2006. № 14(1). P. 90–95.
5. Генсирук С. А. Леса Украины. М.: Лесная промышленность, 1975. 280 с.
6. Харитонов М.М., Анісімова Л.Б. Екологічна оцінка якості поверхневих вод басейну річки Дніпро у Дніпропетровській області / *Екологія і природокористування*. 2013. № 17. С. 1–12.
7. Екологічний паспорт Дніпропетровської області за 2021 р. URL: <https://adm.dp.gov.ua/storage/app/media/Pro%20oblasti%20Ekolohiia%20dopovid%20ta%20Ekolohichniy%20pasport/2021.pdf>
8. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Дніпропетровській області у 2021 році. Департамент екології та природних ресурсів Дніпропетровської ОДА. Дніпро, 2022. 304 с.
9. Сердюк С.М. Особливості антропогенного впливу на води р. Самара. *Сучасний стан та перспективи розвитку меліорації земель*: матеріали міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., присвяч. до дня пам'яті доктора географічних наук, професора Литовченка О.Ф. (Дніпро, 30 листопада 2020 р.). Дніпро, 2020. С. 90.

10. Макарова Т.К., Коломойцева К.К. Аналіз антропогенного впливу на р. Самара. *Сучасний стан та перспективи розвитку меліорації земель* : матеріали міжнар. наук.-практ. інтернет конф., присвяч. до дня пам'яті доктора географічних наук, професора Литовченка О.Ф. (Дніпро, 30 листопада 2020 р.). Дніпро, 2020. С. 90.
11. Коваленко С., Пономаренко Р., Асоцький В., Визначення екологічного стану річки Самара. *Надзвичайні ситуації: безпека та захист*: матеріали XII всеукр. наук.-практ. конф. з міжнародною участю. (Черкаси, 27–28 жовтня, 2022). Черкаси, 2022. С. 252.
12. Гапич Г. В., Сирота І. В. Збереження та відновлення водотоків і малих річок як джерел зрошення прилеглих територій. *Сучасний стан та перспективи розвитку меліорації земель*: матеріали міжнар. наук.-практ. інтернет конф., присвяч. до дня пам'яті доктора географічних наук, професора Литовченка О.Ф. (м. Дніпро, 30 листопада 2020 р.). Дніпро, 2020. С. 90.
13. Бузевич І. Ю. Результати вселення рослиноїдних риб у Дніпровські водосховища / *Рибогосподарська наука України*. 2011. № 5. С. 4–9.
14. Кочет В.М., С. Н. Тарасенко, Загубиженко Н.И. Исследование некоторых структурно-функциональных особенностей сообществ гидрофауны р. Самары Днепровской / *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія, екологія*. 1997. № 3. С. 94–101.
15. Цееб Я.Я., Сиренко Л.А., Жукинський В.Н. Современные проблемы улучшения санитарно-биологического состояния и повышения биологической продуктивности водохранилищ. К.: Наук. думка, 1976. 70 с.
16. Vasylyeva, O. M., Novitskiy, R. O., Hubanova, N. L., Horchanok, A. V., & Saprionova, V. O. Dynamics of quality indicators of fish status in the waters of “Dnipro–Donbas” channel resulting seasonal pumping / *Agrology*. 2019. № 2 (2). P. 106–111.
17. Fishes of the World (5th ed.) / Nelson, J. S., Grande, T. C., Wilson, M. V. H. USA, 2006. 651 p.
18. Issues of the ecosystem services provided by animals under anthropogenic pressure within Ukrainian steppe: monogr. / A. Y. Pakhomov, V. Ya. Gasso, K. K. Goloborodko, E. V. Loza, O. A. Didur, R. A. Novitskiy, A. L. Ponomarenko Ed. by A. Y. Pakhomov. Vienna, «East West» Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH., 2016. 160 p.
19. Environmental Canada. (2001). Threat to sources of drinking water and aquatic ecosystems health in Canada. National water research. (Report No. 1, 1–72). National water research Institute, Burlington.
20. Полевая геоботаника. М., наука, 1964. Т. 3. 530 с.
21. Определитель высших растений Украины. Київ: Наук. думка, 1987. 545 с.
22. Визначник рослин України / Барбарич А.І та ін. Київ, 1965. 876 с.
23. Mosyakin S.L., Fedorochuk M.M. Vascular plants of Ukraine. Nomenclatural checklist. К., 1999. 346 с.
24. Бельгард А. Л. Лесная растительность юго-востока УССР. К.: КГУ, 1950. 263 с.
25. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 240 с.
26. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 510 с.
27. Монченко В. І. Фауна України. Циклопи. Київ, Наукова думка, 1974. Т. 27. № 3. 452 с.
28. Жадин В. И. Моллюски пресных и солоноватых вод СССР. Изд. АН СССР М., 1952. 376 с.
29. Мануйлова Э. Ф. Ветвистоусые рачки фауны СССР. Наука, М., 1964. 327 с.
30. Кутикова Л. А. Коловратки фауны СССР. Наука, Л., 1970. 744 с.
31. Попова А. Н. Личинки стрекоз фауны СССР. Изд. АН СССР. М., 1953. 236 с.
32. Жадин В. И. Методика изучения донной фауны водоемов и экологии донных беспозвоночных. *Жизнь пресных вод СССР*. Т. 1. № 1, 1956. 382 с.
33. Липин А. И. Пресные воды и их жизнь. М., 1950. 348 с.
34. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных. М., 1966. 377 с.
35. Методика збору і обробки іхтіологічних і гідробіологічних матеріалів з метою визначення лімітів промислового вилучення риб з великих водосховищ і лиманів України / С.П. Озінковська, В.М. Єрко, Г.Д. Коханова та ін., К.: ІРГ УААН, 1998. 47 с.
36. Брюзгин В.Л. Методы изучения роста рыб по чешуе, костям и отолитам. К.: Наукова думка, 1969. 188 с.
37. Чугунова Н.И. Руководство по изучению возраста и роста рыб. М., Изд-во АН СССР, 1951. 164 с.
38. Геоботаничне районування Української РСР / Т. Л. Андрієнко, Г. І. Білик, С. М. Бродіс та ін. / відп. ред. А. І. Барбарич. Київ: Наук. думка, 1977. 301 с.



## ТЕХНІЧНІ АЛЬТЕРНАТИВИ РЕКОНСТРУКЦІЇ СИСТЕМИ ВОДОВІДВЕДЕННЯ

Покшевницька Т.В.<sup>1</sup>, Лук'янова В.В.<sup>1</sup>, Смоляр В.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний транспортний університет  
вул. Михайла Омеляновича-Павленка, 1, 01010, м. Київ

<sup>2</sup>Науково-дослідний центр екологічної безпеки та природокористування  
пр.в. Машинобудівний, 28, 03067, м. Київ

officenttn@ukr.net, v.smolyar@ukr.net, vitalina\_1k@i.ua

Розглянуті окремі питання функціонування комунального підприємства «Тернопільводоканал» на території діючого водозабору, де здійснюється видобування підземних прісних вод для господарсько-питного водопостачання м. Тернопіль. Комунальне підприємство «Тернопільводоканал» забезпечує послугами централізованого постачання холодної води та централізованого водовідведення, а також забезпечує належне функціонування та технічний стан об'єктів водопроводу та каналізації та водопровідно-каналізаційних мереж на території м. Тернополя та навколишніх сіл. За останні роки накопичено значний досвід, що дозволяє застосовувати нові методи реконструкції систем та споруд водовідведення, заснованих на сучасному науково-технічному рівні. За результатами аналізу та моніторингу систем та споруд водовідведення КП «Тернопільводоканал» запропоновано дві технічні альтернативи реконструкції системи водовідведення на підприємстві. Реалізація запропонованої технічної альтернативи реконструкції системи водовідведення промивних вод та побутових стоків на КП «Тернопільводоканал» забезпечить запобігання порушень у роботі систем централізованого водовідведення, підвищення ефективності роботи системи і безпеки її експлуатації та забезпечення охорони навколишнього природного середовища від забруднення скидами стічних вод. Результати цього наукового дослідження, а також сформульовані на їхній основі висновки, мають суттєву значимість для фахівців, діяльність яких пов'язана з вирішенням проблем забруднення довкілля, що спричинена провадженням господарської діяльності з реконструкції підприємств водопостачання та водовідведення, можуть бути використані науковцями, студентами закладів вищої освіти, спеціалістами з проектування реконструкції підприємств водопостачання та водовідведення, а також для розробки критеріїв оцінки впливу на довкілля провадження даної господарської діяльності. *Ключові слова:* водозабезпечення, водовідведення, хлороорганічні сполуки, «Тернопільводоканал», якість води, водні об'єкти.

**Technical alternatives to the reconstruction of the drainage systems of water supply and drainage enterprises. Pokshevnytska T., Lukyanova V., Smoliar V.**

The authors conducted an analysis of the functioning of the communal enterprise "Ternopilvodokanal" on the territory of the active water intake, where the extraction of the underground fresh water is conducted for the domestic drinking water supply of Ternopil City. The communal enterprise "Ternopilvodokanal" provides the services of centralized cold water supply and centralized drainage, and also ensures the proper functioning and technical condition of water supply and sewage facilities and water supply and sewerage networks in the territory of the city of Ternopil and the surrounding villages. In recent years, considerable experience has been accumulated, which allows the application of new methods of reconstruction of water drainage systems and structures, based on the modern scientific and technical level. Based on the results of the analysis and monitoring of the drainage systems and facilities of the CE "Ternopilvodokanal" two technical alternatives to the reconstruction of drainage systems at the enterprise are proposed. The implementation of the proposed technical alternative for the reconstruction of the drainage system of washing water and domestic sewage at KP "Ternopilvodokanal" will ensure the prevention of violations in the operation of centralized drainage systems, increase the efficiency of the system and the safety of its operation, and ensure the protection of the natural environment from pollution by wastewater discharges. Results of this scientific research, as well as the conclusions formulated on their basis, have significant importance to the experts, whose activity is connected to solving the problems of environmental pollution, which is caused by carrying out the economic activities of the reconstruction of water supply and drainage enterprises, can be used by scientists, students of higher education institutions, specialists in the design and reconstruction of water supply and drainage enterprises, also for the development of criteria for assessing the impact on the environment of the implementation of this economic activity. *Key words:* water supply, water drainage, organochlorine compounds, "Ternopilvodokanal", water quality, water objects.

**Постановка проблеми.** Безперерйне забезпечення питною водою гарантованої якості та очищення стічних вод до необхідних санітарних норм є головним критерієм безпеки водозабезпечення населення. Оперативне та планове відновлення систем та споруд водопостачання та водовідведення є актуальним завданням будь-якого сучасного міста чи населеного пункту. Визначення, що в першу чергу слід розвивати системи водопостачання, помилкові, оскільки об'єкти водовідведення належать до однієї

з найважливіших систем життєзабезпечення, санітарної та екологічної безпеки [1-3]. Слід зазначити, що в найближчі 10–15 років говорити про масове будівництво нових систем та споруд водовідведення немає сенсу. Це пов'язано не тільки з відсутністю фінансування або недостатнім інвестуванням у галузь, але й з тим, що багато систем можуть бути модернізовані або реконструйовані.

**Актуальність дослідження.** За даними ООН про стан водних ресурсів у світі [4] Україна по яко-

сті води займає 95 місто із 122 можливих. Серед основних причин незадовільної якості води, що надходить до споживачів, можна виділити наступні: Україна відноситься до країн, що малозабезпечені прісною водою [5]; усі джерела водозаборів України відповідають лише 3 та 4 категоріям якості [6]; незадовільний стан обладнання та використання застарілих технологій водопідготовки; хлорування води призводить до утворення низки хлорорганічних сполук; термін експлуатації 60–70% водогонів країни вже вичерпався, або ж вони знаходяться в аварійному стані. З огляду на викладене вище, актуальним є проведення реконструкцій водозаборів з метою забезпечення надійності та стійкості роботи систем водопостачання та водовідведення.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** За останні роки накопичено значний досвід, що дозволяє застосовувати нові методи реконструкції систем та споруд водовідведення, заснованих на сучасному науково-технічному рівні. Використання сучасних технологій дозволяє за мінімальних капіталовкладень забезпечити охорону навколишнього природного середовища від забруднення скидами стічних вод, підтримувати якість очищених вод на рівні, що відповідає сучасним вимогам.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вивчаючи протягом багатьох років принципи проектування та реконструкції очисних споруд водовідведення [7–8], можна зазначити, що основною ідеєю робіт до цього часу є максимальне збільшення капітальних і експлуатаційних витрат, а не мінімізація вкладень за рахунок використання сучасних технологій очищення стічних вод. Технології, що застосовуються сьогодні, та технічне обладнання для реконструкції очисних споруд має відповідати сучасним екологічним вимогам і бути економічно виправданими [9].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Проведений аналіз та моніторинг систем та споруд водовідведення КП «Тернопільводоканал» м. Тернопіль, що дозволяє визначити технічні альтернативи проведення реконструкції системи водовідведення на підприємстві для безпеки її експлуатації

та забезпечення охорони навколишнього природного середовища від забруднення скидами стічних вод.

**Новизна.** Вперше здійснено аналіз та моніторинг систем та споруд водовідведення КП «Тернопільводоканал» та запропоновано дві технічні альтернативи реконструкції системи водовідведення на підприємстві.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Вирішення завдань з реконструкції водовідведення вимагає з'ясування конкретних причин, за якими цей об'єкт не може нормально функціонувати. Тільки після цього можливий пошук прийнятних шляхів реконструкції об'єкта.

Як правило, розв'язання задачі складається з низки етапів (рис. 1).

**Викладення основного матеріалу.** Комунальне підприємство «Тернопільводоканал» забезпечує послугами централізованого постачання холодної води та централізованого водовідведення, а також забезпечує належне функціонування та технічний стан об'єктів водопроводу та каналізації та водопровідно-каналізаційних мереж на території м. Тернополя та навколишніх сіл. Свердловини, з яких здійснюється забір підземних вод, згруповано в «Тернопільський» та «Верхньо-Івачівський» водозабори. На сьогодні КП «Тернопільводоканал» планує виконати роботи з реконструкції водозабору «Тернопільський».

При виконанні реконструкції систем та споруд водовідведення основними принципами є: зниження капіталовкладень за рахунок використання наявних споруд, що не використовуються; застосування технологій очищення стічних вод, що дозволяють забезпечити нормативне скидання; використання сучасних технологічних процесів очищення стічних вод; зниження собівартості очищення 1 м<sup>3</sup> стічної води; раціональне використання наявних земельних площ, що відведені під будівництво очисних споруд; зниження навантаження по забрудненню на водойму.

Система водовідведення підприємства складається із самопливних колекторів, каналізаційних насосних станцій (КНС), напірних трубопроводів та каналізаційних очисних споруд (КОС). Стічні води самопливними колекторами надходять до восьми каналізаційних насосних станцій. Три КНС (№ 1, 2, 8)

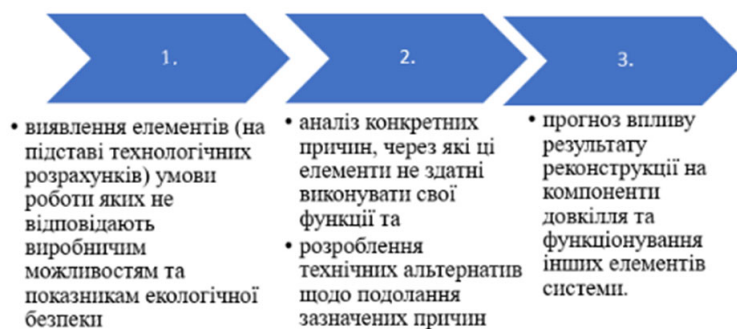


Рис. 1. Основні етапи реконструкції водовідведення

перекачують стоки напірними трубопроводами в системи самопливних колекторів інших басейнів каналізування, на інші КНС, а також КНС (№ 4, 5, 7, 9, 10) перекачують стічні води на каналізаційні очисні споруди. Після очисних споруд очищені води скидаються у річку Серет.

Зворотні води по деяким показникам не відповідають затвердженим ГДС, зокрема: БСК<sub>5</sub> – 8,20 мг/дм<sup>3</sup> (при нормованому значенні 4,5 мг/дм<sup>3</sup>); ХСК – 50,6 мг/дм<sup>3</sup> (при нормованому значенні 30,0 мг/дм<sup>3</sup>); залізо (заг.) – 1,31 мг/дм<sup>3</sup> (при нормованому значенні 0,3 мг/дм<sup>3</sup>).

За результатами аналізу та моніторингу систем та споруд водовідведення КП «Тернопільводоканал» запропоновано дві технічні альтернативи реконструкції системи водовідведення на підприємстві:

- скид зворотних вод у водний об'єкт;
- скид зворотних вод в міську каналізаційну мережу КП «Тернопільводоканал».

За першою технічною альтернативою – скид зворотних вод у водний об'єкт, для забезпечення нормативних значень нормованих показників зворотних вод передбачено розбавлення усереднених промивних вод водою з свердловин в об'ємі 4,9 тис.м<sup>3</sup>/добу. Промивка швидких фільтрів передбачена водою з свердловин один раз на добу, одночасно промивається 1 фільтр:

- об'єм промивних вод швидких фільтрів – 1440 м<sup>3</sup>/добу;
- мінералізація промивних вод швидких фільтрів ≤ 0,6 г/дм<sup>3</sup>.

В зв'язку з впровадженням проектною технологією пом'якшення води, до складу зворотних вод додаються промивні води регенерації іонообмінних фільтрів:

- об'єм промивних вод регенерації фільтрів – 181 м<sup>3</sup>/добу;
- розрахункова мінералізація промивних вод іонообмінних фільтрів – 13,9 г/л.

Промивні води від швидких фільтрів та регенерації іонообмінних фільтрів відводяться у резервуари-усереднювачі, загальний об'єм промивних вод – 1621 м<sup>3</sup>/добу.

При проектуванні реконструкції за першою технічною альтернативою необхідно передбачити відведення з території водозабору господарсько-побутових стоків:

- будівництво мережі господарсько-побутової каналізації;
- будівництво напірного каналізаційного колектору з підключенням до існуючої мережі каналізації КП «Тернопільводоканал» за межами території водозабору;
- відведення промивних вод з резервуару чистої води (РВЧ) в резервуари-усереднювачі з здійсненням дехлорування (установка дехлорування);
- будівництво підводного розсіюючого водовипуску для скиду зворотних вод.

Переваги та недоліки першої технічної альтернативи представлено у таблиці 1.

Таблиця 1

### Переваги та недоліки першої технічної альтернативи

Переваги	Недоліки
– скид зворотних вод за існуючою схемою у водний об'єкт без додаткового навантаження на міські очисні споруди;	– додатковий видобуток підземних вод для розбавлення в об'ємі 4,9 тис. м <sup>3</sup> /добу;
– доведення показників зворотних вод до нормованих значень;	– будівництво окремої мережі господарсько-побутової каналізації;
– забезпечення розсіювання зворотних вод (розсіюючий водовипуск).	– забезпечення дехлорування промивних вод від РВЧ.

За другою технічною альтернативою – скид зворотних вод в міську каналізаційну мережу КП «Тернопільводоканал», відведення промивних вод та побутових стоків передбачено здійснювати:

- промивні води від швидких фільтрів станції знезалізнення та регенерації іонообмінних фільтрів станції підготовки води відводяться в резервуари-усереднювачі;
- промивні води від резервуарів чистої води та резервуарів-усереднювачів та господарсько-побутові стоки від насосної станції підйому скидаються у каналізаційну насосну станцію та перекачуються в резервуари-усереднювачі;
- господарсько-побутові стоки від станції знезалізнення відводяться в існуючий колектор та відводяться до резервуарів-усереднювачів;
- будівництво самонапірного каналізаційного колектору з підключенням до існуючої мережі каналізації КП «Тернопільводоканал» за межами території водозабору.

Осад з резервуарів-усереднювачів скидається в існуючий мокрий колодязь та вивозиться на полігон твердих побутових відходів.

Переваги та недоліки другої технічної альтернативи представлено у таблиці 2.

Таблиця 2

### Переваги та недоліки першої технічної альтернативи

Переваги	Недоліки
– відсутня необхідність в додатковому видобутку підземних вод;	– додаткове навантаження на міські каналізаційні очисні споруди.
– відсутня необхідність в будівництві окремої системи каналізації та відведення господарсько-побутових стоків;	

За порівнянням технічних альтернатив (табл. 1–2) за основний прийнятий варіант скиду

зворотних вод в міську каналізаційну мережу КП «Тернопільводоканал», як такий, що має меншу собівартість підготовленої води та не потребує додаткового видобутку підземних вод.

**Висновки.** Реалізація запропонованої технічної альтернативи реконструкції системи водовідведення промивних вод та побутових стоків на КП «Тернопільводоканал» забезпечить запобігання порушень у роботі систем централізованого водовідведення, підвищення ефективності роботи системи і безпеки її експлуатації та забезпечення охорони навколишнього природного середовища від забруднення скидами стічних вод.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Результати проведених досліджень можуть бути використані науковцями, студентами закладів вищої освіти, спеціалістами з проектування реконструкції підприємств водопостачання та водовідведення. Перспективою подальших досліджень є визначення методологічного підходу з обрання можливих технічних альтернатив реконструкції з урахуванням конкретних заходів щодо забезпечення екологічної безпеки в період реконструкції та подальшим функціонуванням підприємств водопостачання та водовідведення, а також розробки критеріїв оцінки впливу на довкілля провадження даної господарської діяльності.

### Література

1. Покшевницька Т.В., Лук'янова В.В. Оцінка впливу на довкілля реконструкції водозабору «Тернопільський» КП «Тернопільводоканал». Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України: матеріали II Всеукраїнської наук.-практ. конф. за участю молодих науковців (Запоріжжя, 18–20 жовтня 2022 р.). Запоріжжя: ЗНУ. 2022. С. 411–414.
2. Делеган-Кокайко С. В., Слабкий Г.О., Лук'янова В.В., Анпилова Є.С. Вплив сміттєзвалищ на показники захворюваності сільського населення та поширеності серед нього хвороб. *Ecological safety and natural resources*. К. 2020. № 2 (34). С. 43–52. DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2020.2.43-52>
3. Валерко Р.А., Герасимчук Л.О., Зозуля В.М. Оцінка ризику споживання питної води з підвищеним вмістом нітратів на здоров'я населення Житомирської об'єднаної територіальної громади. *Екологічні науки*. 2021. Вип. 3 (36). С. 137–141. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.3-36.22>
4. Water Quality and Wastewater. URL: <https://www.unwater.org/water-facts/water-quality-and-wastewater> (дата звернення: 03.01.2023).
5. Методичні рекомендації з оцінювання екологічного стану водних об'єктів та меліорованих земель за просторово розподіленими супутниковими даними К: 2020. 40 с.
6. Лук'янова В.В. Оцінка якості природної води в р. Дніпро у м.Києві. Вісник Національного транспортного університету. К. : НТУ, 2015. Вип. 2(32). С. 160–167.
7. Сталій розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. VII Міжнародний молодіжний конгрес, 10-11 лютого 2022, Україна, Львів : Збірник матеріалів. Київ : Яроченко Я. В., 2022. 271 с. URL: [https://web.archive.org/web/20220214144936id\\_/https://science.lpnu.ua/sites/default/files/attachments/2022/jan/26205/tezivimolodizhnyekokongres2022.pdf#page=81](https://web.archive.org/web/20220214144936id_/https://science.lpnu.ua/sites/default/files/attachments/2022/jan/26205/tezivimolodizhnyekokongres2022.pdf#page=81) (дата звернення: 03.01.2023).
8. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод : навч. посібник. – Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2003. 622 с.
9. Л.Ф. Долина, П.Б. Машихіна, В.А. Козачина Д64 Реконструкція систем водопостачання та водовідведення: монографія. Дніпро: Журфонд, 2021. 220 с.

## ВПЛИВ АНТРОПОГЕННИХ ДЖЕРЕЛ ЗАБРУДНЕННЯ НА ЯКІСТЬ РІЧКИ ПІВДЕННИЙ БУГ

Сапко О.Ю., Кур'янова С.О.

Одеський державний екологічний університет

вул. Львівська, 15, 65016, м. Одеса

sapko-olga@ukr.net, red\_sun@ukr.net

Характерною особливістю басейну Південного Бугу, що виділяє його з-поміж інших великих річок, є велика зарегульованість – сумарний об'єм штучних водойм перевищує водні ресурси басейну в дуже маловодний рік. Специфікою басейну Південного Бугу є те, що він повністю розташований у межах однієї держави – України. Цей факт повинен мати позитивне значення з точки зору управління річковим басейном. Основними видами діяльності та антропогенного навантаження на водні ресурси басейну р. Південний Буг є: житлово-комунальне господарство, промисловість, сільське господарство, включаючи рибне господарство, гідроенергетика та протипаводковий захист.

Природні особливості басейну Південного Бугу та чинники господарської діяльності зумовлюють певні особливості гідрохімічного режиму. Від розташованих поруч річок басейнів Дністра та Дніпра Південний Буг насамперед відрізняється вищим вмістом солей у воді, який зростає у напрямку до гирла. Саме така закономірність – зростання мінералізації води у південному напрямку – спостерігається і в його притоках. Важливий фактор зростання мінералізації – поширеність у південній частині басейну лісовидних суглинків.

Вода Південного Бугу вирізняється також доволі високою насиченістю розчиненим киснем. Також особливістю Південного Бугу є достатньо значний твердий стік. Цьому сприяють розчленованість рельєфу та значні площі під орними землями. Цим визначається актуальність дослідження.

Мережа спостережень Державного агентства водних ресурсів України за якістю поверхневих вод басейну р. Південний Буг включає 38 створів моніторингу (р. Південний Буг – 20, Бузький лиман – 1, притоки р. Південний Буг – 17). Держводагентством ведеться спостереження за якістю поверхневих вод, де розміщено 10 питних, один технічний, два сільськогосподарські водозабори, 13 водосховищ, дві зрошувальні системи, вісім створів на річках та три створи у зонах впливу стічних вод підприємств.

В роботі використано метод системного аналізу наявної інформації про антропогенні джерела забруднення р. Південний Буг, оцінка якості поверхневих вод за Методикою екологічної оцінки якості поверхневих вод суші та естуаріїв України. *Ключові слова:* р. Південний Буг, антропогенні джерела забруднення, басейн річки, екологічний стан, водні ресурси, оцінка якості.

### **Impact of anthropogenic sources of pollution on the quality of the Southern Bug river. Sapko O., Kurianova S.**

A characteristic feature of the Southern Bug basin, which distinguishes it from other large rivers, is high regulation – the total volume of artificial reservoirs exceeds the basin's water resources in a very low-water year. The specificity of the Southern Bug basin is that it is completely located within the borders of one state – Ukraine. This fact should have a positive meaning from the point of view of river basin management. The main types of activity and anthropogenic load on the water resources of the South Bug river basin are: housing and communal economy, industry, agriculture, including fisheries, hydropower and flood protection.

The natural features of the South Bug basin and factors of economic activity determine certain features of the hydrochemical regime. From the neighboring rivers of the Dniester and Dnieper basins, the Southern Bug is primarily distinguished by a higher salt content in the water, which increases towards the mouth. It is this regularity – the growth of water mineralization in the southern direction – that is also observed in its tributaries. An important factor in the growth of mineralization is the prevalence of forest loams in the southern part of the basin.

The water of the South Bug is also distinguished by a rather high saturation of dissolved oxygen. Also, a feature of the Southern Bug is a fairly significant solid runoff. This is facilitated by the fragmentation of the terrain and large areas under arable land. This determines the relevance of the research.

The monitoring network of the State Agency of Water Resources of Ukraine for the quality of surface waters of the Southern Bug River basin includes 38 monitoring sites (Southern Bug River – 20, Buzhkiy Lyman – 1, tributaries of the Southern Bug River – 17). The State Water Agency monitors the quality of surface water, where there are 10 drinking, one technical, two agricultural water intakes, 13 reservoirs, two irrigation systems, eight reservoirs on rivers, and three reservoirs in the zones affected by wastewater from enterprises.

The work uses the method of systematic analysis of the available information on anthropogenic sources of pollution of the Southern Bug River, assessment of the quality of surface water according to the Methodology of ecological assessment of the quality of surface water of land and estuaries of Ukraine. *Key words:* Southern Bug river, anthropogenic sources of pollution, river basin, environmental status, water resources, quality assessment.

**Актуальність дослідження.** На сучасному етапі у багатьох країнах світу велика увага приділяється водним ресурсам як природному фактору, який найбільшою мірою визначає розвиток промисловості, сільського господарства і взагалі держави. Як

відомо, Україна недостатньо і нерівномірно забезпечена водними ресурсами. Тому для ефективного господарювання і раціонального управління водними ресурсами необхідно здійснювати кількісну і якісну оцінку формування стоку.

Надмірна експлуатація водних ресурсів в останні роки привела до збільшення забрудненості поверхневих вод. В даний час р. Південний Буг стикається з серйозними екологічними проблемами, причиною яких є забруднення вод і вплив режиму водних потоків. Враховуючи важливість річки як джерела питної води для великих міст, сформована ситуація загрожує не лише довкіллю, але й здоров'ю людей. Отже актуальним є питання вивчення екологічного стану р. Південний Буг, що дає можливість забезпечити раціональне управління водними ресурсами та їх відтворення.

**Мета роботи.** Метою роботи є виконання екологічної оцінки якості води на окремих постах гідрометеорологічних спостережень у сучасний період, порівняння якості води на різних ділянках водного об'єкту, виявити тенденцію щодо її зміни в просторі та проаналізувати вплив окремих точкових антропогенних джерел на неї.

**Методи дослідження.** В роботі використано метод системного аналізу наявної інформації про антропогенні джерела забруднення р. Південний Буг, оцінка якості поверхневих вод за Методикою екологічної оцінки якості поверхневих вод суші та естуаріїв України [1].

**Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями.** Тема дослідження відповідає основним напрямкам екологічної політики щодо охорони, відтворення та раціонального використання водних ресурсів, які визначені Законом України «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» [2], впровадженню інтегрованого управління водними ресурсами басейну р. Південний Буг відповідно до вимог «Водної стратегії України на період до 2025 р.» [3] та Угоди про асоціацію з Європейським Союзом [4].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженню якості вод окремих ділянок Південного Бугу присвячена низка робіт, в тому числі [5–11]. В роботах [6–8, 10, 11] проведена екологічна оцінка якості води за різними методиками та вказується на забруднення поверхневих вод басейну річки сполуками мінерального азоту та фосфору. В роботах [9–11] описані основні антропогенні джерела забруднення річки.

**Результати досліджень.** Річка Південний Буг належить до числа великих річок басейну Чорного моря і є найбільшою, басейн якої повністю розташований у межах України. Річка протікає по території семи областей України, а саме Вінницької (площа басейну складає 25,7%), Кіровоградської (24,2%), Миколаївської (23,2%), Черкаської (13,2%), Одеської, Хмельницької та Київської областей де річковий басейн займає невеликі частини [10, 11].

Природні особливості басейну річки та чинники господарської діяльності зумовлюють певні особливості гідрохімічного режиму. Південний Буг має

високий вміст солей у воді, який зростає у напрямку до гирла, що пов'язано із геологічними чинниками. Вода річки вирізняється також доволі високою насиченістю розчиненим киснем. Чинником, що сприяє покращенню кисневого режиму, є наявність порожистих ділянок, де відбувається перемішування води. Характерною особливістю басейну Південного Бугу, що виділяє його з-поміж інших великих річок, є велика зарегульованість. Сумарний об'єм штучних водойм перевищує водні ресурси басейну в дуже маловодний рік. Також особливістю Південного Бугу є достатньо значний твердий стік, чому сприяють розчленованість рельєфу та значні площі під орними землями [10, 11].

До основних гідроморфологічних змін Південного Бугу слід віднести порушення вільної течії річки, гідрологічні зміни (численні підпори води вище гребель) та спрямлення. Морфологічні зміни відбулися у верхів'ї Південного Бугу та його притоках із заболоченими заплавами. З середини ХХ ст. інтенсивно осушувалися заболочені землі у заплавах річок з метою подальшого їх використання у сільському господарстві. Нижче м. Хмельницький проведено осушення заплави та регулювання (спрямлення) відрізка русла Південного Бугу довжиною 28 км, що виконує функцію магістрального каналу осушувальної системи. Каналізоване також русло від витoku на 3,5 км. Русла спрямлені й на окремих невеликих ділянках приток. Заплави річок басейну широко використовуються для сільськогосподарського виробництва і, як наслідок, відбувається змив ґрунту й добрив під час сніготанення та інтенсивних дощів [11].

У басейні Південного Бугу мешкає 4,2 млн. осіб, серед яких міське населення складає 57%, сільське населення – 43%. Найбільша кількість населення (приблизно 36,1%) проживають у адміністративних центрах Хмельницькому, Вінниці, Кіровограді [11].

Із 92 міських поселень лише у 51 населеному пункті (55%) проводиться централізований збір стічних комунальних вод та їхній облік. Серед 2878 сіл такий облік проводиться лише в шести (0,2%). Після очищення на комунальних очисних спорудах стоки скидаються в р. Південний Буг та його притоки 1-го і 2-го порядків. Сучасний стан очисних споруд та каналізаційної мережі є вкрай зношеним, кількість стічних вод часто перевищує проектну, що призводить до потрапляння у водоприймачі неочищених стоків [11].

За показником об'ємів стічних вод, які надходять у поверхневі води басейну Південного Бугу, серед різних галузей економіки переважають стоки від сільського господарства (44,1%), комунальні підприємства (31,9%) та промисловості (23,6%). У галузевій структурі промисловості провідну роль відіграють підприємства харчової та видобувної промисловості (відповідно 37 та 32%). Крім

того, на території басейну розміщені підприємства енергетики, металургії, будівельних матеріалів, легкої промисловості. Деякі промислові підприємства (Ладижинська ТЕС, Вінницький олійно-жировий комбінат, ВАТ «БОС» м. Вознесенськ, ЗАТ «Бершадьмолоко», ПАТ «Тростянецький м'ясокомбінат») приймають на свої очисні споруди й комунальні стоки [11].

Динаміку скиду зворотних вод по областях України за даними [12] у сучасний період наведено у табл. 1.

Як бачимо з наведених даних, в цілому динаміка скиду стічних вод в басейн р. Південний Буг за розглянутий період часу залишається майже без змін та коливається в межах 1–2%. Найбільша кількість стічних вод у річку надходить від Вінницької та Миколаївської областей.

У межах Вінницької області найбільшими забруднювачами є КП «Іллінціводоканал», КП «Хмельникводоканал», КВЕП «Вапнярководоканал», КП «Тулчинводоканал», ВФ ТОВ «Яблуневий Дар», КП «Жмеринководоканал», КП «Вінницяоблводоканал», «Птахокомплекс» ТОВ «Вінницька птахофабрика», ВП Ладижинської ТЕС АТ «ДТЕК Західенерго», ПрАТ «Вінницький ОЖК». Найбільше стоків надходить від КП «Вінницяоблводоканал», який забезпечує м. Вінниця питною водою і очищує стічні води на очисних спорудах каналізації. Скид стічних вод здійснюється в р. Південний Буг після споруд повної біологічної очистки проектною потужністю 150 тис. м<sup>3</sup>/добу, фактичне надходження складає 70–80 тис. м<sup>3</sup>/добу.

Протягом останніх років згідно даних гідрохімічних вимірювань виявлено вплив скидів стічних вод КП «Вінницяоблводоканал» на якість води у створі, що знаходиться на річці Південний Буг 500 м нижче скиду водоканалу: суттєво підвищується вміст азоту амонійного. Проте, якість води у створі погіршують й стоки з території міста, господарсько-побутові стоки приватних секторів, що не підключені до каналізаційних мереж [12].

В межах Миколаївської області основними забруднювачами є МКП «Миколаївводоканал» м. Миколаїв, КП «Ольшанське» смт Ольшанське, КП «Первомайський міський водоканал» м. Первомайськ, КП «Прибузьке» м. Нова Одеса, «Міський водоканал» м. Баштанка, Південноукраїнська АЕС. Проте слід відзначити, що МКП «Миколаївводоканал» скидає очищені стоки в Південно-Бузький лиман.

Екологічну оцінку р. Південний Буг було виконано на основі даних державного моніторингу поверхневих вод за 2019–2021 рр. які були отримані лабораторією моніторингу вод та ґрунтів у Регіональному офісі водних ресурсів у Миколаївській області.

Екологічна оцінка води р. Південний Буг виконана на основі екосистемного принципу, необхідна об'єктивність оцінки була досягнута досить широким набором показників, які характеризують абіотичну і біотичну складову водних екосистем. Комплекс показників для екологічної оцінки якості води включав загальні та специфічні показники. Визначення об'єднаної оцінки якості води полягає в обчисленні екологічного індексу ( $I_e$ ) [5].

Таблиця 1

Об'єм скидання зворотних вод у річку Південний Буг, млн м<sup>3</sup> [12]

Області	Рік				
	2016 р.	2017 р.	2018 р.	2019 р.	2020 р.
Вінницька	60,40	62,54	58,33	59,70	-
Черкаська	15,14	15,07	14,02	16,99	12,75
Кіровоградська	0,659	0,571	-	0,502	0,514
Миколаївська	68,92	60,29	64,90	-	-

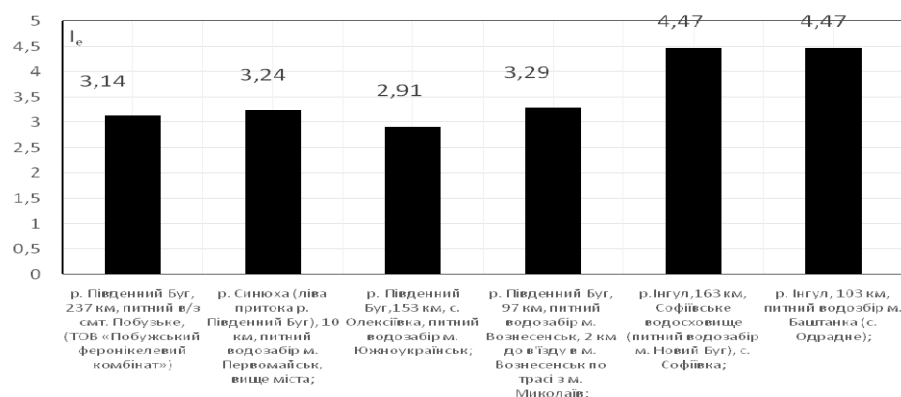


Рис. 1. Екологічний індекс якості води у створах розташованих в Миколаївській області на р. Південний Буг

Аналізуючи графік видно, що екологічний індекс якості визначений для питного водозабіру м. Первомайськ, вище міста – 3,24 незначно зменшується до 2,91 – с. Олексіївка, питний водозабір м. Южноукраїнськ. Далі спостерігається плавне збільшення індексу до 3,29 – питний водозабір м. Вознесенськ, 2 км до в'їзду в м. Вознесенськ по трасі з м. Миколаїв. Та значне збільшення на ділянках Софіївського водосховища (питний водозабір м. Новий Буг) та питному водозабірі м. Баштанка (с. Орадне) до 4,47. Характеристика якості води змінюється за станом – від «достатньо чиста» (перші чотири створи), до «слабко забрудненої» (ділянка Софіївського водосховища та питний водозбір м. Баштанка).

**Висновки.** Отже, основними видами діяльності та антропогенного навантаження на водні ресурси басейну р. Південний Буг є: житлово-комунальне господарство, промисловість, сільське господарство, включаючи рибне господарство, гідроенергетика та протипаводковий захист.

В цілому значення показників якості в басейні р. Південний Буг у Миколаївській області майже не відрізняються від аналогічного періоду минулих років, знаходяться на задовільному рівні та підтверджуються сезонними коливаннями гідрологічного і гідрохімічного режиму.

Значення більшості гідрохімічних показників якості води в басейні Південного Бугу ділянки у Миколаївській області знаходяться в межах нормативів.

Попередня екологічна оцінка якості вод річки Південний Буг в перших чотирьох створах спостережень показала, що по мінералізації – це прісні води, а по категорії якості води – це гіпогалинні води. За хімічним складом вод у цих створах річка Південний Буг відноситься до гідрокарбонатного класу, групи кальцієві.

На двох останніх створах – солонуваті води, по категорії якості води –  $\beta$ -мезогалинні. За хімічним

складом вод річка Південний Буг відноситься до сульфатного класу, групи натрієві.

Мінералізація води підвищується. Висока мінералізація і мутність річкової води обумовлюються слабкою задернованістю ґрунту, практично повною відсутністю залісеності площі водозбору. Води річки Південний Буг в значній мірі вилучаються на господарські потреби і зрошення, що істотно зменшує стік річки.

За значеннями гідрохімічних показників інтегральної оцінки якості вода у досліджених створах р. Південний Буг відповідає II-ому класу, III-ій категорії та характеризується за станом як «добра» і за ступенем чистоти – «досить чиста».

Для підтримання відносної стабільності екологічної ситуації на території басейну Південного Бугу необхідно вживати наступних заходів:

- екологічно обґрунтований за водним фактором розвиток економічного потенціалу областей і регіонів,

- оптимальне поєднання загальнодержавних і регіональних інтересів з урахуванням оцінки сучасного стану водних ресурсів,

- прогнозування змін стану водних ресурсів у часі та самовідновного потенціалу,

- запровадження водозберігаючих технологій у різних галузях економіки,

- еколого-економічна регламентація та управління водокористуванням із наданням безумовного пріоритету збереженню водних ресурсів,

- підтримання високого рівня екологічного стану водних джерел з урахуванням етапності проведення ринкових реформ та фінансової спроможності суб'єктів водокористування,

- будівництво нових очисних споруд тощо.

Всі вище перелічені заходи дозволять зберегти р. Південний Буг як важливе джерело питної води для великої кількості населених пунктів України.

### Література

1. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / Романенко В. Д. та ін. Київ : СИМВОЛ-Т, 1998. 28 с.
2. Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики: Директива від 23 жовтня 2000 р. № 2000/60/ЄС. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994\\_962](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962) (дата звернення 02.02.2023).
3. Ромашенка М. І., Хвесика М. А., Михайлова Ю. О. Водна стратегія України на період до 2025 р. (наукові основи) : Київ, 2015. 46 с.
4. Угода про асоціацію між Україною та Європейським Союзом. Ратифікована 01 вересня 2017 р. URL: <https://www.kmu.gov.ua/diyalnist/uevgorpejska-integraciya/ugoda-pro-asociasuu> (дата звернення 02.02.2023).
5. Магась Н. І., Трохименко А. Г. Оцінка сучасного антропогенного навантаження на басейн річки Південний Буг. *Екологічна безпека*. 2013. № 2. (16). С. 48–52. URL: <http://www.kdu.edu.ua/48.pdf> (дата звернення 02.02.2023).
6. Рябич О. М., Магась Н. І. Комплексна оцінка якості води річки Південний Буг у межах Миколаївської області. *Електронний вісник наук*. 2010. № 5. URL: <http://evn.nuos.edu.ua> (дата звернення 02.02.2023).
7. Типизація поверхневих вод Південного Бугу за вмістом головних іонів, біогенних елементів, органічних речовин та розчиненого кисню / Ухань О. О. та ін. *Гідрохімія, якість води. Наукові праці УкрНДГМІ*. 2015. Вип. 267. С. 46–56. URL: [https://uhmi.org.ua/pub/nr/267/Ukhan\\_Osadchy\\_Yu\\_Nabyvaniets\\_Osadcha\\_Glotka\\_257.Pdf](https://uhmi.org.ua/pub/nr/267/Ukhan_Osadchy_Yu_Nabyvaniets_Osadcha_Glotka_257.Pdf) (дата звернення 02.02.2023).
8. Шахман І. О. Екологічна оцінка якості води середньої течії річки Південний Буг за гідрохімічними показниками. *Екологія, іхтіологія та аквакультура. Таврійський науковий вісник* № 113. С. 260–266. URL: [http://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/113\\_2020/37.pdf](http://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/113_2020/37.pdf) (дата звернення 02.02.2023).
9. Курепін В. М. Використання природних ресурсів Південного Бугу: оптимізація антропогенного навантаження. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/9301/1/183-186.pdf> (дата звернення 02.02.2023).



10. Водні ресурси та якість річкових вод басейну Південного Бугу / Хільчевський В. К. та ін. ; за ред. Хільчевського В. К. Київ: Ніка-Центр, 2009. 184 с.
11. План управління річковим басейном Південного Бугу: аналіз стану та першочергові заходи / За ред. Афанасьєва С. Київ: Вид-во ТОВ «НВП «Інтерсервіс», 2014. 188 с.
12. Регіональні доповіді про стан навколишнього природного середовища. *Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України*: веб-сайт. URL: <https://mepr.gov.ua/timeline/Regionalni-dopovidi-pro-stan-navkolishnogo-tirodnogo-seredovishcha.html> (дата звернення 02.02.2023).

## ГЕОЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН РІЧКИ ОРІЛЬ

Сердюк С.М., Довганенко Д.О.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара  
вул. Казакова, 22, корпус №16, м. Дніпро  
[semicvetik25@i.ua](mailto:semicvetik25@i.ua), [dovhahenko\\_d@if.dnu.edu.ua](mailto:dovhahenko_d@if.dnu.edu.ua)

Стаття присвячена огляду актуальних проблем річок степового регіону України, які розглядаються на прикладі р.Оріль. Проведений геоecологічний аналіз стану річки. А саме відсічена частина русла перетворилася на самостійну річку із зворотною течією, яка своєю заплави та долини не має. Прокопані штучні спрямляючі русла представляють собою канали-перекати невеличкої ширини і глибини зі швидкою течією. У більшості випадків відвали ґрунту по берегах спрямляючих русел не розрівняні. Для відведення поверхневого стоку з відсіченої частини річкової заплави вздовж каналу Дніпро-Донбас прокладено дренажні канали та збудовано водопропускні споруди. Це призвело до значних змін площ басейнів лівобережних приток та перерозподілу поверхневого стоку, об'єднанню декількох приток в одну і утворенню нових приток. Тобто докорінно змінена гідрологія та гідрографія басейну р. Оріль. Усе вище викладене і спонукало до наукового вивчення гідролого-гідрохімічному режимі сучасної Орілі та її приток з метою подальшої розробки прогнозів перебігу деградаційних процесів та обґрунтування можливих стабілізуючих заходів, спрямованих на відновлення екологічної, соціальної та рекреаційної значущості Приорілля.

В результаті опрацювання гідрологічних рядів по постах на р. Оріль визначено їх однорідність та репрезентативність. Нормування гідрологічних характеристик виконано по посту р. Оріль – смт. Царичанка за період спостережень 62 роки. Гідрохімічний аналіз наявної інформації здійснювався за класифікацією О.О. Альокіна. Також оцінювалась придатність річкових вод для господарсько-питних, технічних цілей та зрошення.

Води Орелі відносяться до сульфатного класу, групи натрію, другого типу. Такий гідрохімічний склад води є переважаючим протягом усіх років спостережень. Мінералізація є типовою для річок степової зони України. При цьому незалежно від значень мінералізації річкові води непридатні як для господарсько-питних, так і технічних цілей. Вода р. Оріль може бути використана лише для зрошення, коли спостерігаються мінімальні значення мінералізації. *Ключові слова:* гідролого-гідрохімічний режим, придатність води для господарсько-питних, технічних цілей та для зрошення, геоecологічні наслідки.

### Geocological state of the Oril river. Serdiuk S., Dovhanenko D.

The article is devoted to the review of actual problems of the rivers of the steppe region of Ukraine, which are considered on the example of the Oril' river. Geoecological analysis of the state of the river was provided. Namely, the cut-off part of the riverbed turned into an independent river with a reverse flow, which has no floodplain or valley. The dug artificial directing courses of the river represent as shallow waters of small width and depth with a fast flow. In most cases, soil dumps along the banks of the straightening courses of the river are not leveled. To divert surface runoff from the cut-off part of the river swamping floodplain along the Dniiper-Donbass canal, drainage canals were laid and culverts were built. This has led to significant changes in the area of the basins of the left-bank tributaries and the redistribution of surface runoff, merging several tributaries into one and forming new tributaries. That is, the hydrology and hydrography of the Oril' river basin have been radically changed. All of the above urged for the scientific study of the hydrological and hydrochemical regime of modern Oril' and its tributaries in order to further develop forecasts of degradation processes and justify possible stabilizing measures aimed at restoring the ecological, social and recreational significance of the Pryoril'.

As a result of the elaboration of hydrological data series at the posts on the Oril River, their homogeneity and representativeness were determined. Rationing of hydrological characteristics was carried out according to the post of the river Oril – village. Tsarichanka for the 62 years observation period. Hydrochemical analysis of the available information was carried out according to the classification of O.O. Al'okin. Was also assessed the suitability of river waters for drinking, technical and irrigation purposes.

Oril' waters belong to the sulfate class, sodium group, the second type. This hydrochemical composition of water is predominant during all years of observations. Mineralization is typical for rivers of the steppe zone of Ukraine. In this case, regardless of the values of mineralization, river water is unsuitable for both drinking and technical purposes. The water of the Oril' River can be used only for irrigation when minimal values of mineralization are observed. *Key words:* hydrological and hydrochemical regime, suitability of water for household-drinking, technical purposes and for irrigation, geocological consequences.

**Постановка проблеми.** Залучення великих обсягів водних ресурсів річок у господарський обіг у промислово-розвинутих регіонах, таких як Степове Придніпров'я, інтенсифікує процеси деградації та пригнічує самовідновну і самоочисну здатність водних систем. Недотримання законодавчих вимог щодо особливостей господарювання в межах водоохоронних зон та прибережних захисних смуг, зниження лісистості території по заплавах річок Степового Придніпров'я, висока ступінь розораності і еродованості земель, проведення різного роду мелі-

орацій призводять до вичерпання джерел і обміління річок (особливо у меженні періоди), відбивається на продуктивності господарства [1–4]. Через надмірну зарегульованість гідротехнічними спорудами малі та середні річки втрачають свої природні функції, що неминуче позначається на основних басейнових річках. Тобто велика кількість малих та середніх річок Степового Придніпров'я вже сьогодні знаходиться на різних стадіях деградації. Якість води в них постійно погіршується, водність зменшується, а більшості – загрожує повне зникнення [4].

Тому сталий соціально-економічний розвиток цілих регіонів України залежить від оптимізації водокористування з урахуванням природних гідрологічних особливостей річкових систем та досягнення гомеостатичної рівноваги їх гідроєкосистем за рахунок відновлення природної якості річкових вод. Більшість проблем, притаманних річкам степової зони України, можна розглядати на прикладі р. Оріль, бо вона є типовою річкою, що відчуває на собі різноплановий комплекс негативних впливів. Саме тому обрана проблематика дослідження є актуальною на даний момент та потребує детальної розробки.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Відомо, що р. Оріль мала статус найчистішої річки у Європі [2, 5–7]. Така особливість зумовлена тим, що хоча річка і розташована в індустріальному регіоні, але в межах її басейну немає як великих промислових підприємств, так і мегаполісів. Незважаючи на це, нові дослідження констатують поступове погіршення екологічного стану басейну даної річки [2, 3, 6, 8–10]. У більшості попередніх досліджень недостатньо висвітлені внутрішньорічні коливання концентрацій головних іонів та забруднюючих речовин, зв'язок таких коливань з гідрологічним режимом водного об'єкта [8–10].

Все вище викладене визначає наукову новизну проведеного дослідження геоєкологічного стану річки Оріль. Тому аналіз розвитку гідролого-геохімічних змін, виокремлення їх часової приналежності, оцінка можливих екологічних наслідків мають як загально наукове, так і практичне значення, належать до числа найважливіших завдань, котрим і присвячена стаття. Усе вище викладене і спонукало до наукового вивчення гідролого-гідрохімічного режиму р. Оріль.

#### Матеріал та методика дослідження.

Теоретичним підґрунтям дослідження були наукові літературні та фондові матеріали, а саме інформація щодо: географічного положення, геолого-геоморфологічних, кліматичних, гідрографічних, ландшафтно-екологічних умов території басейну р. Оріль та визначення особливостей антропогенного впливу.

База гідрологічних (с. Черноглазівка (1955–1987 рр.); с. Степанівка (1956–2014 рр.); смт Царичанка (1952–2014 рр.) та гідрохімічних (2011–2019 рр.) даних по р. Оріль була надана Дніпропетровським регіональним центром з гідрометеорології, НДІ геології ДНУ.

Стартовим етапом дослідження гідрологічних величин була перевірка рядів спостережень на гідрологічних постах на однорідність з використанням методів математичної статистики та генетичного аналізу. Генетичний аналіз полягає у виявленні фізичних причин, які обумовлюють неоднорідність вихідних даних спостережень [11]. Традиційно екстремальні значення витрат води перевіряються за критеріями Смірнова-Граббса ( $G_n$ ) та Діксона ( $D_n$ ), а середні значення – за критерієм Стьюдента ( $t$ ) при

5% рівні значущості [11]. За результатами перевірки рядів спостережень оцінюється їх достатність (за тривалістю ряду) для отримання валідних розрахункових гідрологічних даних та оцінки норми стоку ( $Q$ ). Нормування гідрологічних характеристик виконувалось згідно ДБН В.2.4-8:2014 «Визначення розрахункових гідрологічних характеристик» [11].

Гідрохімічна оцінка вод Орелі здійснювалась за універсальним підходом. За класифікацією О.О. Альокіна виділялися класи, групи і типи поверхневих вод [12]. Оцінювалась придатність води для господарсько-питних, технічних цілей та для зрошення [13–15]. В Україні норми якості питної води об'єднані в Державні санітарні норми та правила (ДСанПіН) 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» [13], що поширюється на воду, що подається централізованими господарсько-питними системами водопостачання та водопроводами та використовується одночасно для питних, технічних та комунально-побутових цілей.

Оцінка якості вод для технічних цілей виконується в залежності від можливості використання їх для кожного конкретного виробництва. До показників, за якими оцінюються води, що призначені для використання у промисловості, відносяться: жорсткість води, накипоутворення ( $H$ ), корозія ( $K_k$ ), спінювання ( $F$ ) і агресивність. Особливе значення для цілей будівництва має оцінка агресивності вод по відношенню до бетону та залізобетону [14].

Для оцінки придатності води для зрошення використовували методику О.М. Костякова, який характеризує іригаційні властивості води за її мінералізацією; іригаційні коефіцієнти Стеблера ( $K_d$ ) (за вмістом у воді хлоридів, сульфатів, натрію); коефіцієнт іонного обміну між водою та ґрунтом ( $K$ ) І.М. Антипова-Каратаїва і Г.М. Кадор, тобто по здатності води до осолонцювання ґрунтів; коефіцієнт осолонцювання  $SAR$  департаменту сільського господарства США (натрієве адсорбційне відношення); методику О.М. Можейко та Г.Х. Воротник, які запропонували якість води для зрошення оцінювати за відношенням вмісту  $Na^+ + K^+$  до суми вмісту всіх катіонів; методик М.Ф. Буданова щодо здатності води до осолонцювання ґрунтів [15].

**Результати та їх обговорення.** Річка Оріль протікає по території України в межах Харківської, Полтавської та Дніпропетровської областей. Ліва притока р. Дніпро [16, 19]. Північно-західна частина басейну р. Оріль межує з басейном р. Ворскла, східна – з басейном Сіверського Дінця, південна – з басейном Самари. Басейн р. Оріль розташований в межах Придніпровської низовини, яка відповідає Дніпровсько-Донецькій западині [16, 19]. Це степова посушлива ландшафтно-гідрологічна зона, Дніпровсько-Сіверськодолицька провінція, Нижньодніпровський низовинний район. Клімат помір-

но-континентальний [17]. Лісові насадження та природна рослинність приурочені до долини Оріль, її приток та до балок [2].

Витік знаходиться на висоті 142 м над рівнем моря у Харківській області біля с. Єфремівка. Відмітка висоти гирла – 51,4 м над рівнем моря. Сучасна довжина р. Оріль становить 370 км. У нижній течії, від смт Обухівка до гирла, річка судноплавна. Площа басейну річки 9800 км<sup>2</sup>. Похил річки 0,27 м/км. Річкова долина асиметрична, трапецієподібна, нерівностороння. Праві схили високі й круті, ліві низькі й пологі. Праві схили долини р. Оріль в значній мірі еродовані, тут мають поширення зсувні процеси [16,20]. Ширина долини від 3 до 16 км. Глибина ерозійного врізу річкової долини в пониззі – 10–15 м (в районі р. Стара Оріль), вище по течії 40–50 м і більше. Русло дуже звивисте, завширшки від 2–10 м до 40 м, на плесах – до 100 м, завглибшки до 6 м. Коефіцієнт звивистості становить 1,46. Течія спокійна. Дно піщане. Замерзає наприкінці листопада – початку грудня, скресає наприкінці березня. Характерними є весняна повінь й літня межень. На окремих ділянках влітку пересихає. Живлення загалом снігове й дощове [16, 20]. Річка Оріль має 27 приток I-го порядку, 32 притоки II та III порядків. Разом з р. Оріль довжина річкової мережі становить 1834 км, густина річкової мережі – 0,17 км/км<sup>2</sup> [1, 16]. Вода з річки використовується для водопостачання, зрошення, риборозведення [20].

У 1967 р. в пониззі річки (с. Могилів (18 км вище старого гирла)) до смт. Обухівка протягом 61 км споруджено штучне річище. Тепер Оріль впадає до Дніпра за 450 км від його гирла, що на 41 км нижче старого річища (сmt Обухівка). Річка направлена по каналу (57 км) [2]. Її старе гирло відсічене дамбою Кам'янського вдсх. Відсічена частина русла перетворилася на самостійну річку Стара Оріль довжиною 17 км із зворотною течією [1, 2]. Заплавою проходить траса каналу Дніпро – Донбас (по II-й та I-й надзаплавних терасах), а біля с. Гупалівка він входить в річкову заплаву. Між селами Гупалівка та Нехвороща, річка направлена замість її природного русла по лівій притоці р. Грякова довжиною 1,1 км і далі по штучному руслу вздовж каналу Дніпро-Донбас у ліву притоку р. Заплавка (через трубчатую водоскидну споруду), по якій Оріль тече на відстані 8,4 км і знов впадає в своє русло [1, 2]. Таким чином, обезводнено 15,0 км русла ріки, а довжина русла ско-

ротилася на 2,6 км. Ще більш серйозні зміни починаються біля с. Личкове і вище до гирла р. Орілька, де канал Дніпро-Донбас 20 разів перетинає русло р. Оріль. Відсічені лівобережні частини русла р. Оріль загальною довжиною 53,9 км перетворилися на стариці, а замість них прокладено 10 спрямляючих каналів довжиною 24,3 км [2]. Довжина річки зменшилась на 29,6 км, середній уклін русла на порушеній ділянці збільшився з 0,16 м/км до 0,21 м/км [1, 16].

Щодо узагальненої екологічної характеристики, річка Оріль раніше вважалася найчистішою річкою в Європі [5, 21]. Згідно останніх досліджень [2, 3, 18], річка втратила свій високий екологічний статус. У перспективі на наступні 10–15 років за невтручання у цей процес р. Оріль може зникнути повністю, а її заплава перетвориться у типовий типчакowo-ковилловий степ, а зі зміною клімату цей процес пришвидшиться [18].

Під час вивчення *характеристик річного стоку Орїлі* було встановлено, що водний режим ріки східноєвропейський, характеризується весняною повінню і літньо-осінньо-зимовою меженню. Паводки спостерігаються рідко. Тип живлення – переважно сніговий. Наразі на річці функціонує чотири пости, характеристика яких надано в табл. 1.

Базовим для виявлення гідрологічних показників р. Оріль був обраний пост поблизу смт. Царичанка, по якому наявні дані спостережень за 63 роки (з 1952 по 2014 рр.). Дані були перевірені на однорідність. Екстремальні значення стоку перевірялися за критеріями Діксона (*Di*) та Смірнова-Грabbса (*G*). Рівень значущості був прийнятий на рівні 5% ( $\alpha=0,05$ ). Відповідно до результатів перевірки (табл. 2 та 3) ряди максимального та мінімального стоку були визнані однорідними.

Однорідність середньорічних значень стоку за умови  $\alpha=5\%$  було перевірено за критерієм Стьюдента (табл. 4). Також підтверджено однорідність рядів.

Характеристика річкового стоку за даними спостережень по основних водомірних постах на р. Самара та її притоках наведений у табл. 5.

Від витрати води у річці залежить концентрація головних іонів. Тому наступним етапом досліджень була *гідрохімічна оцінка вод р. Оріль*.

Період оцінки гідрохімічного стану р. Оріль складав 9 років (2011–2019 рр.). Похибки не перевищують 2%, тому усі проби вважаються придатними для подальшої обробки.

Таблиця 1

Характеристика водомірних постів басейну р. Оріль

Номер поста	Ріка	Найменування постів	Відстань від гирла, км	Площа басейну, км <sup>2</sup>	Відмітка нуля поста, м	Період дії	
						відкритий	закритий
95	р. Оріль	с. Степанівка	310	627	95,83	20.10.1982	Діє
96	р. Оріль	сmt Царичанка	85	9100	57,09	21.03.1952	Діє
97	р. Берестова	м. Красноград	46	1050	86,04	09.09.1930	Діє
98	р. Орчик	с. Чернещина	18	1310	78,36	17.11.1933	Діє

Таблиця 2

## Значення критеріїв Діксона для максимальних значень стоку

Критерій	Фактичні значення критерію	Критичні значення критерію	r(1)	Cs	n
D1 <sub>n</sub>	0,068	0,41	0,03	1,63	63
D2 <sub>n</sub>	0,069	0,42			
D3 <sub>n</sub>	0,200	0,49			
D4 <sub>n</sub>	0,202	0,5			
D5 <sub>n</sub>	0,197	0,49			

Таблиця 3

## Значення критеріїв Діксона для мінімальних значень

Критерій	Фактичні значення критерію	Критичні значення критерію	r(1)	Cs	n
D1 <sub>1</sub>	0,003	0,01	0,38	2,33	63
D2 <sub>2</sub>	0,006	0,01			
D3 <sub>3</sub>	0,006	0,02			
D4 <sub>4</sub>	0,006	0,03			
D5 <sub>5</sub>	0,003	0,02			

Таблиця 4

## Значення критеріїв Стьюдента

t <sub>max</sub>	t <sub>min</sub>	t <sub>кр</sub> при рівні значущості і 5%	Середнє значення вибірки, м <sup>3</sup> /с	Середній квадратичний відхил σ, м <sup>3</sup> /с
3,32	1,54	2,00	11,7	6,89

Таблиця 5

## Характеристика річкового стоку по водомірних постах басейну р. Самара

Найменування показників		р. Оріль – смт Царичанка	р. Орчик – с. Чернечина	р. Оріль – с. Степанівка
1	Площа басейну, км <sup>2</sup>	9100	1310	627
2	Середньобагаторічна витрата, Q <sub>0</sub> , м <sup>3</sup> /с	11,7	2,2	1,05
3	Найбільша середньорічна витрата, Q <sub>max</sub> , м <sup>3</sup> /с рік	(800) 1953	173 1980	72.6 2003
4	Найменша середньорічна витрата, Q <sub>min</sub> , м <sup>3</sup> /с рік	0,043 1959	0,002 1959	0,020 1993
5	Середній модуль стоку, M <sub>0</sub> , л/с*км <sup>2</sup>	1,24	1,45	1,5
6	Середній річний шар стоку, H <sub>0</sub> , мм	35,1	33	30
7	Коефіцієнт варіації стоку, C <sub>v</sub>	0,53	0,45	0,65
8	Коефіцієнт асиметрії, C <sub>s</sub>	0,05	1,02	0,9

Середнє значення мінералізації річкової води 1556,0 мг/дм<sup>3</sup>; мінімальне – 1220,0 мг/дм<sup>3</sup> (зима 2013 р.); максимальне – 2084,0 мг/дм<sup>3</sup> (осінь 2017 р.). Це є типовим для річок степової зони України. В цілому, води р. Оріль відносяться до сульфатного класу, групи натрію, другого типу. Такий гідрохімічний склад води є переважаючим протягом усіх років спостережень.

Загальна жорсткість річкової води змінювалася від 8,9 ммоль/дм<sup>3</sup> до 18,0 ммоль/дм<sup>3</sup>, тобто вода є дуже жорсткою. Середні значення жорсткості води наступні, ммоль/дм<sup>3</sup>: загальна – 12,8; карбонатна – 6,0; постійна – 6,8.

У табл. 6 наведено хімічне вираження складу проб води р. Оріль з найбільшою, середньою та най-

меншою мінералізацією. Узагальнення гідрохімічної інформації здійснено за допомогою графічного відображення катіонно-аніонного складу річкових вод за період спостережень на рис. 1, 2.

На квадраті М.І. Толстїхіна (рис. 1) усі точки згруповані в одній зоні, тобто підтверджується, що переважаючий катіон у річкових водах – Na<sup>+</sup>, а переважаючий аніон – SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Немає проб води з високим вмістом HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

Трикутник Ферре з катіонами (ліворуч) (рис. 2) наочно відображає, що катіонний склад річкових вод схильний до змін. У більшості випадків переважає Na<sup>+</sup>, на другому місці – Ca<sup>2+</sup>. Трикутник Ферре з аніонами (праворуч) (рис. 2) відображає певну стабільність хімічного складу. Переважає SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, інколи

Таблиця 6

Хімічний склад (Формули М.Г. Курлова), клас, група, тип води р. Оріль за класифікацією О.О. Альокіна (для проб з найбільшою, середньою та найменшою мінералізацією)

Проба	Дата відбору проби	Формула М.Г. Курлова	Найменування води (за О.О. Альокіним)	
Мінімальне значення мінералізації	лютий 2013	$M_{2.1} \frac{SO_{57}^4 HCO_{23}^3}{Na_{54} Ca_{27}} pH = 7.7$	$S_{II}^{Na}$	Вода гідрокарбонатно-сульфатна кальцієво-натрієва
Середнє значення мінералізації	Квітень 2017	$M_{1.6} \frac{SO_{46}^4 HCO_{36}^3}{Na_{56} Ca_{29}} pH = 8.4$	$S_{II}^{Na}$	Вода гідрокарбонатно-сульфатна кальцієво-натрієва
Максимальне значення мінералізації	Вересень 2017	$M_{1.6} \frac{SO_{39}^4 Cl_{31} HCO_{30}^3}{Ca_{42} Na_{29} Mg_{29}} pH = 8.4$	$S_{II}^{Ca}$	Вода гідрокарбонатно-хлоридно-сульфатна магнієво-натрієво-кальцієва

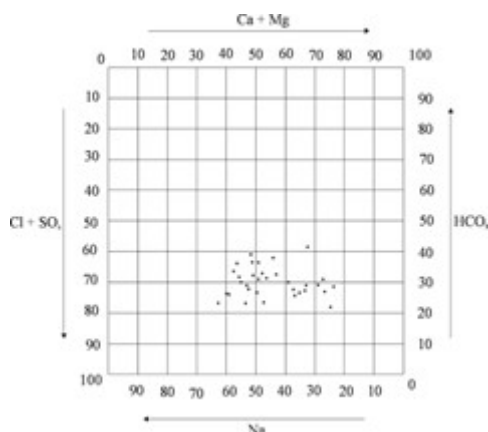


Рис. 1. Хімічний склад води р. Оріль (2013–2019 рр.) у вигляді квадрата М.І. Толстїхіна

підвищується вміст  $HCO_3^-$ . Усі проби води мають низький вміст  $Cl^-$ .

Оцінка якості та придатності річкових вод для господарсько-питних цілей здійснювалась відповідно до ДСанПіН 2.2.4-171-10 [13] (табл. 7). У таблиці у дужках наведений вміст речовин, який допускається, але при узгодженні використання такої води з органами санітарно-епідеміологічної служби. Стопчик «Мін» відповідає пробі з найменшою мінералізацією, а стопчик «Мах» – з найбільшою.

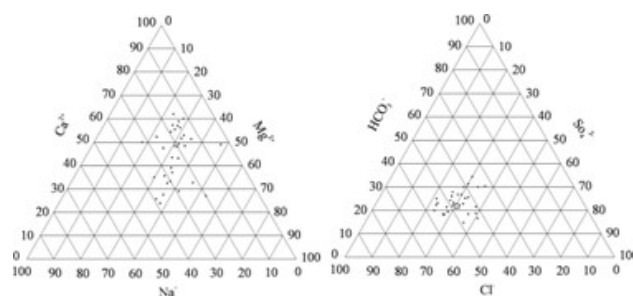


Рис. 2. Представлення результатів хімічних аналізів проб води р. Оріль (2013–2019 роки) у вигляді трикутників Ферре

При найбільшому значенні мінералізації вода непридатна для господарсько-питних цілей за усіма вищенаведеними показниками, окрім вмісту хлоридів та рН. При найменшому значенні – непридатна за загальною жорсткістю, тому що фактичне значення перевищує норму у два рази.

Наступним етапом була оцінка якості річкових вод для технічних цілей (табл. 8). Використовувалися проби з Мін та Мах значеннями мінералізації.

За жорсткістю вода з р. Оріль непридатна для технічних цілей при будь-якому значенні мінералізації. За сумарною вагою накипу – вода має дуже високу кількість осаду, осад твердий в обох випад-

Таблиця 7

#### Оцінка якості води р. Оріль для господарсько-питних цілей

Показники	Норма	Мін	Мах
Мінералізація, мг/дм <sup>3</sup>	1000 (1500)	1226	2084
Хлориди ( $Cl^-$ ), мг/дм <sup>3</sup>	350	203	208
Сульфати ( $SO_4^{2-}$ ), мг/дм <sup>3</sup>	500	336	822
Загальна жорсткість, ммоль/дм <sup>3</sup>	7,0 (10)	13,1	14,3
рН	6,5–8,5	7,42	7,72

Таблиця 8

#### Оцінка якості вод р. Оріль для технічних цілей

Мінералізація	Жорсткість, ммоль/дм <sup>3</sup>	$H$ , г/м <sup>3</sup>	$H_p$ , г/м <sup>3</sup>	$H_p / H$	$K_k$	F
Мін	13,1	568,2	601,2	1,05	-0,1	337,3
Мах	14,3	613,0	527,3	0,86	-1,0	1051,5

ках. За кородуючою здатністю – води напівкородуючі, незалежно від мінералізації. Води спінюються. За найбільшим та найменшим значеннями мінералізації води не мають вуглекислого, загальнокислого, сульфатного та магnezійного видів агресивності, але мають агресивність вилуговування, тобто можуть вимивати з бетону гідроксид кальцію. Отже, вода р. Оріль незалежно від значень мінералізації непридатна для технічних цілей за жорсткістю, кількістю осаду, кородуючою здатністю та агресивністю вилуговування.

Оцінка якості води для зрошення. За О.М. Костяковим, при мінімальному ( $1226 \text{ мг/дм}^3$ ) та максимальному ( $2084 \text{ мг/дм}^3$ ) значеннях мінералізації вода непридатна для зрошення, так як викликає засолення ґрунтів. За іригаційним коефіцієнтом Стеблера при мінімальному значенні мінералізації вода задовільна ( $K_a=10,05$ ), відноситься до першого типу. При максимальному значенні мінералізації вода також задовільна ( $K_a=7,12$ ), відноситься до другого типу. За І.М. Антипов-Каратаєвим і Г.М. Кадор значення коефіцієнту іонного обміну (К) при мінімальному значенні мінералізації 33,3; при максимальному 12,7. В обох випадках вода непридатна для іригації. Значення коефіцієнтів осолонцювання: при мінімальному значенні мінералізації  $SAR=2,1$ ; при максимальному  $SAR = 6,35$ . В обох випадках вода слаболужна з малою небезпекою осолонцювання. Значення відношення, запропонованого О.М. Можейко та Г.Х. Воронником, при мінімальному значенні мінералізації становить 0,29; при максимальному – 0,54. В обох випадках вода безпечна щодо осолонцювання. За М.Ф. Будановим, при мінімальному значенні мінералізації, відношення вмісту  $[Na^+] / [Ca^{2+}]$  становить 0,7, а відношення  $[Na^+] / ([Ca^{2+}]+[Mg^{2+}])$  дорівнює 0,4, тому вода придатна для зрошення. При максимальному значенні мінералізації, перше відношення становить 2,0, друге – 1,19, тому вода непридатна для зрошення.

Отже, при мінімальному значенні мінералізації ( $1226 \text{ мг/дм}^3$ ) вода придатна для зрошення за чотирма показниками з шести. При максимальному значенні мінералізації ( $2084 \text{ мг/дм}^3$ ) – вода придатна за трьома показниками з шести. У таких випадках необхідно чітко розуміти можливі негативні наслідки та приймати зважене рішення щодо використання цих вод для зрошення.

Якщо проаналізувати результати усіх виконаних оцінок, то виявляється, що вода р. Оріль може бути придатною лише для зрошення, коли спостерігаються мінімальні значення мінералізації. Зазвичай, мінімальні значення мінералізації спостерігаються під час повені, тобто навесні, коли немає потреби у зрошенні.

**Висновок.** Аналіз науково-практичної інформації про стан р. Оріль з гідрохімічних та гідрологічних позицій підтверджує той факт, що мають місце процеси її антропогенної деградації. Внаслідок багаторічного антропогенного впливу Оріль та її долина зазнали певної трансформації природних екосистем. Значні площі водозбірного басейну розорані та зайняті сільськогосподарськими культурами, призаплавні землі потерпають від ерозії. Великі лісові масиви в долині та на міжріччях поступово знищуються. Річкові води в певних районах понаднормативно використовують на господарсько-питні потреби та зрошення. Основною складовою скидів є неочищені господарсько-побутові стічні води та стоки з сільськогосподарських угідь. Часто річкова вода використовується нераціонально, забруднюється і засмічується. Усе це призводить до зменшення шансів первинних гідроекосистем на самовідновлення.

Під час вивчення характеристик річного стоку Орелі було встановлено, що річковий стік Орелі досить нерівномірний, як у багаторічному плині, так і по сезонах року. Для його коливань характерна циклічність, тобто послідовна зміна низки років підвищеної та зниженої водності (тобто додатна та від'ємна фази). Виділення циклів водності необхідне для коректного визначення норми стоку, яка дорівнює  $11,7 \text{ м}^3/\text{с}$  ( $M_0=1,24 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$ ). Середній квадратичний відхил становить менше 10%.

Хімічний склад природних вод формується протягом тривалого часу еволюції поверхневих вод і є складним комплексом розчинених газів, різних мінеральних солей і органічних сполук як природного, так і антропогенного походження. Аналіз масиву гідрохімічних даних за 2011–2019 рр. свідчить, що від витрат води в р. Оріль залежить концентрація головних іонів. При меженних витратах концентрація зростає, при повені та паводках – знижується. Під антропогенним впливом сольовий режим р. Оріль зазнав істотних змін. Узагальнюючи критерії іонного складу за класифікацією О.О. Альокіна, можна казати, що вода річки Оріль належить до сульфатного класу, групи натрію, тип II. За формулою хімічного складу вод М.Г. Курлова природні води Орелі є гідрокarbonатно-сульфатні кальцієво-натрієві. Усі ці іони надходять до р.Оріль не тільки природним шляхом, а й за рахунок господарської діяльності. Як виявилось, річкові води Орелі дуже жорсткі та непридатні для господарсько-питних та технічних цілей. Отже, на р. Оріль, як і на інших річках Дніпропетровської області та степової зони України, спостерігається поступове, повільне погіршення загального гідролого-гідрохімічного стану, чистоти вод та їх придатності для різних видів господарської діяльності.

### Література

1. Дем'янов В. В. Сучасний стан гідрологічної мережі басейну річки Оріль. *Проблеми створення Орільського національного природного парку: матеріали науково-практ. семінару, 16 лис. 2000 р.* Дніпропетровськ-Дніпродзержинськ, 2000. С. 12–14.

2. Барановський Б. О., Манюк В. В., Дем'янов В. В., Чегорка П. Т., Грицан Ю. І. Сучасний екологічний стан басейну річки Оріль в контексті створення національного природного парку «Приорільський». *Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету*, 2013. № 2. С. 55–60.
3. Кочет В.М. Людський фактор у функціонуванні природного заповідника «Дніпровсько-Орільський»: проблеми та шляхи їх вирішення. *Кафедра зоології та екології*: веб-сайт. URL: [https://www.zoology.dp.ua/z15\\_023.html](https://www.zoology.dp.ua/z15_023.html) (дата звернення 27.03.2023)
4. 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: 15.02.2023).
5. В Україні протікає найчистіша річка у Європі – р. Оріль. *Перший.com.ua* : веб-сайт. URL: <https://pershiy.com.ua/v-ukraini-protikaie-naichystisha-richka-u-ievgori-r-oril/> (дата звернення 27.03.2023 р.)
6. Найчистіша річка України на межі зникнення. *Останній bastion*: Веб-сайт. URL: [https://bastion.tv/najchistisha-richka-ukrayini-na-mezhi-zniknennya-meshkansci-dnipropetrovskoju-oblasti\\_n40063](https://bastion.tv/najchistisha-richka-ukrayini-na-mezhi-zniknennya-meshkansci-dnipropetrovskoju-oblasti_n40063) (дата звернення 27.03.2023 р.)
7. Оріль – одна з найчистіших і повноводніших річок України, висихає. *11 канал*: веб-сайт. URL: <https://11tv.dp.ua/news/dp/20090811-16799.html> (дата звернення 27.03.2023 р.)
8. Сердюк С.М., Науменко С.Д. Гідроекологічна оцінка якості води р. Оріль. «Вода та зміни клімату – Прискорення дій» : Матеріали науково-практ. конф., 20 березня 2020 р. Дніпро: ДДАЕУ, 2020. С. 32–33.
9. Сердюк С.М., Михайлова Т.С. Сучасні екологічні проблеми річки Оріль. «Вода для всіх»: Матеріали науково-практ. конф., 22 березня 2019 р. Дніпро: ДДАЕУ, 2019. С. 33–34.
10. Харитонов М. М., Онищенко О. М., Дворецький А. І. Оцінка екологічного стану акваресурсу р. Оріль у межах Дніпропетровської області. *Водні біоресурси та аквакультура*. Херсон. № 1. 2018. С. 87–94. URL: <http://wra-journal.ksauniv.ks.ua/archives/2018/1/10.pdf> (дата звернення: 15.03.2023)
11. СНиП 2.01.14-83. Визначення розрахункових гідрологічних характеристик. На заміну СН 435-72 ; [чинний від 1984-07-01]. Вид. офіц. Стройиздат : Москва, 1985. 36 с. (Будівельні норми)
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. 656с.
13. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною [Чинний від 2010-05-12]. К. : Міністерство охорони здоров'я України, 2012. 56 с. (Санітарні норми)
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. ДСТУ 2730:2015. Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії [Чинний від 22.06.2015 р.]. Київ : Мінекономрозвитку України, 2016. 13 с. (Захист довкілля)
16. Оріль. *Вікіпедія*: веб-сайт. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D1%80%D1%96%D0%BB%D1%8C> (дата звернення 27.03.2023 р.)
17. Dovhanenko, D., Horb, A., Serdiuk, S., Lunova, O., & Dotsenko, L. A study on flood runoff 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: 27.03.2023)
18. Про відновлення гідрологічного режиму річки Оріль. *Державне агентство водних ресурсів*: веб-сайт URL: <https://www.davr.gov.ua/news/pro-vidnovlennya-gidrologichnogo-rezhimu-richki-oril> (дата звернення 27.03.2023 р.)
19. Вишневецький В. І. Річки і водойми України. Стан і використання. Київ: Віпол, 2000. 375 с.
20. Гребінь В. В. Оріль. Енциклопедія Сучасної України: онлайн-версія / редкол.: І. М. Дзюба та ін.; НАН України, НТШ. Київ: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2022. веб-сайт. URL: <https://esu.com.ua/article-76031> (дата звернення: 16.02.2023).
21. Найчистіша річка Європи (Національні природні парки). *Портал «ДніпроКультура»*: веб-сайт. URL: Найчистіша річка Європи в нашому краї ([lib.dp.ua](http://lib.dp.ua)) (дата звернення: 16.02.2023).



УДК [502.211:581.526.325]:543.632.567:502(285)(477)  
DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.2-47.12>

## ВПЛИВ СПОЛУК НІТРОГЕНУ НА ФОРМУВАННЯ УГРУПОВАНЬ ФІТОПЛАНКТОНУ ОЗЕРА ЗАСВІТСЬКЕ

Суходольська І.Л., Басараба І.В.

Рівненський державний гуманітарний університет

вул. Ст. Бандери, 12, 33028, м. Рівне

[iryana.sukhodolska@rshu.edu.ua](mailto:iryana.sukhodolska@rshu.edu.ua), [ilona.basaraba@rshu.edu.ua](mailto:ilona.basaraba@rshu.edu.ua)

Досліджено структуру угруповань фітопланктону оз. Засвітське та показано зміни його кількісних показників внаслідок впливу температури води, рН, розчиненого кисню та сполук Нітрогену ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  і  $\text{NO}_3^-$ ). У фітопланктоні озера ідентифіковано 61(62) вид та ввт. з восьми відділів (*Chlorophyta*, *Bacillariophyta*, *Cyanobacteria*, *Streptophyta*, *Ochrophyta*, *Euglenozoa*, *Miozoa* та *Cryptophyta*). Виявлено переважання видів з низькою частотою трапляння (клас Е та D – 77,42%). Зафіксовано один вид з найвищою частотою трапляння, що належить до відділу *Streptophyta* (клас А – 1,61%). Встановлено зміни температури води (влітку – 18–22 °С, восени – 12–15 °С), рН (5,8–7,2), розчиненого кисню (8,63–9,44 мг $\text{O}_2$ /дм $^3$ ), нітрогену амонійного (0,281–0,745 мг/дм $^3$ ), нітритів (0,013–1,971 мг/дм $^3$ ) та нітратів (0,066–0,975 мг/дм $^3$ ). Показано перевищення граничнодопустимих концентрацій нітритів у 3,9–24,6 рази та нітрогену амонійного в 1,5 рази. Підтверджено надходження сполук Нітрогену з дифузних джерел ( $\text{NH}_4^+ < \text{NO}_3^-$ ). Ймовірними джерелами потрапляння сполук Нітрогену до оз. Засвітське є ведення сільськогосподарства у водозборі (рослинництво), оскільки, забруднення від дифузних джерел тваринницької галузі практично відсутнє. Виявлено найтіснішу кореляційну залежність між нітритами та температурою води ( $r = -0,69$ ), чисельністю ( $r = -0,44$ ) і загальною кількістю видів ( $r = -0,68$ ). Зазначено високий кореляційний зв'язок між нітратами та температурою води ( $r = 0,72$ ), рН ( $r = 0,71$ ),  $\text{O}_2$  ( $r = 0,42$ ), чисельністю ( $r = 0,66$ ), біомасою ( $r = 0,46$ ), а також кількістю видів ( $r = 0,60$ ). Сполуки Нітрогену ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  та  $\text{NO}_3^-$ ) безпосередньо впливають на формування угруповань фітопланктону шляхом зростання, чи навпаки, зниження розвитку відділів водоростей та окремих видів. Найбільше впливає на структуру угруповань фітопланктону оз. Засвітське вміст нітритів та нітратів, що підтверджується виявленими кореляційними зв'язками та зміщенням рівноваги в системі нітрати  $\leftrightarrow$  нітрити  $\leftrightarrow$  амоній в бік нітрифікації. Зазначені особливості формують своєрідний видовий склад фітопланктону оз. Засвітське, що виражається у зміні типового для озер співвідношення водоростей, зростання ролі *Streptophyta* та повного зникнення восени *Cyanobacteria*. **Ключові слова:** видове багатство, частота трапляння, розчинений кисень, активна реакція води, температура води, зміщення рівноваги в системі нітрати  $\leftrightarrow$  нітрити  $\leftrightarrow$  амоній, кореляційні зв'язки.

### The nitrogen compounds impact on the phytoplankton communities development in lake Zaslitske. Sukhodolska I., Basaraba I.

The study researches the structure of phytoplankton communities in lake Zaslitske and demonstrates the changes in its quantitative indicators as a result of water temperature impact, pH impact, dissolved oxygen and nitrogen compounds ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  and  $\text{NO}_3^-$ ) impact. In lake phytoplankton the author identifies 61(62) species and taxon within species from eight divisions (*Chlorophyta*, *Bacillariophyta*, *Cyanobacteria*, *Streptophyta*, *Ochrophyta*, *Euglenozoa*, *Miozoa* and *Cryptophyta*). It has been revealed predominance of species with a low occurrence frequency (class E and D – 77,42%). The study defines one species with the highest occurrence frequency that belongs to the division of *Streptophyta* (class A – 1,61%). It has been defined the changes in water temperature (in summer it was 18–22 °C, in autumn – 12–15°C), pH (5,8–7,2), dissolved oxygen (8,63–9,44 mg $\text{O}_2$ /дм $^3$ ), ammonium nitrogen (0,281–0,745 mg/дм $^3$ ), nitrites (0,013–1,971 mg/дм $^3$ ) and nitrates (0,066–0,975 mg/дм $^3$ ). The study covers the exceeding of nitrites maximum permissible concentrations 3,9–24,6 times and ammonium nitrogen ones 1,5 time. The author confirms the flow of the nitrogen compounds from diffuse sources ( $\text{NH}_4^+ < \text{NO}_3^-$ ). A probable source of the nitrogen compounds flow into lake Zaslitske is farming in the catchment (plantation) as pollution from diffuse sources of the livestock sector is practically absent. It has been revealed the closest correlation between nitrites and water temperature ( $r = -0,69$ ), number ( $r = -0,44$ ) and total number of species ( $r = -0,68$ ). The study defines high correlations between nitrates and water temperature ( $r = 0,72$ ), pH ( $r = 0,71$ ),  $\text{O}_2$  ( $r = 0,42$ ), number ( $r = 0,66$ ), biomass ( $r = 0,46$ ), and the amount of species ( $r = 0,60$ ). The nitrogen compounds ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  and  $\text{NO}_3^-$ ) directly affect the development of phytoplankton communities by increasing or, vice versa, decreasing the development of algae divisions and individual species. In lake Zaslitske nitrites and nitrates concentration impact on the phytoplankton communities structure most that is confirmed with revealed correlations and balance shifts in a system of nitrates  $\leftrightarrow$  nitrites  $\leftrightarrow$  ammonium towards nitrification. Mentioned characteristics develop peculiar species composition for phytoplankton in lake Zaslitske that is presented in changes of typical algae ratio in lake, increasing of *Streptophyta* importance and total *Cyanobacteria* disappearance in autumn. **Key words:** species richness, occurrence frequency, dissolved oxygen, water active reaction, water temperature, equilibrium shift in the nitrates  $\leftrightarrow$  nitrites  $\leftrightarrow$  ammonium system, correlations.

**Постановка проблеми.** Водойми уповільненого водообміну, до яких належать озера, зазнають як природного, так і антропогенного тиску. Наслідки цього впливу найкраще відображає гідрохімічний режим водойми та стан її біоти. Насамперед зміни відбуваються у автотрофній ланці – фітопланктоні. Формування угруповань фітопланктону та його

продуктивність суттєво залежать від вмісту неорганічних сполук Нітрогену ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  та  $\text{NO}_3^-$ ) у гідроекосистемі.

**Актуальність дослідження.** У межах допустимих концентрацій сполуки Нітрогену регулюють стійкість водних екосистем та підтримують нормальну життєдіяльність усіх гідробіонтів. Проте

перевищення нормативних показників сполук Нітрогену, внаслідок точкових, дифузних чи інших джерел потрапляння, призводить до забруднення, розвитку евтрофікації, що викликає зростання чисельності, біомаси та видового багатства водної флори, погіршення якості води, посилення токсичного впливу на біоту, порушення самоочисної та самовідновної функцій водної екосистеми. Зміна концентрації сполук Нітрогену у воді, чи зміщення їх рівноваги, впливає на фотосинтез, азотний обмін, ріст, розвиток, дихання та інші фізіологічні процеси організмів. Саме тому, особливий інтерес зосереджений на вивченні вмісту сполук Нітрогену у воді, можливого зміщення рівноваги в системі амоній ↔ нітриту ↔ нітрата та їхнього впливу на видове багатство, чисельність, біомасу, структурну організацію домінуючого комплексу, що відображають стан фітопланктону та водночас і здоров'я всієї гідроекосистеми.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та науково-практичними завданнями.** Сполуки Нітрогену, в залежності від форм знаходження у воді, безпосередньо впливають на формування угруповань фітопланктону шляхом зростання, чи навпаки, зниження розвитку деяких груп водоростей. Суттєве збільшення частки домінування представників тих чи інших відділів фітопланктону та раптове зростання їхньої чисельності та біомаси, в тому числі і тих, які викликають «цвітіння» води, змінює існуючі консортивні зв'язки, порушує баланс видів (співвідношення представників різних відділів) та погіршує якості води. Як високі концентрації сполук Нітрогену у водоймі, так і низькі, негативно впливають на структуру угруповань фітопланктону, тому важливо вивчати та враховувати основні причини порушення рівноваги в системі амоній ↔ нітриту ↔ нітрата.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вплив різних концентрацій сполук Нітрогену на формування угруповань фітопланктону показано у експериментальних та природних умовах [1, 8, 11–13, 15–17]. Найчастіше збільшення вмісту нітратів стимулює розвиток фітопланктону, а реакція на зростання нітрогену амонійного у воді залежить від рівня його концентрації, конкретного виду та відділу [7, 9, 15–17]. Зазвичай, високий вміст нітрогену амонійного негативно впливає на фітопланктон, проте, клітини рослин здатні знижувати токсичний ефект завдяки амонійзв'язуючим властивостям. За здатністю зв'язувати амоній відділи фітопланктону розподіляються наступним чином: *Chlorophyta* > *Bacillariophyta* > *Cyanobacteria*. Відповідно зелені водорості мають найкращу здатність зв'язувати амоній, тому існують за відносно високих концентрацій нітрогену амонійного, а синьозелені пригнічуються через значно нижчу активність детоксикації аміаку [1].

За умов дефіциту різних форм Нітрогену конкуренція між відділами фітопланктону більш помітна та

проявляється у зміні складу домінуючого комплексу, біомаси, чисельності та інших показників [8, 18].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Моніторингові дослідження стану водних екосистем включають озера, проте, основна перевага надається середнім, великим чи дуже великим за площею водного дзеркала. Багато малих та дуже малих озер не досліджені взагалі або наведені експериментальні дані лише частково відображають стан водойми. Наприклад, за окремі місяці, сезони чи ще коротший період часу. Відсутність результатів досліджень гідрохімічного складу води та фітопланктону малих озер часто не дозволяє проаналізувати та порівняти зміни, що відбуваються впродовж більш тривалого періоду та пояснити сукцесійні процеси, старіння водойми чи інші особливості. До малих водних об'єктів відносять оз. Засвітське, яке потребує детального вивчення автотрофної ланки та вмісту сполук Нітрогену, оскільки вони впливають на видове багатство, домінуючий комплекс та загалом визначають складність структури угруповань.

**Новизна.** Уперше досліджено фітопланктон оз. Засвітське та показано його сезонні зміни внаслідок впливу температури води, рН, розчиненого кисню та вмісту сполук Нітрогену.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Вивчення вмісту сполук Нітрогену у воді озера Засвітське та їхнього впливу на формування угруповань фітопланктону сприяють доповненню, до вже існуючих, відомостей про чинники регулювання розвитку біоти у водних об'єктах карстового походження.

**Викладення основного матеріалу.** Озеро Засвітське розташоване у північно-західній частині Рівненської області. Озеро має карстове походження та входить до складу Нобельського національного природного парку. Середня глибина оз. Засвітське становить 12,7 м, а максимальна – 16 м. Площа водозбору складає 0,71 км<sup>2</sup>. Довжина озера 0,62 км, а середня ширина варіює в межах 0,35 км. Площа водного дзеркала оз. Засвітське становить 0,22 км<sup>2</sup>. Береги озера вкриті різнотрав'ям та деревною рослинністю (наприклад, *Pinus sylvestris* L., *Betula verrucosa* Ehrh., *Alnus glutinosa* (L.) Gaerth.) [14]. Також добре представлена вища водна рослинність – *Elodea canadensis* Michx., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Typha latifolia* L., *Stratiotes aloides* L., *Myriophyllum spicatum* L. та інші види.

Проби води для проведення гідрохімічного аналізу оз. Засвітське (червень–жовтень, 2022 р.) та визначення фітопланктону (червень–жовтень, 2022 р. відбирали щомісяця (51°52'35.0"N 25°44'10.1"E). Вміст амонію визначали фотометричним методом за якісною реакцією з реактивом Несслера при довжині хвилі 420 нм. Вміст нітриту визначали діазотуванням реактивом Грісса з утворенням з 1-нафтиламином діазосполуки червоно-фіолетового кольору, яку

фотометрували при довжині хвилі 520 нм. Вміст нітратів визначали фотометрично з фенолдисульфокислотою з утворенням нітровмісного фенолу жовтого кольору при довжині хвилі 520 нм [4]. Реакцію водного середовища (рН) визначали за допомогою іономіра ЭВ-74.

Для визначення складу фітопланктону проби відбирали з глибини 0,2–0,3 м наповнюючи пластикові пробовідбірники об'ємом 0,5 дм<sup>3</sup>. Проби фіксували 40% розчином формальдегіду. Після відстоювання проби концентрували до об'єму 0,05–0,1 дм<sup>3</sup>. Камеральна обробка проб проводилась з використанням світлового мікроскопу «Laboval» (Karl Zeiss, Німеччина). Для підрахунку клітин використовували камеру Нажотта об'ємом 0,02 мл. Підрахунок клітин проводили в трьох повторностях. Підрахунок біомаси водоростей здійснювали загальноприйнятим розрахунково-об'ємним методом [6]. Таксономічну номенклатуру водоростей здійснено відповідно до міжнародного електронного каталогу AlgaeBase [10]. Статистичну обробку даних здійснено з використанням програми IBM IPSS Statistic 19.0.

Фітопланктон оз. Засвітське представлений 61 видом (62 внутрішньовидовими таксонами (ввт.)) восьми відділів (*Chlorophyta*, *Bacillariophyta*, *Cyanobacteria*, *Streptophyta*, *Ochrophyta*, *Euglenozoa*, *Miozoa* та *Cryptophyta*) (рис. 1).

Видове багатство фітопланктону озера має суттєві сезонні відмінності. Насамперед зафіксовано повне зникнення у вересні та жовтні представників відділу *Cyanobacteria*. 1–2 види відділу *Euglenozoa* виявлено у червні, серпні та вересні. *Euglenozoa* є індикаторами органічного забруднення води, тому вибіркове трапляння видів свідчить про зміни рівня

забруднення водойми. Крім того, стан водойми відображають види, що домінують за біомасою та чисельністю (табл. 1).

Найбільше виявлено видів, які домінують за чисельністю. Високої чисельності та біомаси досягає *S. ellipticum* West & G.S. West. Зазвичай, *S. ellipticum* (*Desmidiaceae*) заселяє водойми з низькою концентрацією органічних речовин. Зафіксовано і інших домінантів за біомасою, однак, важливу роль у формуванні структури угруповань відіграють субдомінанти. Зокрема, влітку (липень, серпень) субдомінанти за біомасою налічують по п'ять видів. Найчастіше субдомінанти представлені видами відділів *Chlorophyta*, *Euglenozoa*, *Streptophyta* та *Bacillariophyta*.

Ранжування видів водоростей за класами частоти трапляння показує, що у фітопланктоні оз. Засвітське переважають види з низькою частотою трапляння (77,42%) (рис. 2).

Найбільше зафіксовано видів, що трапляються «зрідка» (клас Е) – 40,32% та «нечасто» (клас D) – 37,10%. Зокрема, у фітопланктоні оз. Засвітське 9,68% видів трапляються «часто» (клас С). До видів з високою частотою трапляння належать представники відділів *Euglenozoa* – *T. volvocina* (Ehrenberg), *Cyanobacteria* – *M. pulverea* (H.C.Wood) Forti, *Chroococcus turgidus* (Kützing) Nägeli, *Chlorophyta* – *Stauridium tetras* (Ehrenberg) E. Hegewald, *Tetrademus obliquus* (Turpin) M.J. Wynne та *Bacillariophyta* – *Ulnaria acus* (Kützing) Aboal. У оз. Засвітське 11,29% видів трапляються «досить часто» (клас В). Серед них представники відділів *Cyanobacteria* – *S. lacustris* (Chodat) Komárek & Hindák, *Chlorophyta* – *O. submarina* Lagerheim, *Chlamydomonas sp.*, *H. tetrachotoma* (Printz) C. Bock,

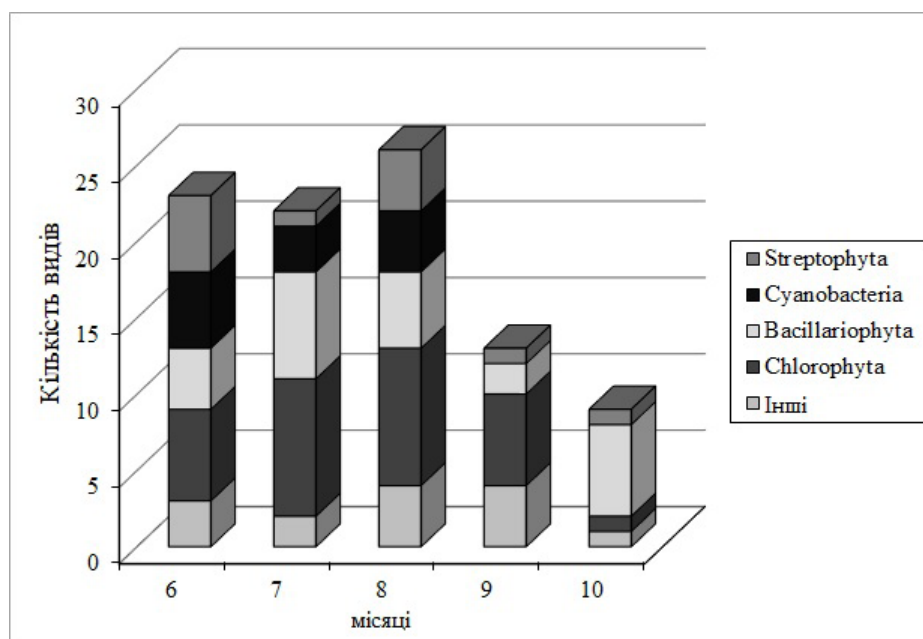


Рис. 1. Зміна видового багатства фітопланктону оз. Засвітське

Таблиця 1

## Домінуючий комплекс фітопланктону оз. Засвітське за чисельністю та біомасою, %

Види	місяці				
	6	7	8	9	10
<i>Cyanobacteria</i>					
<i>Cuspidothrix issatschenkoi</i> (Usachev) P.Rajaniemi, Komárek, R.Willame, P. Hrouzek, K.Kastovská, L.Hoffmann & K.Sivonen	–	<b>15</b> 2,8	–	–	–
<i>Microcystis pulverea</i> (H.C.Wood) Forti	–	+	<b>27,9</b> 0,9	–	–
<i>Snowella lacustris</i> (Chodat) Komárek & Hindák	<b>11,9</b> 1	<b>16,9</b> 2,2	<b>21,6</b> 4,2	–	–
<i>Spirulina</i> sp.	–	–	<b>13,5</b> 1,3	–	–
<i>Chlorophyta</i>					
<i>Hindakia tetrachotoma</i> (Printz) C.Bock, Pröschold & Krienitz	+	+	–	–	<b>22,2</b> 3,7
<i>Ulothrix</i> sp.	–	–	<b>10</b> 19,6	–	–
<i>Oocystis submarina</i> Lagerheim	+	+	+	<b>14,7</b> 3,1	–
<i>Euglenozoa</i>					
<i>Trachelomonas volvocina</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	+	–	<b>2,9</b> 19,6	+	–
<i>Streptophyta</i>					
<i>Spondylosium ellipticum</i> West & G.S.West	<b>60,6</b> 75,9	<b>5,5</b> 10,5	+	<b>60,7</b> 62,8	<b>37,8</b> 30,1
<i>Bacillariophyta</i>					
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère	–	<b>0,3</b> 10,1	–	–	–
<i>Cyclotella</i> sp.	–	+	+	+	<b>11,1</b> 15,7
<i>Miozoa</i>					
<i>Gymnodinium</i> sp.	–	+	–	<b>1,2</b> 12,7	–
<i>Ochrophyta</i>					
<i>Dinobryon divergens</i> O.E.Imhof	–	–	–	–	<b>11,1</b> 6,5

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

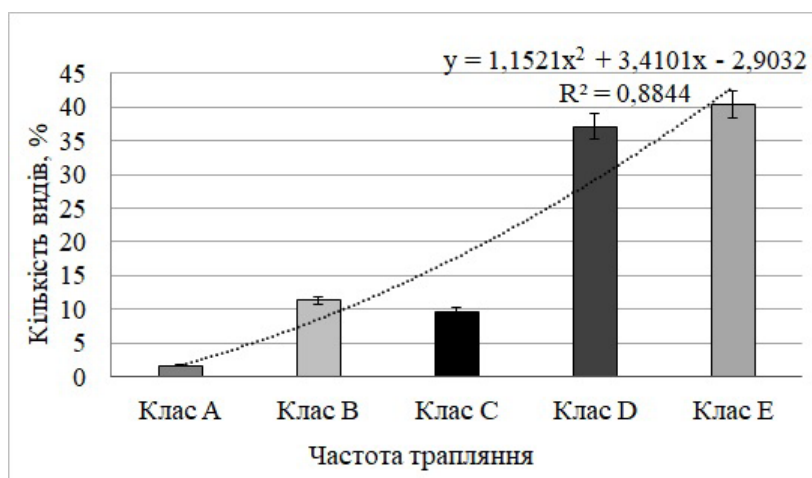


Рис. 2. Розподіл видів фітопланктону за класами частоти трапляння: клас А (81–100%) – види, що трапляються «дуже часто»; клас В (51–80%) – «досить часто»; клас С (21–50%) – «часто»; клас D (5–20%) – «нечасто»; клас E (1–4%) – види, які трапляються «зрідка»

Pröschold & Krienitz та *Bacillariophyta* – *Fragilaria tenera* (W.Smith) Lange-Bertalot, *Cyclotella* sp., *Nitzschia palea* (Kützing) W.Smith. Виявлено також один вид (1,61%), що трапляється «дуже часто» (клас А) – *S. ellipticum* West & G.S.West. Такий розподіл видового складу фітопланктону свідчить про своєрідність умов розвитку угруповань фітопланктону водойми.

На формування структури угруповань фітопланктону та його кількісні показники впливає температура води, рН і вміст розчиненого кисню. Температура води оз. Засвітське змінюється влітку в межах 18–22 °С, а восени – 12–15 °С. Водночас зі зниженням температури води зменшується загальна кількість видів, чисельність та біомаса, що зумов-

лено відмінними температурними оптимумами їхнього розвитку (рис. 3, 4).

Найвищі показники розвитку фітопланктону фіксуються при температурі води 18 °С (червень), а найнижчі – при температурі 12 °С (жовтень). Зокрема, чисельність та біомаса фітопланктону у червні становлять 2822 тис. кл/дм<sup>3</sup> і 0,8113 мл/дм<sup>3</sup>, а у жовтні – 90 тис. кл/дм<sup>3</sup> і 0,0361 мл/дм<sup>3</sup>.

Збільшення температури води до 22 °С зумовлює зменшення чисельності та біомаси фітопланктону, що пов'язано з особливостями вегетації домінуючих видів (рис. 4). Проте, при таких температурних умовах, найвищі показники чисельності виявлено для відділів *Cyanobacteria* (40,1–65,7%) та *Chlorophyta* (21,6–41,3%). Чисельність представни-

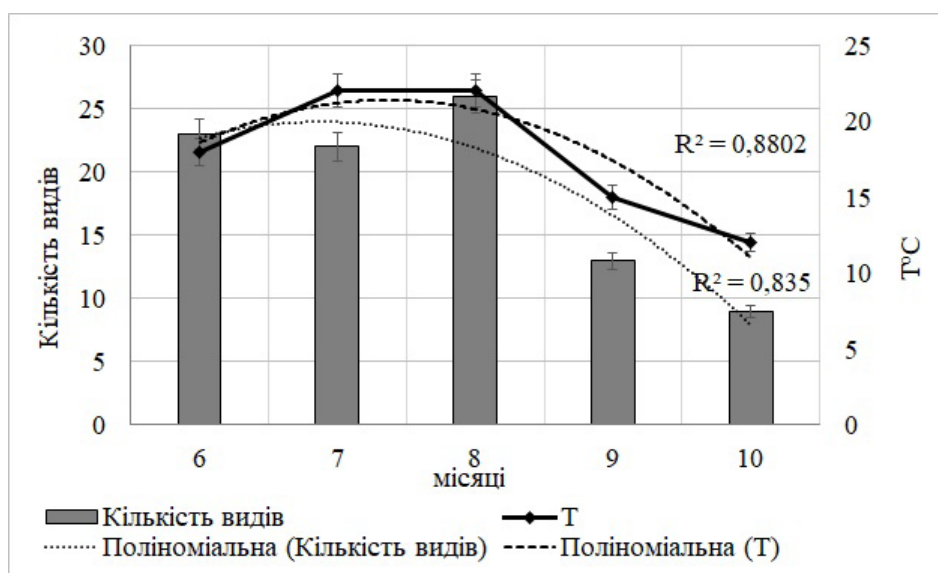


Рис. 3. Кількість видів фітопланктону та температура (Т) води

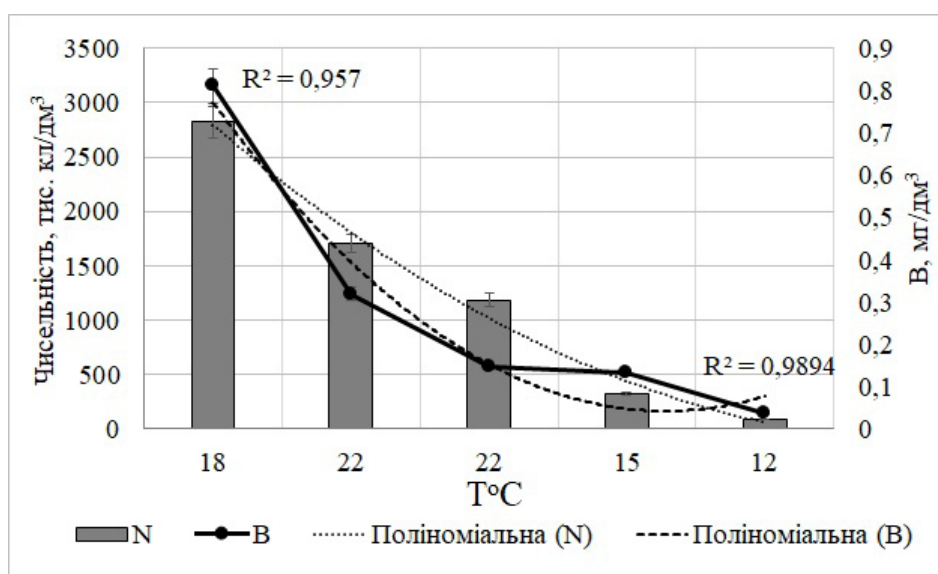


Рис. 4. Зміни чисельності та біомаси за різної температури (Т) води

ків *Bacillariophyta* залишається доволі низькою при температурі 22 °С, хоча їхня біомаса досягає високих значень (42,4%) за рахунок розвитку домінантних та субдомінантних видів. Відомо, що для представників відділу *Bacillariophyta* більш комфортними є нижчі температурні умови. Високі показники біомаси виявлено для представників відділів *Chlorophyta* (31,4–32,1%), *Euglenozoa* (24,9%) та *Streptophyta* (20,7%).

Зниження температури води восени зумовлює повне зникнення зі структури угруповань фітопланктону представників відділів *Cyanobacteria*, хоча їхня чисельність влітку (при температурі 18–22 °С) варіює в межах 27,2–65,7%. Водночас зниження температури води до 12 °С зумовлює зростання чисельності та біомаси представників відділу *Bacillariophyta* (28,9% та 59,7%) та *Streptophyta* (37,8% та 59,7%). Встановлено тісну залежність між кількістю видів та температурою води ( $r=0,93$ ,  $p<0,05$ ), між чисельністю та температурою ( $r=0,58$ ), а також між чисельністю та біомасою ( $r=0,94$ ,  $p<0,05$ ).

Найвищий показник рН виявлено у червні – 7,2, а найнижчий у вересні – 5,8. Впродовж липня і серпня рівень рН знижується, в порівнянні з червнем, та становить 6,75 і 6,04. У жовтні концентрація рН складає – 6,10 (рис. 5). Встановлено залежність

між рН та кількістю видів ( $r=0,49$ ), а також між рН і чисельністю та біомасою ( $r=0,92$ ,  $p<0,05$ ).

Вміст розчиненого кисню у воді впливає на перебіг окисно-відновлювальних процесів та зумовлює зміни структури угруповань фітопланктону. Крім того, інтенсивне використання кисню знижує рН води [3] та впливає на швидкість проходження процесів амоніфікації, нітрифікації, денітрифікації та азотфікації. Концентрація розчиненого кисню у воді оз. Засвітське змінюється в межах 8,63–9,44 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Впродовж червня та липня вміст розчиненого кисню у воді оз. Засвітське становить 9,22 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> та 9,44 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. У серпні та вересні вміст кисню знижуються до 8,63 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> та 8,96 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. У жовтні концентрація розчиненого у воді кисню знову починає зростати до 9,11 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> (рис. 5). Встановлено тісну залежність між вмістом розчиненого кисню та рН ( $r=0,82$ ), між вмістом розчиненого кисню та чисельністю і біомасою ( $r=0,55$  та  $r=0,71$ ).

На формування угруповань фітопланктону, його чисельність та біомасу впливає зміна концентрації сполук Нітрогену та їхнє співвідношення у воді оз. Засвітське (табл. 2).

Нітроген амонійний та нітрати рівноцінні джерела живлення для фітопланктону, однак, при нейтральному рН краще поглинається NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, а при кис-

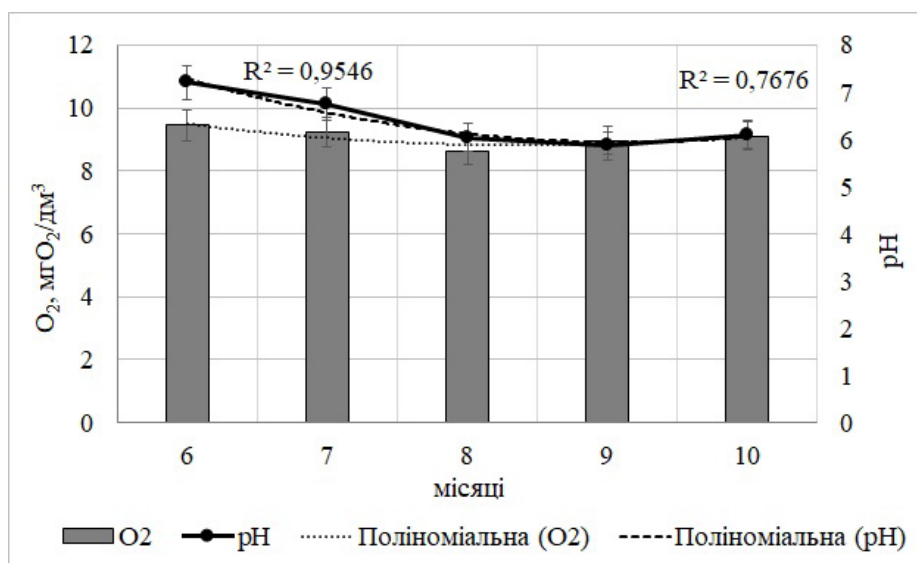


Рис. 5. Зміна концентрації розчиненого кисню та рН у воді оз. Засвітське

Таблиця 2

Вміст сполук Нітрогену у воді оз. Засвітське та їхнє співвідношення

Місяці	Сполуки Нітрогену, мг/дм <sup>3</sup>						Співвідношення [NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ]: [NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ]: [NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	%	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	%	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	%	
червень	0,281	24,6	0,329	28,8	0,532	46,6	1 : 1,17 : 1,89
липень	0,167	11,5	0,312	21,5	0,975	67,1	1 : 1,87 : 5,84
серпень	0,116	22,8	0,039	7,7	0,354	69,5	1 : 0,34 : 3,05
вересень	0,745	90,4	0,013	1,6	0,066	8,0	1 : 0,02 : 0,09
жовтень	0,051	2,3	1,971	89,6	0,177	8,0	1 : 38,65 : 3,47
Середнє	0,272	30,3	0,533	29,8	0,421	39,8	1 : 1,95 : 1,54

лому –  $\text{NO}_3^-$ . Нітроген амонійний поглинається та засвоюється фітопланктоном значно швидше ніж нітрати. Очевидно, що повільне поглинання зумовлено його попереднім відновленням з  $\text{NO}_3^-$  до  $\text{NH}_4^+$ , а на це потрібні не лише енергетичні ресурси, але і час [16].

Вміст нітрогену амонійного у воді оз. Засвітське у червні найнижчий за літній період (0,281 мг/дм<sup>3</sup>). Впродовж липня та серпня концентрація нітрогену амонійного варіює в межах 0,116–0,167 мг/дм<sup>3</sup>. Низький вміст нітрогену амонійного свідчить про його ефективне біологічне зв'язування, насамперед, за рахунок розвитку за чисельністю (9,6–41,3%) та біомасою (15,6–32,1%) влітку представників відділу *Chlorophyta*, які мають найвищу здатність детоксикації аміаку. Максимальне значення вмісту нітрогену амонійного у воді оз. Засвітське зафіксовано у вересні (0,745 мг/дм<sup>3</sup>), що перевищує ГДКрибгосп. у 1,5 рази (ГДКрибгосп.=0,5 мг/дм<sup>3</sup>). Поглинання фітопланктоном нітрогену амонійного зменшується у вересні, ймовірно, внаслідок зниження рівня рН (5,86) та більш інтенсивного поглинання нітратів. У жовтні концентрація нітрогену амонійного становить лише 0,051 мг/дм<sup>3</sup>, що зумовлює і різке зниження біомаси *Bacillariophyta* (рис. 6). Встановлено обернену залежність між нітрогеном амонійним та нітратами ( $r=-0,41$ ) і нітридами ( $r=-0,51$ ).

У вересні висока концентрація нітрогену амонійного зумовлює пригнічення розвитку *Cyanobacteria*, а зниження температури води посилює вплив та призводить до повного зникнення представників відділу. Однак біомаса *Chlorophyta*, навпаки, зростає завдяки високим амонійзв'язуючим властивостям.

Концентрація нітратів у воді оз. Засвітське у червні становить 0,532 мг/дм<sup>3</sup>. У липні вміст нітратів зростає майже вдвічі, однак, знаходиться в межах допустимих значень. Концентрація нітратів у серпні

становить 0,354 мг/дм<sup>3</sup>, а у вересні суттєво знижується та складає 0,066 мг/дм<sup>3</sup>. Вже у жовтні вміст нітратів зростає у 2,6 рази та становить 0,177 мг/дм<sup>3</sup>. Впродовж дослідження вміст нітратів не перевищує ГДК (ГДКрибгосп.=40 мг/дм<sup>3</sup>). Встановлено тісну залежність між нітратами та температурою води ( $r=0,72$ ), рН ( $r=0,71$ ), вмістом розчиненого кисню ( $r=0,42$ ), чисельністю ( $r=0,66$ ), біомасою ( $r=0,46$ ), а також між нітратами та кількістю видів ( $r=0,60$ ).

Найвищі показники біомаси відділів *Chlorophyta* та *Bacillariophyta* зафіксовано за найбільшої концентрації нітратів у воді оз. Засвітське, що свідчить про оптимальні умови для їхнього розвитку та активне поглинання видами  $\text{NO}_3^-$  (рис. 7). Водночас зниження вмісту нітратів у серпні, за рахунок його поглинання та інших процесів, призводить до зменшення біомаси усіх відділів. У серпні, незважаючи на зниження вмісту нітратів, біомаса *Bacillariophyta* зростає внаслідок більш активного споживання видами нітрогену амонійного, що призводить до зменшення його концентрацій у жовтні.

Концентрація нітридів у воді оз. Засвітське впродовж червня та липня суттєво не відрізняється та варіює в межах 0,312–0,329 мг/дм<sup>3</sup>, хоча і перевищує ГДКрибгосп. у 3,9–4,1 рази (ГДКрибгосп.=0,08 мг/дм<sup>3</sup>). Наступні два місяці вміст нітридів змінюється в межах допустимих значень та становить 0,013 мг/дм<sup>3</sup> та 0,039 мг/дм<sup>3</sup>. У жовтні концентрація нітридів різко зростає до 1,971 мг/дм<sup>3</sup>, що перевищує ГДК у 24,6 рази. Висока концентрація нітридів, що перевищує ГДК у окремі місяці, ймовірно пов'язана із сповільненням першої фази нітрифікації – окиснення аміаку до азотистої кислоти (нітридів). Крім того, завершення вегетаційного періоду у жовтні зумовлює додаткове надходження нітридів внаслідок відмирання гідробіонтів. Найбільш тісну кореляційну залежність виявлено між нітридами та

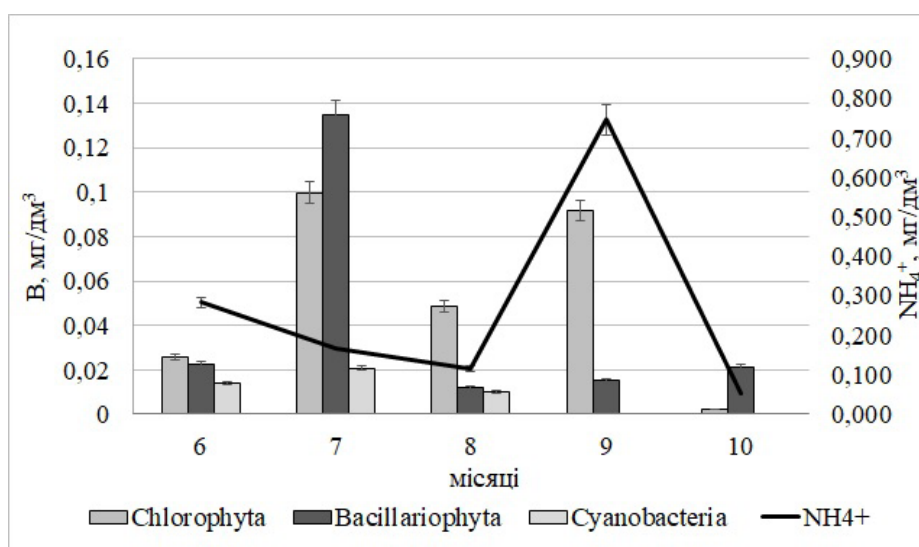


Рис. 6. Зміна біомаси відділів фітопланктону за різної концентрації нітрогену амонійного

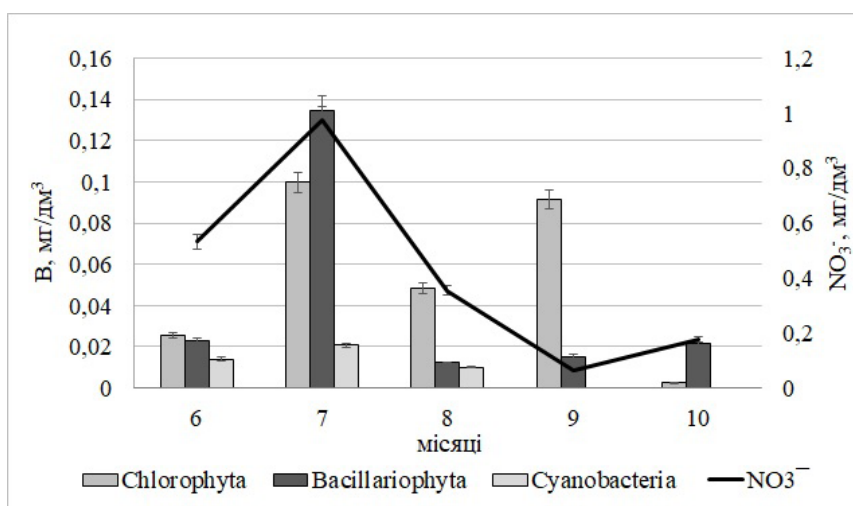


Рис. 7. Зміна біомаси відділів фітопланктону за різної концентрації нітратів

температурою води ( $r=-0,69$ ), чисельністю ( $r=-0,44$ ) і загальною кількістю видів ( $r=-0,68$ ). Негативна кореляція між показниками фітопланктону та  $\text{NO}_2^-$  підтверджує зниження біомаси за високих концентрацій нітритів та її зростання за відносно низьких значень (рис. 8). Аналогічні закономірності прослідковуються як для біомаси, так і для чисельності.

Сполуки Нітрогену визначають особливості протікання основних біохімічних реакцій рослин, а їхній дефіцит або надлишок у воді обмежує чи прискорює ріст і розвиток конкретних видів та відділів фітопланктону. На видове багатство фітопланктону, рівень трофності та продуктивність водних екосистем найбільше впливають нітроген амонійний і нітрати, а нітрити трохи менше [2]. Ймовірно внаслідок того, що у природних водоймах високі концентрації нітритів фіксуються вкрай рідко. Проте у оз. Засвітське вміст  $\text{NO}_2^-$  перевищує ГДК впродовж трьох місяців,

а отримані кореляційні показники показують негативний зв'язок між нітритами та кількістю видів і чисельністю. Нітрати, навпаки, згідно кореляційного аналізу сприяють зростанню чисельності, біомаси та збільшенню кількості видів.

Впродовж усіх місяців, за винятком вересня, спостерігали зміщення рівноваги в системі нітрати  $\leftrightarrow$  нітрити  $\leftrightarrow$  амоній в бік нітратів (червень–серпень) та нітритів (жовтень), що свідчить про переважання процесу нітрифікації. Максимальні відношення  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  виявлено у липні (5,84), серпні (3,05) та жовтні (3,47). Максимальні відношення  $\text{NO}_2^-/\text{NH}_4^+$  виявлено у липні (1,87) та жовтні (38,65).

Відомо, що чинники, які зумовлюють зміщення рівноваги сполук нітрогену досить різноманітні, а їхній вплив може бути як довготривалим, так і короткотривалим. У даному контексті важливо розглянути можливі джерела потрапляння забруд-

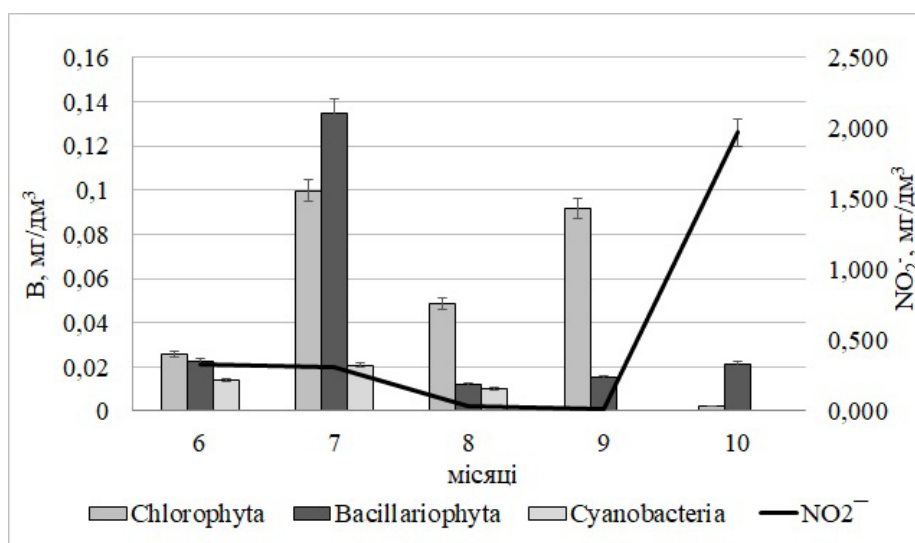


Рис. 8. Зміна біомаси відділів фітопланктону за різної концентрації нітритів



нюючих речовин, що впливають на концентрацію сполук Нітрогену у оз. Засвітське. Згідно з запропонованими підходами [5], впродовж дослідження виконується умова  $\text{NH}_4^+ < \text{NO}_3^-$  (за винятком лише вересня  $\text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^-$ ), що свідчить про переважання надходження сполук Нітрогену саме з дифузних джерел. Ймовірними джерелами потрапляння сполук Нітрогену до водойми є ведення сільського господарства у водозборі (рослинництво), оскільки, забруднення від дифузних джерел тваринницької галузі практично відсутнє. На даний час чисельність поголів'я ВРХ у с. Млин, поблизу якого розташоване оз. Засвітське, становить близько 9. Водночас, сільськогосподарські угіддя розташовані досить близько до водойми та можуть слугувати основним джерелом потрапляння забруднюючих речовин до водойми.

**Головні висновки.** Фітопланктон оз. Засвітське формують види відділів *Chlorophyta*, *Bacillariophyta*, *Cyanobacteria*, *Streptophyta*, *Ochrophyta*, *Euglenozoa*, *Miozoa* та *Cryptophyta*. У водоймі переважають види класів E та D, які трапляються «зрідка» (40,32%) та «нечасто» (37,10%). Види класу C та B, які трапляються «часто» і «досить часто» становлять 9,68% та 11,29%. Зафіксовано один вид (1,61%) класу A з найвищою частотою трапляння – *S. ellipticum*.

Концентрація рН у воді оз. Засвітське варіює в межах 5,8–7,2, а концентрація розчиненого кисню змінюється від 8,63  $\text{mgO}_2/\text{dm}^3$  до 9,44  $\text{mgO}_2/\text{dm}^3$ . Вміст розчиненого кисню корелює з чисельністю і біомасою ( $r=0,55$  та  $r=0,71$ ). рН корелює з кількістю видів ( $r=0,49$ ), чисельністю, біомасою ( $r=0,92$ ,  $p<0,05$ ) та вмістом розчиненого кисню ( $r=0,82$ ). Температура води впливає на кількість видів ( $r=0,93$ ,  $p<0,05$ ) та чисельність ( $r=0,58$ ) фітопланктону.

Вміст нітрогену амонійного у воді оз. Засвітське варіює від 0,281  $\text{mg}/\text{dm}^3$  до 0,745  $\text{mg}/\text{dm}^3$ , що перевищує ГДК в 1,5 рази. Концентрація нітритів змінюється в межах 0,013–1,971  $\text{mg}/\text{dm}^3$  та перевищує ГДК у 3,9–24,6 рази. Найвища концентрація нітратів становить 0,975  $\text{mg}/\text{dm}^3$ , а найнижча – 0,066  $\text{mg}/\text{dm}^3$ . Найтіснішу кореляційну залежність виявлено між нітритами та температурою води ( $r=-0,69$ ), чисельністю ( $r=-0,44$ ) і загальною кількістю видів ( $r=-0,68$ ). Встановлено зв'язок між нітратами та температурою води ( $r=0,72$ ), рН ( $r=0,71$ ),  $\text{O}_2$  ( $r=0,42$ ), чисельністю ( $r=0,66$ ), біомасою ( $r=0,46$ ), а також кількістю видів ( $r=0,60$ ).

Сполуки Нітрогену ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  та  $\text{NO}_3^-$ ) у різних співвідношеннях посилюють чи пригнічують розвиток відділів фітопланктону. Найяскравіше проявляється вплив нітритів та нітратів на фітопланктон оз. Засвітське, що підтверджується виявленими кореляційними зв'язками та зміщенням рівноваги в системі нітрати  $\leftrightarrow$  нітрити  $\leftrightarrow$  амоній в бік нітрифікації. Конкурентна ефективність різних відділів фітопланктону за сполуки Нітрогену ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  та  $\text{NO}_3^-$ ), температура води, рН та вміст розчиненого кисню є ключовими чинниками, які визначають структуру угруповань та їхні кількісні показники.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Врахування впливу хімічного складу води, в тому числі і сполук Нітрогену, на структуру угруповань альгофлори озер дозволяє не лише пояснити зміни співвідношення представників різних відділів фітопланктону та їхніх кількісних показників, але й прогнозувати розвиток видів за різних концентрацій елементів у воді.

### Література

1. Клоченко П.Д., Грубинко В.В., Гуменюк Г.Б., Арсан О.М. Особенности ассимиляции аммонийного азота зелеными и синезелеными водорослями. *Гидробиологический журнал*. 2002. Т. 38. № 2. С. 88–93.
2. Клоченко П.Д., Шевченко Т.Ф., Горбунова З.Н. Фітоепіфітон як індикатор стану водойм Національного природного парку «Голосіївський» (Україна). *Гидробиологический журнал*. 2022. Т.5 8. № 2. С. 32–44.
3. Линник П.М., Жежеря В.А. Особливості динаміки окремих елементів гідрохімічного режиму малих водойм урбанізованої території: кисневий режим та мінералізація води. *Гидробиологический журнал*. 2022. Том 58. № 2. С. 99–116.
4. Набиванець Б.Й., Осадчий В.І., Осадча Н.М., Набиванець Ю.Б. Аналітична хімія поверхневих вод. Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут. К.: Наукова думка, 2007. 456 с.
5. Наказ Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України «Про затвердження Методики визначення зон, вразливих до (накопичення) нітратів» № 244 від 15.04.2021. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0776-21#Text> (дата звернення: 17.01.2023).
6. Щербак В.І. Методи досліджень фітопланктону. Методичні основи гідробіологічних досліджень водних екосистем. Київ, 2002. С. 41–48.
7. Donald D.B., Bogard M.J., Finlay K., Leavitt P.R. Comparative effects of urea, ammonium, and nitrate on phytoplankton abundance, community composition, and toxicity in hypereutrophic freshwaters. *Limnology and Oceanography*. 2011. 56(6). P. 2161–2175. <https://doi.org/10.4319/lo.2011.56.6.2161>
8. Glibert P.M., Wilkerson F. P., Dugdale R.C., Raven J.A., Dupont C.L., Leavitt P.R., Parker A.E., Burkholder J.M., Kanna T.M. Pluses and minuses of ammonium and nitrate uptake and assimilation by phytoplankton and implications for productivity and community composition, with emphasis on nitrogen-enriched conditions. *Limnology and Oceanography*. 2016. 61. P. 165–197. <https://doi.org/doi:10.1002/lno.10203>
9. Gong D., Guo Z., Wei W., Bi J., Wang Z., Ji X. Phytoplankton Community Structure and Its Relationship with Environmental Factors in Nanhai Lake. *Diversity*. 2022. Vol. 14. P. 927. <https://doi.org/10.3390/d14110927>
10. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electron. publ. Nat. Univ. Ireland, Galway. 2023. <https://www.algaebase.org> (дата звернення: 15.01.2023).

11. Haldna M., Milius A., Laugaste R., Kangur K. Nutrients and phytoplankton in Lake Peipsi during two periods that differed in water level and temperature. *Hydrobiologia*. 2008. 599. P. 3–11. <https://doi.org/10.1007/s10750-007-9208-9>
12. Kharbush J.J., Robinson R.S., Carter, S.J. Patterns in sources and forms of nitrogen in a large eutrophic lake during a cyanobacterial harmful algal bloom. *Limnology and Oceanography*. 2023. 9999. P. 1–13. <https://doi.org/10.1002/lno.12311>
13. Klimaszuk P., Kuczyńska-Kippen N., Szelaż-Wasielewska E., W. Marszelewski, Borowiak D., Niedzielski P., Nowiński K., Kurmanbayev R., Baikenzheyeva A., Rzymiski P., Spatial heterogeneity of chemistry of the Small Aral Sea and the Syr Darya River and its impact on plankton communities. *Chemosphere*. 2022. Vol. 307(2). 135788. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135788>
14. Kovalchuk I.P., Martyniuk V.O., Šeirienė V. The basin-landscape approach to the protection and condition optimization of the lakes of the National Parks. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography. Ecology»*. 2020. Vol. 53. P. 238–251. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-18>
15. Kureyshevich A.V. Response of phytoplankton of eutrophic reservoirs to the increase in the content of phosphorus and nitrogen in their waters. *Hydrobiological Journal*. 2005. Vol. 41, № 6. P. 3–22.
16. Nezbitskaya I.N., Kureyshevich A.V., Yarovoy A.A., Potrokhov A.S., Zin'kovskiy O.G. Peculiarities of the Influence of High Concentrations of Ammonium on the Functioning of Some Species of *Cyanoprokaryota*, *Chlorophyta*, and *Euglenophyta*. *Hydrobiological Journal*. Vol. 55(2). 2019. P. 69–82. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v55.i2.60>
17. Rückert G.V., Giani A. Effect of nitrate and ammonium on the growth and protein concentration of *Microcystis viridis* Lemmermann (*Cyanobacteria*). *Brazilian Journal of Botany*. 2004. Vol. 27. № 2. P. 325–331.
18. Swarbrick V.J., Simpson G.L., Glibert P.M., Leavitt P.R. Differential stimulation and suppression of phytoplankton growth by ammonium enrichment in eutrophic hardwater lakes over 16 years. *Limnology and Oceanography*. 2019. 64. P. 130–149. <https://doi.org/10.1002/lno.1109>

## ЯКІСТЬ ВОДИ ОЗЕРА СВІТЯЗЬ ЗА ВМІСТОМ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПІД ВПЛИВОМ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Христецька М.В.

Шацький національний природний парк  
вул. Жовтнева, 61, 44021, с. Світязь  
[shnpp.park@gmail.com](mailto:shnpp.park@gmail.com)

У статті розглянута одна із найважливіших проблем сьогодення – вплив діяльності людини на природні ресурси, а саме, зміна якості води за вмістом хімічних елементів, внаслідок розвитку рекреаційної інфраструктури та збільшення потоку туристів на території Шацького національного природного парку. Так, як Шацькі озера визнано ЮНЕСКО найціннішими екосистемами Східної Європи. Дослідження проводились на прикладі озера Світязь, так як воно найглибше й найбільше за об'ємом водного середовища прісноводне озеро України та Західного Полісся. У сучасних умовах значного зниження рівня екологічної безпеки, зумовленого інтенсифікацією впливу кліматичних змін й антропогенних навантажень, озеро має велике значення як джерело прісної води, яке потрібно зберегти. За результатами гідрохімічного аналізу води, який здійснювався працівниками Лабораторії моніторингу вод та ґрунтів Регіонального офісу водних ресурсів Волинської області та Шацького НПП протягом 2018–2022 років є незначні відхилення окремих показників, але вони є тимчасовими і мають сезонний характер, тому не впливають на загальний стан якості води озера Світязь. Цьому сприяють основні природні чинники – відносно короткий сезон масового відпочинку, потужні джерела, постійний водообмін. Варто відзначити, що найчастіше проби води беруть на початку відпочинкового сезону і в кінці. Аналіз стану водного об'єкту за гідрохімічними показниками за роки спостережень показує, що вони мають задовільний гідрохімічний стан і всі компоненти знаходяться в межах гранично-допустимих норм, тому попри значну кількість туристів якість вода в озері Світязь є чистою і до початку нового відпочинкового сезону, природним шляхом повністю фільтрується і відновлюється. *Ключові слова:* озеро Світязь, антропогенне навантаження, якість води, гідрохімічні показники, аналіз, рекреаційне.

### **Water quality of lake Svityaz by the content of chemical elements under the influence of anthropogenic load. Khrystetska M.**

The article discusses one of the most important problems of today – the impact of human activity on natural resources, namely, the change in water quality in terms of the content of chemical elements, as a result of the development of recreational infrastructure and the increase in the flow of tourists on the territory of the Shatsky National Nature Park. Just as the Shatsky Lakes are recognized by UNESCO as the most valuable ecosystems of Eastern Europe. The research was conducted on the example of Lake Svityaz, as it is the deepest and largest freshwater lake of Ukraine and Western Polissia in terms of water volume. In today's conditions of a significant decrease in the level of ecological safety caused by the intensification of the influence of climate change and anthropogenic loads, the lake is of great importance as a source of fresh water that must be preserved. According to the results of the hydrochemical analysis of water, which was carried out by the employees of the Water and Soil Monitoring Laboratory of the Regional Office of Water Resources of the Volyn Region and the Shatsky NPP during the years 2018–2022, there are slight deviations of individual indicators, but they are temporary and seasonal in nature, so they do not affect the overall state of quality waters of Lake Svityaz. This is facilitated by the main natural factors – a relatively short season of mass recreation, powerful springs, constant water exchange. It is worth noting that water samples are most often taken at the beginning and end of the holiday season. The analysis of the state of the water body by hydrochemical indicators over the years of observation shows that they have a satisfactory hydrochemical state and all components are within the limits of permissible norms, therefore, despite the significant number of tourists, the water quality in Lake Svityaz is clean even before the start of the new holiday season. is completely filtered and regenerated naturally. *Key words:* Lake Svityaz, anthropogenic load, water quality, hydrochemical parameters, analysis, recreational.

**Постановка проблеми та її значення.** На сьогодні рекреація є однією з форм антропогенного навантаження, що справляє суттєвий вплив на природні екосистеми [10], зокрема на якість водних ресурсів. Тому останнім часом, унаслідок дефіциту чистої прісної води великим озерам – природним сховищам прісних вод, – надається особлива увага. Не є виключеннями при цьому і озера Шацького національного природного парку.

Шацьке поозер'я – унікальний природний об'єкт Європейського масштабу і ця унікальність полягає, насамперед, в гідроекологічних умовах формування

його неповторних ландшафтів і ценозів. Шацькі озера розташовані у межиріччі Західного Бугу і Прип'яті у заболочених місцевостях Верхньоприп'ятської низовини. Серед корінних порід переважає крейда й мергель верхньокрейдового віку, що зумовлює інтенсивний розвиток карсту. Цьому сприяють також атмосферні опади і підземні води, які циркулюють по тріщинах і утворюють численні висхідні джерела в озерах. [6].

Серед Шацьких озер особливе місце займає озеро Світязь, яке відоме як в Україні, так і за її межами. Озеро Світязь – найбільше озеро у групі Шацьких

озер, найглибше озеро природного походження в Україні. Площа Світязя становить 2622 га, довжина – 9225 м, ширина – 4000 м, максимальна глибина – 58,4 м, середня глибина – 6,9 м, протяжність берегової лінії біля 30 км. Завдяки розгалуженню карстових печер та природним процесам, озеро постійно очищується та оновлюється, в його воді міститься велика кількість срібла та гліцерину, котрі мають корисні властивості [12].

**Актуальність та мета дослідження.** На сьогодні рекреаційне навантаження на озеро Світязь в сезон відпочинку суттєво збільшилося. Тому дослідження якості води в озері Світязь за вмістом хімічних елементів, в умовах зростаючого антропогенного впливу є актуальним і потребує комплексного дослідження. Хімічний склад природних вод є інтегральною характеристикою, що віддзеркалює вплив природних та антропогенних чинників на довкілля. Під якістю води треба розуміти кількісну характеристику її складу та властивостей, які визначають її біологічну повноцінність – здатність забезпечити функціонування основних ценозів екологічної системи, яка сформувалася у процесі еволюції, і можливість її використання з певною метою. Однак, комплексні оцінки якості води (водогосподарська і екологічна) часто не співпадають, що і є причиною розходжень більшості класифікацій [12].

Основною метою даної роботи є аналіз зміни гідрохімічних показників, як елементів оцінки стану водного об'єкта, за останні п'ять років, внаслідок збільшення рекреантів на території Шацького національного природного парку.

**Методологія.** Засновано на аналітичних та польових методах дослідження. Гідрохімічні показники визначено за загальноприйнятими стандартними методиками хімічного аналізу поверхневих вод. Проби води для дослідження відбирали із поверхневого горизонту співробітники Лабораторії моніторингу вод та ґрунтів Регіонального офісу водних ресурсів у Волинській області ДАВРУ та Шацького НПП за період 2018–2022 роки.

**Викладення основного матеріалу.** На сучасному етапі розвитку людського суспільства склалась не досить сприятлива ситуація з забезпеченням водою, особливо це стосується питної води. Багато країн потерпають від повеней, в той час як 1,8 млрд. населення планети не забезпечені якісною питною водою. Вода як природний ресурс в багатьох країнах перетворилась у найцінніший ресурс. Проблемами, пов'язаними з водою, опікується Міжнародна комісія по іригації і дренажу (МКІД), головною метою якої є оптимізація управління водними і земельними ресурсами в світі [12].

За запасами місцевих природних ресурсів України відноситься до найменш забезпечених в Європі країн. Однак Волинська область добре забезпечена водними ресурсами як підземних, так і поверхневих вод. Територія області знаходиться в межах Волино-

Подільського артезіанського басейну; тут налічується більше як 235 озер, протікає понад 130 річок, близько 1815 ставків, 8 водосховищ.

До територій Волинської області, що мають значні запаси водних ресурсів, відноситься Шацький національний природний парк (Шацький НПП, ШНПП), який знаходиться на крайньому північному заході області в межах Західного Полісся на Головному Європейському вододілі між ріками Західний Буг і Прип'ять. Територія Шацького НПП становить унікальне поєднання озерних, лісових та болотних екосистем поліського типу, водно-болотні природні комплекси якого мають міжнародне значення. За характером озерного комплексу, розташованого на Головному Європейському вододілі, територія не має аналогів в Україні.

Шацькі озера визнано ЮНЕСКО найціннішими прісноводними екосистемами Східної Європи [6]. Завдяки невеликій заселеності території, тривалому ощадливому користуванню, консервативності традиційних форм природокористування місцевого населення, на території парку збереглися цілісні природні екосистеми, багате ландшафтне і біологічне різноманіття. З іншого боку, тут за відносно короткий проміжок часу сформувалися умови з високим рекреаційним навантаженням, тому територія Шацького поозер'я стала придатною для формування режиму не біосферного заповідника, а біосферного резервату. У квітні 2002 р. за рішенням 17-ї сесії Бюро міжнародного координаційного комітету ЮНЕСКО МАБ ШНПП віднесений до складу світової мережі біосферних резерватів. Функціонування світової мережі біосферних резерватів, тобто спеціальної системи екологічного моніторингу за природним середовищем, через зростаюче антропогенне навантаження на біосферу – головна мета міжнародної програми ЮНЕСКО МАБ, яка була схвалена на Севільській конференції у 1995 р.

Загальна площа біосферного резервату «Шацький» становить 75 074,9 га. Згідно функціонального зонування площа природного ядра, до складу якого входять рідкісні для Полісся оліготрофні, а також мезотрофні та евтрофні болота і природні деревостани, сягає 5731,9 га (7,63% території біосферного резервату), буферної зони – 12 325 га (16,42%), транзитної зони – 57 018,0 га (75,95%) [6].

Сьогодні рекреаційна діяльність стає однією із найперспективніших галузей господарства і набуває глобального характеру. Людство дедалі більше усвідомлює важливість туристично-привабливих ділянок, серед яких значну увагу приділено територіям національних природних парків. Водночас адміністрації парків прикладають чимало зусиль для розбудови рекреаційної інфраструктури на своїх територіях [9].

Унікальна екосистема озера Світязь вирізняється водою високої якості. Вода в озері прісна і належить до типу гідрокарбонатно-кальцієвих, насичена роз-

чиненим киснем, має нейтральну і слаболужну реакцію, чиста і придатна для пиття [10]. Проте з кожним роком рекреаційне та господарське навантаження на його екосистему стає все потужнішим. Сьогодні озеро є одним із найпопулярніших об'єктів рекреації та туризму [8].

Антропогенне навантаження на природні комплекси Шацького національного природного парку і, зокрема, на водні ресурси озера Світязь здійснює рекреаційна діяльність, особливо в літній період, коли територію Шацького НПП відвідують сотні тисяч туристів, які переважно відпочивають на у зоні стаціонарної та регульованої рекреації табл. 1.

Регулювання потоків рекреантів у Шацькому НПП ведеться відповідно до норм рекреаційних навантажень на природні комплекси згідно з «Проектом організації, охорони, відтворення та рекреаційного навантаження на природні комплекси та об'єкти Шацького НПП», насамперед це стосується водойм. Сьогодні відмічена тенденція до постійного зростання кількості відпочиваючих, що спричинено мальовничістю озер, покращенням якості умов відпочинку, популярністю території Шацького національного природного парку [5].

Враховуючи суттєве антропогенне навантаження на природньо-аквальні комплекси, забезпечення якісних характеристик водних ресурсів виникає необхідність проведенні гідрохімічних досліджень якості води.

За хімічним складом і мінералізацією озерні води дуже різноманітні. Солоність їх змінюється від 14 мг/л (майже дистильована вода) до високої концентрації насичених та перенасичених розчинів, які містять до 300–350 г солі на 1 кг води. Значною мірою на хімічний склад озерних вод впливають біологічні процеси, які відбуваються в озерних водах; вони сприяють утворенню солей фосфору, азоту, кремнію, частково заліза, за рахунок їх в озерній воді утворюються органічні сполуки (гумінові кислоти, амінокислоти, спирти, жирні кислоти тощо).

За хімічним складом води озер поділяються на три групи: гідрокарбонатні, з переважанням іонів  $\text{HCO}_3$  (такі води характерні для більшості прісних озер), сульфатні, з переважанням сірчанних сполук (такі води характерні для солонуватих озер) і хлоридні, з переважанням іонів  $\text{Cl}$  (такі води характерні для солоних озер). Хімічний баланс озер. Хімічні елементи у вигляді іонів, колоїдів, газів здебільшого надходять в озера разом із поверхневими і підземними водами, які живлять їх; частина хімічних елементів утворюється в самому озері внаслідок розчинення солей, які містяться в ґрунтах і гірських

породах, що складають озерну улоговину, або внаслідок розкладання мулу. Деякі елементи, в основному газу, надходять з атмосфери [12].

Саме хімічні властивості води, а точніше вміст розчинених у ній мінеральних речовин (а це, в основному, солі, мінерали), а отже, і відносний ступінь її жорсткості. Проста вода без домішок ( $\text{H}_2\text{O}$ ) має показник 0 мг/л. Чим більше домішок у воді, тим важче вона засвоюється організмом. За показником фізіологічної повноцінності мінерального складу води оптимальною є мінералізація від 200 до 500 мг/л, адже з водою в організм людини потрапляють й корисні мінеральні речовини. За стандартами якості питної води вона є придатною для пиття в діапазоні від 0 до 1000 мг/літр, в деяких країнах – від 0 до 1500 мг/літр [10].

Важливою характеристикою озера Світязь є хімічний склад води, який протягом десятиріч залишається достатньо стабільним і на його складі позначаються не тільки особливості водного режиму озера, але і рівень антропогенного навантаження на акваторію.

В цілому вода озера Світязь прісна з найменшою мінералізацією води серед озер Шацької групи. Мінералізація води протягом десяти років коливається у межах 105–400 мг/дм<sup>3</sup>. В хімічному складі переважають гідрокарбонати та кальцій, вміст якого відповідно становить 80–290 мг/дм<sup>3</sup> та 20,5–60,0 мг/дм<sup>3</sup>. Найвищий рівень мінералізації спостерігається у весняно-літній період. В цілому зміна мінералізації поверхневих і підземних вод носить синхронний характер і синхронізується з кількістю опадів. Підвищення мінералізації ґрунтових вод збігається з підвищенням кількості опадів, що є логічним, враховуючи їхню роль в інфільтрації до рівня води.

Водність року (в цілому або по сезонах) визначає співвідношення рівнів поверхневих, ґрунтових і напірних вод, що змінює спрямованість водообміну і, відповідно, формування мінералізації води. Якщо проаналізувати взаємозв'язок зміни мінералізації води і кількості атмосферних опадів, то як загальну рису можна відмітити наявність такого взаємозв'язку, проте він не є однорідним. Найчіткіше він простежується для поверхневих вод і проявляється залежно від змін мінералізації та від кількості опадів. В розподілі показників мінералізації по акваторії озера є відмінності – на мілководних ділянках вони досягають більш високих значень. Також більш висока мінералізація була властива придонним шарам води в порівнянні з поверхневими. В порівнянні з 90-ми роками ступінь мінералізації

Таблиця 1

Роки	2018	2019	2020	2021	2022
Кількість туристів, які відвідують територію Шацького НПП	99 тис.	150 тис.	170 тис.	170 тис.	7 тис.

води у Світіязі суттєво не змінився. Відбулися деякі зміни щодо вмісту окремих іонів у воді озера, дещо зменшилася концентрація  $\text{HCO}_3^-$ , збільшився вміст  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  [7].

Озеро Світіязь має досить високий рівень екологічної і гігієнічної стійкості завдяки характеру та інтенсивності водообміну, а також великому його об'єму. Зрештою, це озеро за всіма показниками має значний запас стійкості, однак при загально прийнятих критичних значеннях показників зниження існуючих рівнів його екологічної та гігієнічної стійкості неприпустиме.

Державним агентством водних ресурсів України Регіональним офісом водних ресурсів Волинської області Лабораторією моніторингу вод та ґрунтів щорічно проводиться аналіз якості води в озері Світіязь. Дані зафіксовані у додатках 1, 2, 3, 4, 5.

За одержаними загальними гідрохімічними показниками, якість води відповідає санітарним нормативам. Проаналізувавши отримані результати було встановлено, що вода в озері Світіязь має відновний потенціал, тобто така вода типова для підземних вод, де присутні метали низьких ступеней валентності. Також зроблена оцінка якості води за шкалою американської організації по захисту здоров'я і навколишнього середовища (EPA), за якою вода характеризується, як у гірських джерелах та прийнята для використання [4].

Оцінка динаміки покомпонентного хімічного складу води в озері Світіязь дозволяє зазначити, що вода на досліджуваній ділянці немінералізована та її компонентний склад фактично повністю відповідає регламенту санітарно-хімічних показників безпеки і якості, незважаючи на збільшення рекреантів, які

відвідують територію Шацького національного природного парку.

**Висновки.** У статті розглянута одна із найважливіших проблем сьогодення – вплив діяльності людини на природні ресурси, а саме, зміна якості води за вмістом хімічних елементів, внаслідок розвитку рекреаційної інфраструктури та збільшення потоку туристів на території Шацького національного природного парку. Шацькі озера визнано ЮНЕСКО найціннішими екосистемами Східної Європи. Дослідження проводились на прикладі озера Світіязь, так як воно найглибше й найбільше за об'ємом водного середовища прісноводне озеро України та Західного Полісся [6]. За результатами хімічного аналізу води в озері Світіязь, виявлено підвищене значення показника хімічного споживання кисню (головний показник, що характеризує ступінь і динаміку самоочищення вод). Встановлено підвищені вмісти заліза загального, мають природне походження і є особливістю гідрохімічного режиму озера. Інших значних відхилень в хімічному складі води не спостерігається. Варто відзначити, що найчастіше проби води беруть на початку відпочинкового сезону і в кінці. Аналіз стану водного об'єкту за гідрохімічними показниками за роки спостережень показує, що вони мають задовільний гідрохімічний стан і всі компоненти знаходяться в межах гранично-допустимих норм. Тому можна зробити висновки, що озеро Світіязь, незважаючи на щорічне збільшення потоку туристів та розвиток інфраструктури, екологічно стійке та залишається одним із найчистіших в Україні. Цьому сприяють і природні чинники – відносно короткий сезон масового відпочинку, потужні джерела, постійний водообмін.

### Література

1. Alokshina O., Ivantyshyn O., Korus M., Koshovyv V., Popov M., Rusyn B. Influence of natural climatic factors on lakes waters fluctuations in nature protected areas. *Environmental safety and natural resources*. 2016. № 28(4), P. 71–81.
2. Fedoniuk V., Khrystetska M., Fedoniuk M., Merlenko I., Bondarchuk S. Shallowing of the Svityaz Lake in the context of regional climate change. *Journal of Geology, Geography and Geoecology* (Вісник Дніпров. університету. Геологія. Географія. Геоекологія). Дніпро: 2020. № 4 (29). С. 673–683.
3. Федонюк В.В., Федонюк М.А., Христецька М.В., Бондарчук С.П. Вплив регіональних кліматичних змін на динаміку рівня озера Світіязь Збірник матеріалів VI Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 70-річчю від дня народження професора Петліна В.М. «Шацьке поозер'я» Застосування сучасних інформаційних технологій для досліджень екологічного стану Шацьких озер, Клименко, В.І.; Загородня, С.А.; Крета, Д.Л.; Охарев, В.О.; Радчук, І.В.; Шевякіна, Н.А.; Бутенко, О.С.; Вишняков, В.Ю. Екологічна безпека та природокористування, 2010. С. 103–112.
4. Літопис природи Шацького НПП. Книга 33. 2020 р., 2021. 160 с.
5. Озеро Світіязь: сучасний природно-господарський стан та проблеми / С. П. Бондарчук [та ін.]; за ред. Я. О. Мольчака. Луцьк : РВВ ЛДТУ, 2008. 336 с.
6. Оцінка екологічного стану оз. Світіязь за багаторічною динамікою рослинних комплексів аквальних біотопів, Л. М. Зуб, РОЗДІЛ III. Екологія. № 9, 2012. С. 337–343.
7. Перспективи розвитку рекреаційної діяльності на території Шацького національного природного парку Л. Безручко, вісник Львів. Ун-ту visnyk Lviv. univ. Серія геогр. 2009. Вип. 37. С. 274–284.
8. Проект організації території Шацького національного природного парку, охорони, відтворення та рекреаційного використання його природних комплексів і об'єктів/ ГО «Асоціація природоохоронних територій України». К., 2021. С. 93.
9. Свіркова С. М., Вишеньська І. Г. Оцінка впливу рекреаційних навантажень на природні екосистеми. *Екологія*. Київ, 2006. С. 43.
10. Яцюк М.В., Сидоренко О.О., Цветова О.В., Тураєва О.В. Моніторинг та особливості гідрогеологічних та гідрологічних умов Шацького поозер'я в сучасних кліматичних умовах. *Sciences of Europe*. 2021. № 67. С. 51–59.
11. Хомік Н.В. Водні ресурси Шацького національного природного парку: сучасний стан, охорона, управління. Київ : Аграрна наука, 2013. 239 с.



ДЕРЖАВНЕ АГЕНТСТВО ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ  
 РЕГІОНАЛЬНИЙ ОФІС ВОДНИХ РЕСУРСІВ У ВОЛИНСЬКІЙ ОБЛАСТІ  
 вул. 8 Березня, 1, м. Луцьк, Волинська область, 43005, тел. (0332) 23-44-13, факс 28-19-91  
 e-mail: vol\_wodres@ukr.net, Volyn.OVR@gmail.com, сайт: www.vodres.gov.ua,  
 код згідно з ЄДРПОУ 13345605  
 Лабораторія моніторингу вод та ґрунтів  
 м. Ковель, вул. Косачів, 4

Свідоцтво про атестацію № 212  
 від 11 червня 2013 року

Назва об'єкту: оз. Світязь  
 Місце відбору: с. Світязь  
 Аналіз розпочатий: 30.05.18 р.

Аналіз закінчений: 04.06.18 р.

№ з/п	Назва інгредієнтів	Одиниці вимірювання	Результати вимірювання
1.	Прозорість	см	28
2.	ХроМ <sup>+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0
3.	рН	одиниці рН	7,2
4.	Азот амонійний	МгN/дм <sup>3</sup>	0,25
5.	Лужність	мг-екв/ дм <sup>3</sup>	2,4
6.	Калій	мг/дм <sup>3</sup>	2,81
7.	Натрій	мг/дм <sup>3</sup>	6,88
8.	Кальцій	мг/дм <sup>3</sup>	30,1
9.	Магній	мг/дм <sup>3</sup>	12,2
10.	Гідрокарбонати	мг/дм <sup>3</sup>	146
11.	Нітрити	мг/дм <sup>3</sup>	0,006
12.	Нітрати	мг/дм <sup>3</sup>	0,43
13.	Хлориди	мг/дм <sup>3</sup>	20,8
14.	Сульфати	мг/дм <sup>3</sup>	9,06
15.	Фосфати	мг/дм <sup>3</sup>	0,047
16.	Залізо загальне	мг/дм <sup>3</sup>	0,09
17.	Жорсткість	мг-екв/дм <sup>3</sup>	2,5
18.	Хром <sup>тб</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0
19.	Нікель	мг/дм <sup>3</sup>	0
20.	Марганець	мг/дм <sup>3</sup>	0,01
21.	Мідь	мг/дм <sup>3</sup>	0,001
22.	Завислі речовини	мг/дм <sup>3</sup>	8,0
23.	Сухий залишок	мг/дм <sup>3</sup>	149
24.	ХСК	мгO <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	25,64
25.	Запах	бали	0
26.	БСК 5	мЮ <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	3,17
27.	Розчинний кисень	мг/дм <sup>3</sup>	10,95
28.	Кольоровість	градуси	21
29.	СПАР	мг/дм <sup>3</sup>	0
30.	Хром <sup>зар</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0

Начальник лабораторії

І. Смаль



ДЕРЖАВНЕ АГЕНТСТВО ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ  
 РЕГІОНАЛЬНИЙ ОФІС ВОДНИХ РЕСУРСІВ У ВОЛИНСЬКІЙ ОБЛАСТІ  
 вул. 8 Березня, 1, м. Луцьк, Волинська область, 43005, тел. (0332) 23-44-13, факс 28-19-91  
 e-mail: vol\_wodres@ukr.net, Volyn.OVR@gmail.com, сайт: www.vodres.gov.ua,  
 код згідно з ЄДРПОУ 13345605  
 Лабораторія моніторингу вод та ґрунтів  
 м. Ковель, вул. Косачів, 4

Свідоцтво про атестацію № 137-02/2018  
 від 18 червня 2018 року

Назва об'єкту: оз. Світязь  
 Місце відбору: с. Світязь  
 Аналіз розпочатий: 21.05.19 р.

Аналіз закінчений: 05.06.19 р.

№ з/п	Назва інгредієнтів	Одиниці вимірювання	Результати вимірювання
1.	Прозорість	см	27
2.	Хром <sup>+3</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0
3.	РН	одиниці рН	7,0
4.	Азот амонійний	МгN/дм <sup>3</sup>	0,09
5.	Лужність	мг-екв/дм <sup>3</sup>	3,0
6.	Калій	мг/дм <sup>3</sup>	4,0
7.	Натрій	мг/дм <sup>3</sup>	6,84
8.	Кальцій	мг/дм <sup>3</sup>	36,1
9.	Магній	мг/дм <sup>3</sup>	12,2
10.	Гідрокарбонати	мг/дм <sup>3</sup>	183
11.	Нітрити	мг/дм <sup>3</sup>	0,019
12.	Нітрати	бали	0
13.	Хлориди	мгO <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	13,9
14.	Сульфати	мг/дм <sup>3</sup>	6,96
15.	Фосфати	мг/дм <sup>3</sup>	0,004
16.	Залізо загальне	мг/дм <sup>3</sup>	0,1
17.	Жорсткість	мг-екв/дм <sup>3</sup>	2,8
18.	Хром <sup>+6</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0
19.	Нікель	мг/дм <sup>3</sup>	0
20.	Марганець	мг/дм <sup>3</sup>	0,005
21.	Мідь	мг/дм <sup>3</sup>	0,001
22.	Завислі речовини	мг/дм <sup>3</sup>	6,0
23.	Сухий залишок	мг/дм <sup>3</sup>	190
24.	ХСК	мгO <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	36,08
25.	Запах	мг/дм <sup>3</sup>	0
26.	БСК 5	мгОДцм <sup>3</sup>	1,61
27.	Розчинний кисень	мгO <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	5,96
28.	Кольоровість	градуси	20
29.	СПАР	мг/дм <sup>3</sup>	0
30.	Хром <sup>зар</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0

Начальник лабораторії

І. Смаль





ДЕРЖАВНЕ АГЕНТСТВО ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ  
РЕГІОНАЛЬНИЙ ОФІС ВОДНИХ РЕСУРСІВ У ВОЛИНСЬКІЙ ОБЛАСТІ  
вул. 8 Березня, 1, м. Луцьк, Волинська область, 43005, тел. (0332) 23-44-13, факс 28-19-91  
e-mail: vol\_wodres@ukr.net, Volyn.OVR@gmail.com, сайт: www.vodres.gov.ua,  
код згідно з ЄДРПОУ 13345605  
Лабораторія моніторингу вод та ґрунтів  
м. Ковель, вул. Косачів, 4

Свідоцтво про атестацію № 137-02/2018  
від 18 червня 2018 року

Назва об'єкту: оз. Світязь  
Місце відбору: с. Світязь  
Аналіз розпочатий: 16.07.20 р.

Аналіз закінчений: 21.07.20 р.

	Назва інгредієнтів	Одиниці вимірювання	Результати вимірювання
1.	Амоній сольовий	мг/дм <sup>3</sup>	0,14
2.	БСК 5	мг02\дм <sup>3</sup>	1,61
3.	Еідрокарбонати	мг/дм <sup>3</sup>	207,4
4.	Жорсткість	мг-екв/дм <sup>3</sup>	2,9
5.	Завислі речовини	мг/дм <sup>3</sup>	6,0
6.	Залізо загальне	мг/дм <sup>3</sup>	0,1
7.	Кальцій	мг/дм <sup>3</sup>	38,1
8.	Магній	мг/дм	12,2
9.	Мідь	мг/дм <sup>3</sup>	0,001
10.	Марганець	мг/дм <sup>3</sup>	0
11.	Нітрати	мг/дм <sup>3</sup>	0,2
12.	Нітроти	мг/дм <sup>3</sup>	0,01
13.	Фосфати	мг/дм <sup>3</sup>	0,016

Начальник РОВР у Волинській області

Н. Поліщук

Додаток 4



ДЕРЖАВНЕ АГЕНТСТВО ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ  
РЕГІОНАЛЬНИЙ ОФІС ВОДНИХ РЕСУРСІВ У ВОЛИНСЬКІЙ ОБЛАСТІ  
вул. 8 Березня, 1, м. Луцьк, Волинська область, 43005, тел. (0332) 23-44-13, факс 28-19-91  
e-mail: vol\_wodres@ukr.net, Volyn.OVR@gmail.com, сайт: www.vodres.gov.ua,  
код згідно з ЄДРПОУ 13345605  
Лабораторія моніторингу вод та ґрунтів  
м. Ковель, вул. Косачів, 4

Свідоцтво про атестацію № 137-02/2021  
від 11 червня 2021 року

Назва об'єкту: оз. Світязь  
Місце відбору: с. Світязь  
Аналіз розпочатий: 5.07.21 р.

Аналіз закінчений: 10.07.21 р.

№ з/п	Назва інгредієнтів	Одиниці вимірювання	Результати вимірювання
1.	Амоній сольовий	мг/дм <sup>3</sup>	0,21
2.	БСК 5	мгСМдм <sup>3</sup>	2,58
3.	Гідрокарбонати	мг/дм <sup>3</sup>	256,2
4.	Жорсткість	мг-екв/дм <sup>3</sup>	2,6
5.	Завислі речовини	мг/дуГ	7,0
6.	Залізо загальне	мг/дм <sup>3</sup>	0,39
7.	Кальцій	мг/дм <sup>3</sup>	36,1
8.	Магній	мг/дм <sup>3</sup>	9,73
9.	Мідь	мг/дм <sup>3</sup>	0,001
10.	Марганець	мг/дм <sup>3</sup>	0
11.	Нітрати	УІГ'ДМ'	0,8
12.	Нітроти	мг/дм <sup>3</sup>	0,05
13.	Фосфати	мг/дм <sup>3</sup>	0,16
14.	Розчинений кисень	мгОДдм <sup>3</sup>	8,21

Начальник РОВР у Волинській області

Р. Євліков

Додаток 5



ДЕРЖАВНЕ АГЕНТСТВО ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ  
РЕГІОНАЛЬНИЙ ОФІС ВОДНИХ РЕСУРСІВ У ВОЛИНСЬКІЙ ОБЛАСТІ  
вул. 8 Березня, 1, м. Луцьк, Волинська область, 43005, тел. (0332) 23-44-13, факс 28-19-91  
e-mail: vol\_wodres@ukr.net, Volyn.OVR@gmail.com, сайт: www.vodres.gov.ua,  
код згідно з ЄДРПОУ 13345605  
Лабораторія моніторингу вод та ґрунтів  
м. Ковель, вул. Косачів, 4

Свідоцтво про атестацію № 137-02/2021  
від 11 червня 2021 року

Назва об'єкту: оз. Світязь

Місце відбору: с. Світязь

Аналіз розпочатий: 07.06.22 р.

Аналіз закінчений: 13.06.22 р.

№ з/п	Назва інгредієнтів	Одиниці вимірювання	Результати вимірювання
1.	Амоній сольовий	мг/дм <sup>3</sup>	0,08
2.	БСК 5	мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	2,73
3.	Гідрокарбонати	мг/дм <sup>3</sup>	170,8
4.	Жорсткість	мг-екв/дм <sup>3</sup>	2,5
5.	Завислі речовини	мг/дм <sup>3</sup>	7,0
6.	Залізо загальне	мг/дм <sup>3</sup>	0,018
7.	Кальцій	мг/дм <sup>3</sup>	36,1
8.	Магній	мг/дм <sup>3</sup>	8,51
9.	Мідь	мг/дм <sup>3</sup>	0,001
10.	Марганець	мг/дм <sup>3</sup>	0,01
11.	Нітрати	мг/дм <sup>3</sup>	1,2
12.	Нітроти	мг/дм <sup>3</sup>	0,02
13.	Фосфати	мг/дм <sup>3</sup>	0,089
14.	Розчинений кисень	мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	7,9

Начальник РОВР у Волинській області

Р. Євліков

## ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ВОДИ РІЧКИ ДНІПРО В МЕЖАХ ЧЕРКАСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Шахман І.О.<sup>1</sup>, Бистрянцева А.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Херсонський державний університет  
вул. Університетська, 27, 73000, м. Херсон

<sup>2</sup>Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут  
вул. Князів Острозьких, 45/1, 01011, м. Київ  
shakhman.i.a@gmail.com, anbys@ukr.net

В Україні в умовах сьогодення проблема гострого дефіциту прісних поверхневих водних ресурсів та їх якості отримала особливе значення. Головна водна артерія країни річка Дніпро, продовжуючи перебувати під навантаженням скидів стічних вод населених пунктів та підприємств різних галузей економіки, потерпає від потужного негативного впливу наслідків російської агресії в Україні.

В статті наводяться результати кількісного оцінювання якості води річки Дніпро в межах Черкаської області за 2022 рік за гідрохімічними показниками відповідно до нормативів водних об'єктів рибогосподарського, питного та культурно-побутового та рекреаційного призначення.

В результаті обробки даних аналітичного контролю поверхневих вод р. Дніпро за 2022 рік встановлено перевищення середньорічних концентрацій хімічних показників відносно нормативних значень за рибогосподарськими показниками від 1,2 (біологічне споживання кисню) до 42,5 разів (нітриди), питними – від 6,8 (нітриди) до 61,2 разів (завислі речовини), культурно-побутовими та рекреаційними вимогами – від 1,2 (хімічне споживання кисню) до 20,4 (завислі речовини).

Виконано оцінювання якості води за індексом забруднення води (ІЗВ), модифікованим індексом забруднення води (ІЗВ), комбінаторним індексом забруднення води (КІЗ) та коефіцієнтом забруднення води  $\chi$  з пріоритетів і без пріоритетів для поста спостереження р. Дніпро – с. Сокирне (Кременчуцьке водосховище) за 2022 рік. Якісна оцінка ступеня забруднення річкової води змінюється від дуже брудна до катастрофічна (за нормативами рибогосподарського призначення), від помірно забруднена до катастрофічна (за нормативами питних потреб) від чиста до катастрофічна (за нормативами культурно-побутового та рекреаційного призначення).

Встановлено, що якість дніпровської води в межах Черкаської області не дозволяє застосовувати її водокористувачам за рибогосподарським, питним і культурно-побутовим та рекреаційним призначенням без попередньої підготовки. *Ключові слова:* річка Дніпро, Черкаська область, якість води, нормативи, хімічні показники.

### Assessment of the water quality of the Dnipro river within the Cherkasy region. Shakhman I., Bystrantseva A.

In Ukraine, in today's conditions, the problem of an acute shortage of fresh surface water resources and their quality has become of particular importance. The main water artery of the country, the Dnipro River, while continuing to be loaded with wastewater discharges from settlements and enterprises of various sectors of the economy, suffers from the powerful negative impact of the consequences of russian aggression in Ukraine.

The article presents the results of a quantitative assessment of the water quality of the Dnipro River within the Cherkasy region for 2022 in terms of hydrochemical indicators in accordance with the standards of water bodies for fisheries, drinking and cultural, household and recreational purposes.

As a result of processing the data of the analytical control of the surface waters of the Dnipro River for 2022, it was found an excess of the average annual concentrations of chemical indicators relative to the standard values for fishery indicators from 1,2 (biological oxygen demand) to 42,5 times (nitrites), drinking needs – from 6,8 (nitrites) up to 61,2 times (suspended solids), cultural, household and recreational requirements – from 1,2 (chemical oxygen demand) to 20,4 (suspended solids).

Water quality assessment was carried out according to the water pollution index (WPI), the modified water pollution index (WPI), the combinatorial water pollution index (WPI) and the water pollution coefficient  $\chi$  with priorities and without priorities for the observation post of the Dnipro River – v. Sokyrene (Kremenchuk Reservoir) for 2022. The qualitative assessment of the degree of pollution of river water varies from very dirty to catastrophic (according to the standards of fishing purposes), from moderately polluted to catastrophic (according to the standards of drinking needs), from clean to catastrophic (according to the standards of cultural, household and recreational purposes).

It was established that the quality of the Dnipro River water within Cherkasy region does not allow water users to use it for fishing, drinking and cultural, household and recreational purposes without prior preparation. *Key words:* the Dnipro river, Cherkasy region, water quality, standards, chemical indicators.

**Постановка проблеми.** Забезпечення питного водопостачання в Україні здійснюється майже на 80% за рахунок поверхневих прісних джерел [1]. Основні джерела – басейни річок, які «за гігієнічною класифікацією водних об'єктів за ступенем забруднення можна віднести до забруднених та дуже

забруднених» [1], продовжують потерпати від негативного антропогенного впливу. Поверхневі водні об'єкти Черкаської області, на жаль, не є виключенням. Кількість використаної води об'єктами господарської діяльності області за останні роки зменшилася в середньому на 20%, разом з тим кількість

скинутих забруднених зворотних вод у поверхневі водні об'єкти на Черкащині збільшилася майже в 1,5 рази (на 44%), обсяги стічної води, яка надходить без очищення зросли на 12% [2, 3]. Основними джерелами забруднення поверхневих вод басейну р. Дніпро в межах Черкаської області традиційно залишаються підприємства Міністерства розвитку громад та територій України (РКП «Кам'янський водоканал», КП «Чигирин», КП «ВОДГЕО», КП «Водоканал» м. Золотоноша та інші). Вміст забруднюючих речовин в зворотних водах, що скидаються в водні об'єкти регіону збільшується за останні роки за азотом амонійним, нітратами, нітритами, алюмінієм, загальним азотом, фосфатами [2, 3].

**Актуальність дослідження.** Важко переоцінити роль якості води у формуванні здоров'я людини, тривалості її життя. Забруднена вода призводить до отруєнь, інфекційних захворювань, епідемій. За інформацією КЗ «Черкаський обласний інформаційно-аналітичний центр медичної статистики» Черкаської обласної ради серед основних п'яти причин смертності населення Черкаської області наводяться хвороби органів травлення з негативною динамікою впродовж останніх років [4, 5].

**Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями.** Фахівці Державної установи «Черкаський обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України», систематично виконуючи дослідження якості води водойм Черкаської області, наголошують «в області залишається актуальною проблема забезпечення населення якісною та безпечною питною водою» [5].

Депутати Черкаської міської ради направили звернення до Кабінету Міністрів України і Міністерства екології та природних ресурсів, в якому звертають увагу на жахливу ситуацію з якістю води річки Дніпро та інших річок України: «водосховища перетворилися у своєрідні могили забруднюючих речовин та радіонуклідів» [6].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Спеціалісти Державної установи «Черкаський обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України» оприлюднюють результати моніторингових досліджень якості води акваторій пляжів, інформують населення про небезпеку, надають рекомендації щодо можливостей рекреаційного використання води обласних водних об'єктів [5]. Прес-служба центру за результатами контролю якості води питного водопостачання в Черкаській області (від 27 грудня 2022 року) при лабораторному дослідженні 662 проб констатувала, що «діючим нормативам не відповідають 11 (4,3%) проб за санітарно-хімічними показниками та 8 (2,0%) проб за мікробіологічними показниками» [7].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Виконано оцінювання якості річкової води

за індексом забруднення води (ІЗВ), модифікованим індексом забруднення води (ІЗВ), комбінаторним індексом забруднення води (КІЗ) та коефіцієнтом забруднення води  $\chi$  з пріоритетами і без пріоритетів для поста спостереження р. Дніпро – с. Сокирне (Кременчуцьке водосховище) питний в/з м. Черкаси (678 км від гирла) за 2022 рік.

**Новизна.** Виконано порівняльний аналіз оцінювання якості води р. Дніпро в межах Черкаської області за різними методиками за 2022 рік відповідно до нормативів поверхневих водойм рибогосподарського, питного і культурно-побутового та рекреаційного призначення.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Акцентована увага на необхідності розробки та впровадженні природоохоронних заходів, направлених на підвищення якості води р. Дніпро.

**Викладення основного матеріалу.** Вихідною інформацією для оцінки якості води річки Дніпро в межах Черкаської області слугували дані аналітичного контролю поверхневих вод Державного агентства вод за 2022 рік [8]. Для аналізу динаміки впливу основних джерел забруднення використані Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Черкаській області [2] та Екологічний паспорт Черкаської області [3].

На першому етапі дослідження виконано оцінювання якості річкової води за індексами забруднення води за загальноприйнятою методикою [9–14]. Результати оцінювання якості води за модифікованим індексом забруднення води для р. Дніпро в межах Черкаської області за 2022 рік відповідно до нормативів якості води поверхневих водних об'єктів, призначених для рибогосподарських, питних і культурно-побутових та рекреаційних потреб [15] наведені в таблиці 1. Клас якості води коливається від II (чиста) для нормативів культурно-побутових та рекреаційних потреб до VI (дуже брудна) для рибогосподарських нормативів.

Наступним етапом проводилося оцінювання якості води за комбінаторним індексом забруднення води відповідно до встановленого алгоритму [9–13]. Приклад оцінювання якості води за комбінаторним індексом забруднення за нормативами поверхневих вод рибогосподарського призначення наведений в таблиці 2.

Клас якості води коливається від III б (брудна) для нормативів рибогосподарського призначення і культурно-побутових та рекреаційних потреб до VI а (дуже брудна) для питних потреб.

Далі виконане інтегральне оцінювання якості води за коефіцієнтом забруднення води  $\chi$  з пріоритетами і без пріоритетів. Приклад оцінювання якості води за інтегральним індексом забруднення за нормативами питних потреб наведений в таблиці 3.

Показники якості річкової води змінюються при розрахунку без пріоритетів від припустимої за нормативами культурно-побутових та рекре-

Таблиця 1

Оцінка якості води за модифікованим індексом забруднення (*ІЗВ*) р. Дніпро – с. Сокирне (Кременчуцьке водосховище) питний в/з м. Черкаси (678 км від гирла) за 2022 рік

№	Показник	Нормативи поверхневих вод водойм					
		рибогосподарського призначення		питних потреб		культурно-побутового та рекреаційного призначення	
		$ГДК_i$	$C_i/ГДК_i$	$ГДК_i$	$C_i/ГДК_i$	$ГДК_i$	$C_i/ГДК_i$
1	Розчинений кисень	>6,0	0,72	≥4,0	0,48	≥4,0	0,48
2	БСК <sub>5</sub>	3,0	1,17	<4,0	0,88	≤6,0	0,58
3	Азот амонійний	0,5	0,80	0,5	0,8	0,5	0,8
4	Азот нітритний	0,08	42,5	0,5	6,8	3,3	1,03
5	Фосфати	3,5	–	3,5	0,2	3,5	0,2
6	Сульфати	100	0,26	250	–	500	–
7	ХСК ( <i>Mn</i> )	20,0	1,83	5,0	7,32	30,0	1,22
Σ			47,28		16,48		4,31
Клас якості			<i>ІЗВ</i> =7,88 VI клас (дуже брудна)		<i>ІЗВ</i> =2,75 IV клас (забруднена)		<i>ІЗВ</i> =0,72 II клас (чиста)

Таблиця 2

Оцінка якості води за комбінаторним індексом забруднення (*КІЗ*) р. Дніпро – с. Сокирне (Кременчуцьке водосховище) питний в/з м. Черкаси (678 км від гирла) за рибогосподарськими нормативами за 2022 р.

№	Показник	$C_i$	$P_i$	Бал	$K_i$	Бал	Загальний бал	Характеристика якості	ЛПЗ
1	Азот амонійний	0,4	0,24	2	0,80	1	2	забруднена	0
2	БСК <sub>5</sub>	3,5	0,82	4	1,17	1	4	брудна	0
3	Завислі речовини	15,3	0,25	2	0,77	1	2	забруднена	0
4	Розчинений кисень	8,3	0,10	2	0,72	1	2	забруднена	0
5	Нітрати	2,9	0,00	1	0,07	1	1	слабо забруднена	0
6	Азот нітритний	3,4	0,92	4	42,5	3	12	неприпустимо брудна	1
7	Сульфати	25,6	0,00	1	0,26	1	1	слабо забруднена	0
8	Фосфати	0,7	0,08	1	0,20	1	1	слабо забруднена	0
9	Хлориди	16,8	0,00	1	0,06	1	1	слабо забруднена	0
10	ХСК ( <i>Mn</i> )	36,6	1,00	4	1,83	1	4	брудна	0
Σ							<i>КІЗ</i> =30		1
$n=10$ ; 1 ЛПЗ; $КІЗ = 30 = (30/10) n = 3,0 n$							клас III б, брудна		

аційних водойм до катастрофічної для водойм, призначених для питних потреб; з пріоритетами: якість води водойм відповідно до всіх нормативів – катастрофічна.

Зведені результати оцінювання якості води за всіма вище наведеними методиками представлені в таблиці 4.

Зведені результати оцінювання якості води р. Дніпро – с. Сокирне (Кременчуцьке водосховище) питний в/з м. Черкаси (678 км від гирла) говорять про катастрофічний стан поверхневих водних ресурсів у 2022 році.

**Головні висновки.** Проведено оцінювання якості води за індексами забруднення якості води для р. Дніпро в межах Черкаської області відповідно до нормативів різних водокористувачів. Результати дослідження за методикою Гідрохімічного інституту (комбінаторні індекси забруднення води) та інтегральне оцінювання (без пріоритетів) дозволяють стверджувати про неможливість використання річкової води для потреб різних користувачів без попередньої підготовки. Результати дослідження наголошують на необхідності розробки та впровадження природоохоронних заходів, направлених на підтри-

Таблиця 3

Інтегральна оцінка якості вод р. Дніпро – с. Сокирне (Кременчуцьке водосховище) питний в/з м. Черкаси (678 км від гирла) за нормативами питних потреб за 2022 р.

Показник	$C_i/ГДК_i$	3 пріоритетами			Без пріоритетів		
		ранг	$\varphi(i)$	$\varphi(i) C_i/ГДК_i$	ранг	$\varphi(i)$	$\varphi(i) C_i/ГДК_i$
БСК <sub>5</sub>	0,88	1	1,000000	0,88000	4	0,500000	0,44000
Розчинений кисень	0,48	4	0,500000	0,24000	6	0,187500	0,09000
Завислі речовини	61,2	5	0,312500	19,1250	1	1,000000	61,2000
Азот амонійний	0,80	2	1,000000	0,80000	5	0,312500	0,25000
Азот нітритний	6,80	7	0,109375	0,74375	3	0,750000	5,10000
Нітрати	0,10	9	0,035156	0,00352	8	0,062500	0,00625
Хлориди	0,07	11	0,010742	0,00075	10	0,019531	0,00137
Сульфати	0,10	10	0,019531	0,00195	9	0,035156	0,00352
ХСК (Mn)	7,32	6	0,187500	1,37250	2	1,000000	7,32000
Фосфати	0,20	8	0,062500	0,01250	7	0,109375	0,02188
НП	0,00	3	0,750000	0,00000	11	0,010742	0,00000
$\Sigma$			<b>3,987304</b>	<b>23,17997</b>		<b>3,987304</b>	<b>74,43302</b>
$\chi = 23,17997/3,987304 = 5,81$ (катастрофічна)				$\chi = 19,614327/3,987304 = 18,7$ (катастрофічна)			

Таблиця 4

Зведені результати оцінювання якості води за різними методиками р. Дніпро – с. Сокирне (Кременчуцьке водосховище) питний в/з м. Черкаси (678 км від гирла) за 2022 рік

Якісна оцінка ступеня забруднення	Нормативи поверхневих вод водоєм		
	рибогосподарського призначення	питних потреб	культурно-побутового та рекреаційного призначення
Індекс забруднення води (ІЗВ)	дуже брудна	помірно забруднена	чиста
Модифікований індекс забруднення води (ІЗВ)	дуже брудна	забруднена	чиста
Комбінаторний індекс забруднення води (КІЗ)	брудна	дуже брудна	брудна
Коефіцієнт забруднення води $\chi$ з пріоритетами	інтенсивна	катастрофічна	припустима
Коефіцієнт забруднення води $\chi$ без пріоритетів	катастрофічна	катастрофічна	катастрофічна

мання задовільного гідроекологічного стану поверхневих водних об'єктів в межах Черкаської області.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Результати дослідження можуть бути використані для розробки водоохоронних заходів та

передбачають проведення оцінювання якості води р. Дніпро в межах Черкаської області за показниками екологічного стану для визначення здатності водного об'єкту до саморегуляції, самоочищення та самовідновлення.

#### Література

1. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2019 році. Київ, 2020. 353 с.
2. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Черкаській області у 2020 році. Черкаси, 2021. 241 с.
3. Екологічний паспорт Черкаської області. Черкаси, 2022. 235 с.
4. Основні демографічні показники здоров'я населення Черкаської області 2017-2018-2019 роки. Черкаси, 2020. 122 с.
5. Державна установа «Черкаський обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України». URL: [https://www.oblles.ch.ua/index.php?option=com\\_content&view=article&id=3075:pro-rezultaty-laboratornoho-monitorynhu-pliazhiv-m-cherkasy-za-ii-dekadu-serpnia-2022-roku&catid=83:katehoriia-voda-poverkhnevuykh-vodoim&Itemid=102](https://www.oblles.ch.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=3075:pro-rezultaty-laboratornoho-monitorynhu-pliazhiv-m-cherkasy-za-ii-dekadu-serpnia-2022-roku&catid=83:katehoriia-voda-poverkhnevuykh-vodoim&Itemid=102) (дата звернення: 07.03.2023).
6. Звернення Черкаської міської ради до Кабінету Міністрів України та Міністерства екології та природних ресурсів. URL: <http://chmr.gov.ua/myrada/html/214934.php?id=214934> (дата звернення: 01.03.2023).

7. На Черкащині перевірили якість питної води. URL: <https://zmi.ck.ua/oblast/na-cherkaschin-perevrili-yakst-pitno-vodi.html> (дата звернення: 07.03.2023).
8. Моніторинг та екологічна оцінка водних ресурсів України. Державне агентство водних ресурсів України. URL: <https://data.gov.ua/dataset/surface-water-monitoring> (дата звернення: 01.01.2023).
9. Юрасов С.М., Сафранов Т.А., Чугай А.В. Оцінка якості природних вод: навчальний посібник. Одеса: Екологія, 2012. 168 с.
10. Шахман І.О., Лобода Н.С. Оцінка якості води у створі р. Інгулець – м. Снігурівка за гідрохімічними показниками. Український гідрометеорологічний журнал. 2016. № 17, С. 123–136.
11. Iryna Shakhman, Anastasiia Bystriantseva Water Quality Assessment of the Surface Water of the Southern Bug River Basin by Complex Indices. *Journal of Ecological Engineering*. Volume 22, Issue 1, P. 195–205.
12. Iryna Shakhman, Anastasiia Bystriantseva Environmental approach to assessment of the response of hydroecosystems to anthropogenic load. New stages of development of modern science in Ukraine and EU countries: monograph / edited by authors. 7th ed. Riga, Latvia: "Baltija Publishing". 2019. P. 281–301.
13. Шахман І.О. Екологічна оцінка якості води середньої течії річки Південний Буг за гідрохімічними показниками. Тарійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки / ДВНЗ «ХДАУ». Херсон: Видавничий дім «Гельветика», 2020. Вип. 113. С. 260–266.
14. Шибанова, А. М., Погребенник, В. Д., Мітрясова, О. П., Руда, М. В., Джумеля, Е. А., Паславський, М. М. (2021). Екологічне оцінювання якості води річки Дністер. Науковий вісник НЛТУ України, 31(5), 74–78.
15. Клименко М.О., Вознюк Н.М., Вербецька К.Ю. Порівняльний аналіз нормативів якості поверхневих вод. Наукові доповіді НУБіП України. 2012-8 (30). URL: [http://nd.nubip.edu.ua/2012\\_1/12kmo.pdf](http://nd.nubip.edu.ua/2012_1/12kmo.pdf) (дата звернення: 03.03.2023).

## ВИДОВИЙ СКЛАД, ЕКОЛОГІЧНА ТА ПРОСТОРОВА СТРУКТУРИ ПАРКОВОГО ДЕНДРОЦЕНОЗУ ПРОМИСЛОВОГО МІСТА В СТЕПОВІЙ ЗОНІ УКРАЇНИ

Суслова О.П., Бойко Л.І.

Криворізький ботанічний сад НАН України

вул. Маршака, 50, м. Кривий Ріг

[elenasuslova2901@gmail.com](mailto:elenasuslova2901@gmail.com)

Проведено дослідження деревних рослин штучного паркового дендроценозу м. Новогродівка. Визначено видовий склад, екоморфну та просторову структури насаджень. Обстеження проводили маршрутним методом згідно з рекомендаціями Н.П. Анучина (1960), Б.М. Міркина із співавторами (2001). Таксономічний склад визначали за С.К. Черепановим (1981), А.І. Івченко із співавторами (2001), О.А. Калініченко (2003), М.А. Кохно із співавторами (2002, 2005). Аналіз екоморфної структури проводили з урахуванням екологічних шкал, розроблених Д.Н. Цигановим (1976), Я.П. Дідухом (2010, 2011). Просторову структуру характеризували за зімкненістю крон, ярусністю, наявністю підліску та природним поновленням. В досліджуваних насадженнях виявлено 33 види і один культивар деревних рослин, які належать до 26 родів 15 родин. Аборигенна фракція флори представлена 15 видами, що становлять 44% від всіх виявлених видів (*Acer platanoides* L., *A. tataricum* L., *Ulmus laevis* Pall., *Quercus robur* L., *Tilia cordata* Mill. тощо). За видовим складом найбільш представлені Rosaceae (9 видів): *Armeniaca vulgaris* Lam., *Crataegus sanguinea* Pall., *Malus domestica* Borkh., *Padus avium* Mill., *Prunus ×domestica* L., *Pyrus communis* L., *Sorbus aucuparia* L., *Sorbus intermedia* (Ehrh.) Pers., *Rosa canina* L. та Aceraceae (5 видів): *A. negundo* L., *A. platanoides*, *A. pseudoplatanus* L., *A. saccharinum* L., *A. tataricum*. В дендроценозі найпоширеніші дерева *Fraxinus excelsior* L. (9% від загальної кількості дерев), *Sorbus aucuparia* (8%), *Acer negundo* (7%), *Betula pendula* Roth (6%), *Robinia pseudoacacia* L. (6%), *Quercus robur* (5%), *Sorbus intermedia* (5%). Вони становлять 46% від всіх деревних рослин дендроценозу. За результатами досліджень насадження представлені різновіковими деревами, серед яких найбільше геліофітів (62%), мезофітів (73%) та мезотрофів (59%): *Fraxinus excelsior*, *Populus nigra*, *Robinia pseudoacacia* тощо. В досліджуваному дендроценозі переважають дерева швидкого темпу росту (59%): види родів *Populus*, *Salix alba*, *Fraxinus excelsior*, *Juglans regia*, *Robinia pseudoacacia* тощо. Встановлено, що просторова структура дендроценозу складна і представлена зімкнутим, напівзімкнутим та відкритим типами. Зімкнутість крон становить від 0,2 до 0,9. Умови зростання дерев сприяють природному поновленню *Acer pseudoplatanus*, *Robinia pseudoacacia* і *Ulmus laevis*. **Ключові слова:** північно-степова зона України, штучний дендроценоз, темпи росту, екоморфна структура, просторова структура.

### Species composition, ecological and spatial structures of a park dendrocoenosis of an industrial city in the steppe zone of Ukraine. Suslova O., Boyko L.

Species composition, ecological and spatial structures of a park dendrocoenosis of an industrial city in the steppe zone of Ukraine. Boyko L. I., Suslova O. P. We carried out a study of woody plants of artificial park dendrocoenosis in Novohrodivka. The species composition, ecomorphic and spatial structure of the plantations were determined. The examination was conducted by route method according to the recommendations of N. P. Anuchin (1960), B. M. Mirkin with co-authors (2001). The taxonomic composition was determined according to S. K. Cherepanov (1981), A. I. Ivchenko with co-authors (2001), O. A. Kalinichenko (2003), M. A. Kokhno and co-authors (2002, 2005). The analysis of the ecomorphic structure was carried out taking into account the ecological scales developed by D. N. Tsyganov (1976), Y. P. Didukh (2010, 2011). Spatial structure was characterized by canopy closure, tiering, presence of understory and natural regeneration. In the studied plantations, there were found 33 species and one cultivar of woody plants belonging to 26 genera and 15 families. The aboriginal fraction of the flora is represented by 15 species, which make up 44% of all revealed species (*Acer platanoides* L., *A. tataricum* L., *Ulmus laevis* Pall., *Quercus robur* L., *Tilia cordata* Mill., etc.). By species composition, the most represented families are Rosaceae (9 species): *Armeniaca vulgaris* Lam., *Crataegus sanguinea* Pall., *Malus domestica* Borkh., *Padus avium* Mill., *Prunus ×domestica* L., *Pyrus communis* L., *Sorbus aucuparia* L., *Sorbus intermedia* (Ehrh.) Pers., *Rosa canina* L. and Aceraceae (5 species): *A. negundo* L., *A. platanoides*, *A. pseudoplatanus* L., *A. saccharinum* L., *A. tataricum*. In the dendrocoenosis, the most common trees are *Fraxinus excelsior* L. (9% of the total number of trees), *Sorbus aucuparia* (8%), *Acer negundo* (7%), *Betula pendula* Roth (6%), *Robinia pseudoacacia* L. (6%), *Quercus robur* (5%), *Sorbus intermedia* (5%). They make up 46% of all woody plants of dendrocoenosis. According to research results, the plantations are represented by trees of various ages, among which the most are heliophytes (62%), mesophytes (73%) and mesotrophs (59%): *Fraxinus excelsior*, *Populus nigra* L., *Robinia pseudoacacia*, etc. The studied dendrocoenosis is dominated by fast-growing trees (59%): species of the genus *Populus* L., *Salix alba* L., *Fraxinus excelsior*, *Juglans regia* L., *Robinia pseudoacacia*, etc. We ascertained that the spatial structure of dendrocoenosis is complex and is represented by closed, semi-closed and open types. Crown closure is from 0.2 to 0.9. Tree growth conditions favor the natural regeneration of *Acer pseudoplatanus*, *Robinia pseudoacacia* and *Ulmus laevis*. **Key words:** northern steppe subzone of Ukraine, artificial dendrocoenosis, growth rates, ecomorphic structure, spatial structure.



**Постановка проблеми.** В останні 15–20 років в степовій зоні України проявляються негативні кліматичні зміни, спричинені глобальним потеплінням. За таких кліматичних умов сучасні урбанізовані міста з високим техногенним навантаженням на середовище не створюють комфортних умов життя населення, тому формування якісного міського середовища – одна з найважливіших проблем сьогодення. Найбільш простий спосіб поліпшення довкілля в містах – підтримка певної кількості зелених насаджень в них, які створюють на території міської забудови сприятливі екологічні, мікрокліматичні та санітарно-гігієнічні умови.

**Актуальність дослідження.** В урбосистемах степової зони України дендроценози, що розглядають як важливі територіальні системи екологічної стабільності міських ландшафтів, формуються в складних екологічних умовах [8, 15, 25]. Це позначається на їхньому таксономічному складі, просторовій структурі, життєвому стані тощо. Кліматичні зміни в степовій зоні України, пов'язані з підвищенням середньорічних температур, довготривалими посухами та спекою у вегетаційний період, суховіями призводять до стресового напруження в онтогенезі рослин, їх пригнічення, пошкодження комахами та ураження збудниками хвороб рослин і, як наслідок, до зниження життєвого стану. Тому комплексне дослідження дендроценозів в урбанізованому середовищі залишається актуальним, оскільки є науковим обґрунтуванням заходів із структурної та функціональної оптимізації флористичної складової міської екосистеми [22, 24].

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими і практичними завданнями.** Представлені результати є висновками в межах комплексної науково-дослідної роботи, що виконується у відділі інтродукції та акліматизації рослин Криворізького ботанічного саду НАН України за темою «Стійкість та адаптивна спроможність деревно-чагарникових рослин в умовах урбоекосистем Правобережного степового Придніпров'я у зв'язку з глобальними кліматичними змінами», державний номер реєстрації 0117U00082883.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням дослідження міських дендроценозів присвячені праці багатьох дослідників. В різні роки фахівці визначали таксономічний склад, просторову структуру, життєвий стан природних та штучних насаджень в урбосистемах [5, 17, 18, 21, 24]. Наведено екологічну оцінку лісових ландшафтів в умовах міського середовища [1]. Досліджено екологічні умови і сучасний стан дендроценозів схилів Києва [23] та парків України [3–5, 17]. На основі отриманих результатів визначено шляхи збереження та оптимізації зелених насаджень в дендроценозах урбосистем різних регіонів за різних екологічних умов [4–6, 11, 23, 27].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Визначення шляхів збереження урбодендрофлори та оптимізації функціонування дендроценозів за умов кліматичних змін постійно залишається в полі зору науковців. Проте, незважаючи на значний науковий доробок, дані щодо комплексного дослідження дендроценозів в умовах північно-степової зони України носять фрагментарний характер. Тому наше дослідження має на меті визначення видового складу, просторової структури паркового дендроценозу в умовах міського середовища та аналіз його екологічної структури за специфіки формування насаджень в Степу України.

**Наукова новизна.** Представлені матеріали ґрунтуються на результатах власних спостережень. Дослідження деревних рослин та аналіз отриманих даних свідчать про збіднений видовий склад в штучному парковому дендроценозі промислового міста в північно-степовій зоні України. В насадженнях переважають види, які за екологічними характеристиками найбільш адаптовані до кліматичних умов степової зони України, а саме геліофіти, пристосовані до значної сонячної інсоляції; поширені мезофіти здатні переносити ґрунтові та атмосферні посухи; домінування мезотрофів у дендрофлорі зумовлене високою родючістю ґрунтів.

**Матеріали та методи досліджень.** Об'єктом досліджень були види паркового дендроценозу м. Новгородівка Донецької області, загальна площа якого становить 10,4 га. Таксономічний склад визначали за С.К. Черепановим [20] та іншими авторами [9, 10, 12–14]. Аналіз екоморфної структури проводили за вимогами рослин до сонячного освітлення, трофності та зволоженості ґрунтів з урахуванням екологічних шкал [7, 19, 26]. Просторову структуру характеризували за зімкненістю крон, ярусністю, наявністю підліску та природним поновленням (видовим складом та щільністю). Обстеження проводили маршрутно-рекогносцивальним методом шляхом закладки пробних площ згідно з рекомендаціями Н.П. Анучина [2], Б.М. Міркина із співавторами [16]. Для визначення просторової структури було закладено п'ять пробних площ (ПП I–V) розміром 50×50 м, які найповніше відображали характеристики насаджень.

**Результати досліджень.** В досліджуваному дендроценозі виявлено 34 види і форми деревних рослин (1 вид хвойних порід, 32 види і один культивар листяних), які належать до 26 родів 15 родин двох відділів (табл. 1). Співвідношення між відділами *Pinophyta* і *Magnoliophyta* становить 3% та 97% відповідно. Найчисельнішими родинами за кількістю родів є *Rosaceae* (8); *Oleaceae* і *Salicaceae* представлені 2 родами; інші родини – одним родом. За видовим складом найбільш представлені в насадженнях родини *Rosaceae* – 9 видів (*Armeniaca vulgaris* Lam., *Crataegus sanguinea* Pall., *Malus domestica* Borkh.,

*Padus avium* Mill., *Prunus ×domestica* L., *Pyrus communis* L., *Sorbus aucuparia* L., *Sorbus intermedia* (Ehrh.) Pers., *Rosa canina* L.) та Aceraceae – 5 видів (*A. negundo* L., *A. platanoides* L., *A. pseudoplatanus* L., *A. saccharinum* L., *A. tataricum* L.).

В насадженнях найпоширеніші дерева *Fraxinus excelsior* L. – 9% від загальної кількості дерев, *Sorbus aucuparia* (8%), *Acer negundo* (7%), *Betula pendula* Roth (6%), *Robinia pseudoacacia* L. (6%), *Quercus robur* L. (5%), *Sorbus intermedia* (5%) (рис. 1). Частка дерев цих видів становить 46% від всіх деревних рослин дендроценозу. Представленість інших видів не перевищує 5%. Деякі види представлено незначною кількістю екземплярів. До таких видів віднесено *Crataegus sanguinea* (4 шт), *Acer saccharinum* (14 шт), *Salix alba* L. (18 шт).

Серед життєвих форм переважають дерева – 30 видів (83%), кущі представлені 4 видами (17%), серед яких *Rosa canina*, *Lonicera tatarica* L., *Ligustrum vulgare* L. та *Syringa vulgaris* L. В парку на окремих ділянках вони зростають у живих парканах та підліску.

Аборигенна фракція флори представлена 15 видами, що становлять 44% від всіх виявлених видів. Серед них *Acer platanoides*, *A. tataricum* L., *Ulmus laevis* L., *Salix alba*, *Quercus robur*, *Tilia cordata* Mill., *Ligustrum vulgare* та інші. Дев'ятнадцять видів інтродуковані з різних флористичних областей. Серед них переважають види з Циркумбореальної флористичної області (59%). Значна кількість видів походить з Атлантично-Північноамериканської та Ірано-Туранської флористичних областей – 14 та

Таблиця 1

## Видовий склад та трапляння видів у парковому дендроценозі м. Новоградівка

Родина	Рід	Вид	Трапляння, %	
Pinaceae Lindl.	<i>Picea</i> A. Dietr.	<i>Picea pungens</i> Engelm.	0,82	
Aceraceae Juss.	<i>Acer</i> L.	<i>Acer negundo</i> L.	7,38	
		<i>Acer platanoides</i> L.	3,48	
		<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	2,76	
		<i>Acer saccharinum</i> L.	0,20	
		<i>Acer tataricum</i> L.	0,54	
Hypocastanaceae DC.	<i>Aesculus</i> L.	<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	1,15	
Rosaceae Juss.	<i>Armeniaca</i> Mill.	<i>Armeniaca vulgaris</i> Lam.	0,68	
	<i>Crataegus</i> Tourn. ex L.	<i>Crataegus sanguinea</i> Pall.	0,06	
	<i>Malus</i> Mill.	<i>Malus domestica</i> Borkh.	0,91	
	<i>Prunus</i> L.	<i>Prunus ×domestica</i> L.	0,81	
	<i>Pyrus</i> L.	<i>Pyrus communis</i> L.	0,34	
	<i>Padus</i> L.	<i>Padus avium</i> Mill.	0,50	
	<i>Rosa</i> L.	<i>Rosa canina</i> L.	3,10	
	<i>Sorbus</i> L.	<i>Sorbus aucuparia</i> L.	8,42	
		<i>Sorbus intermedia</i> (Ehrh.) Pers.	5,42	
Betulaceae S.F. Grau	<i>Betula</i> L.	<i>Betula pendula</i> Roth	6,41	
Bignoniaceae Juss.	<i>Catalpa</i> Scopoli	<i>Catalpa bignonioides</i> Walt.	0,37	
Fabaceae Lindley.	<i>Robinia</i> L.	<i>Gleditsia</i> L.	<i>Gleditsia triacanthos</i> L.	2,63
		<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	6,01
			<i>'Umbraculifera'</i>	0,68
Juglandaceae Rich. ex Kunth	<i>Juglans</i> L.	<i>Juglans regia</i> L.	0,53	
Moraceae Link.	<i>Morus</i> L.	<i>Morus alba</i> L.	0,30	
Salicaceae Mirb.	<i>Populus</i> L.	<i>Populus bolleana</i> Lauche	2,91	
		<i>Populus nigra</i> L.	4,83	
		<i>Populus simonii</i> Carriere	3,92	
	<i>Salix</i> L.	<i>Salix alba</i> L.	0,26	
Fagaceae Dumort.	<i>Quercus</i> L.	<i>Quercus robur</i> L.	5,56	
Tiliaceae Juss.	<i>Tilia</i> L.	<i>Tilia cordata</i> Mill.	3,91	
Ulmaceae Mirb.	<i>Ulmus</i> L.	<i>Ulmus laevis</i> Pall.	2,33	
	<i>Fraxinus</i> L.	<i>Fraxinus excelsior</i> L.	8,63	
Caprifoliaceae Juss.	<i>Lonicera</i> L.	<i>Lonicera tatarica</i> L.	2,08	
Oleaceae Hoffmgg. et Link	<i>Ligustrum</i> L.	<i>Ligustrum vulgare</i> L.	9,24	
	<i>Syringa</i> L.	<i>Syringa vulgaris</i> L.	2,84	

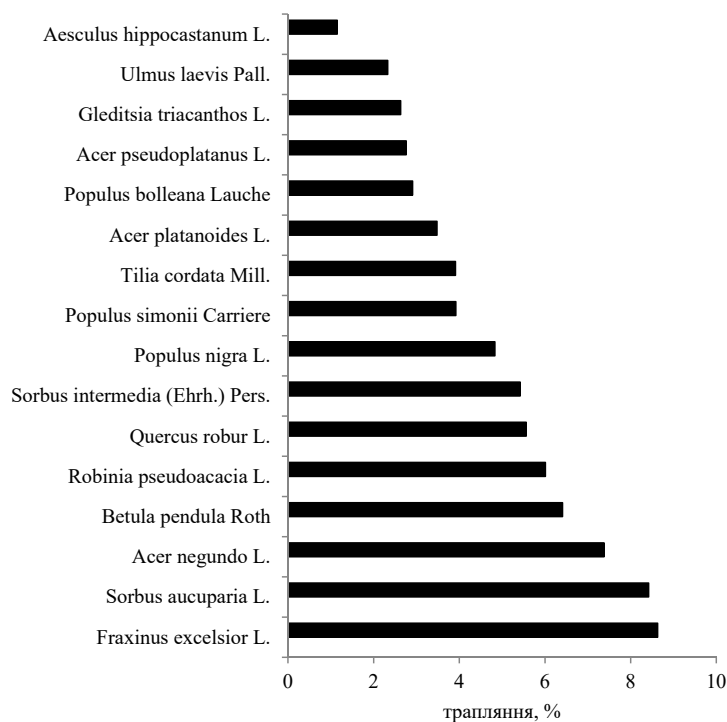


Рис. 1. Трапляння основних видів у дендроценозі парку м. Новогродівка

12% відповідно. Види з інших флористичних областей не перевищують 3–6%.

В дендроценозі переважають рослини із швидким темпом росту (59% від загальної кількості виявлених видів). До них відносяться види родів *Populus*, *Acer*, *Salix* і *Fraxinus*, а також *Juglans regia* L., *Betula pendula*, *Robinia pseudoacacia*. Середньозростаючі види становлять 35% (*Aesculus hippocastanum* L., *Padus avium*, *Tilia cordata*, а також види роду *Sorbus*). Серед видів повільного темпу росту, які становлять 6%, зустрічаються *Armeniaca vulgaris*, *Acer tataricum*.

Можливість використання деревних рослин в штучних дендроценозах визначається їхніми вимогами до умов зростання та рівнем негативної дії на них екологічних факторів. Вирішальне значення при цьому мають кліматичні, ґрунтові фактори та рівень забруднення навколишнього середовища. При цьому у рослин формуються певні біологічні пристосувальні ознаки, що дають змогу виживати у відповідних умовах, під постійним впливом екологічних факторів [4].

Для нормальної життєдіяльності деревних рослин має значення інтенсивність та тривалість освітлення. Погіршення росту та розвитку рослин спостерігається як при нестачі так і при надлишку світла. За результатами проведеного аналізу геліоморфного спектру в досліджуваному дендроценозі переважають геліофіти, кількість яких становить 62% від загальної кількості досліджуваних видів (рис. 2А). Серед них *Populus simonii* Carriere, *Betula pendula*, *Armeniaca vulgaris* та ін. Дещо менше в насадженнях сциофітів – 32%, таких як *Picea pun-*

*gens* Engelm., *Acer tataricum*, *Lonicera tatarica* та ін. Частка видів-геліосциофітів становить лише 6% (*Acer negundo*, *Quercus robur*).

Одним з найважливіших показників успішного культивування деревних рослин в урбосистемах є їх відношення до зволоженості місця існування. В досліджуваному парку більшість видів відноситься до мезофітів, кількість їх становить 73% (рис. 2Б). Серед видів, що зростають в місцях помірного зволоження виявлено *Acer negundo*, *A. platanoides*, *Tilia cordata*, *Juglans regia* та ін. Значно менше в дендроценозі ксерофітів (24%): *Acer tataricum*, *Armeniaca vulgaris*, *Lonicera tatarica* та ін. Участь гігрофітів не перевищує 3% від загальної кількості рослин. До групи рослин, які ростуть в умовах з підвищеною вологістю ґрунту і повітря віднесено *Prunus domestica*.

Аналіз рослин за вибагливістю до родючості ґрунтів свідчить, що серед представників дендроценозу переважають мезотрофи, частка яких становить 59%; група мегатрофів представлена 15% (рис. 2В). Мезо- та мегатрофи відрізняються вибагливістю до родючості ґрунтів і потребують переважно свіжих, добре аерованих, помірно зволених субстратів, а дуже бідних та засолених ґрунтів не витримують. Серед таких видів *Acer platanoides*, *A. saccharinum*, *Aesculus hippocastanea*, *Catalpa bignonioides* Walt. та ін. Частка оліготрофів становить 26%. Вони можуть зростати на різних типах ґрунтів – сухих, бідних, кам'янистих, вапняках, а також багатих на гумус. До них віднесено *Picea pungens*, *Gleditsia triacanthos* L., *Populus simonii*, *Ligustrum vulgare* та ін.

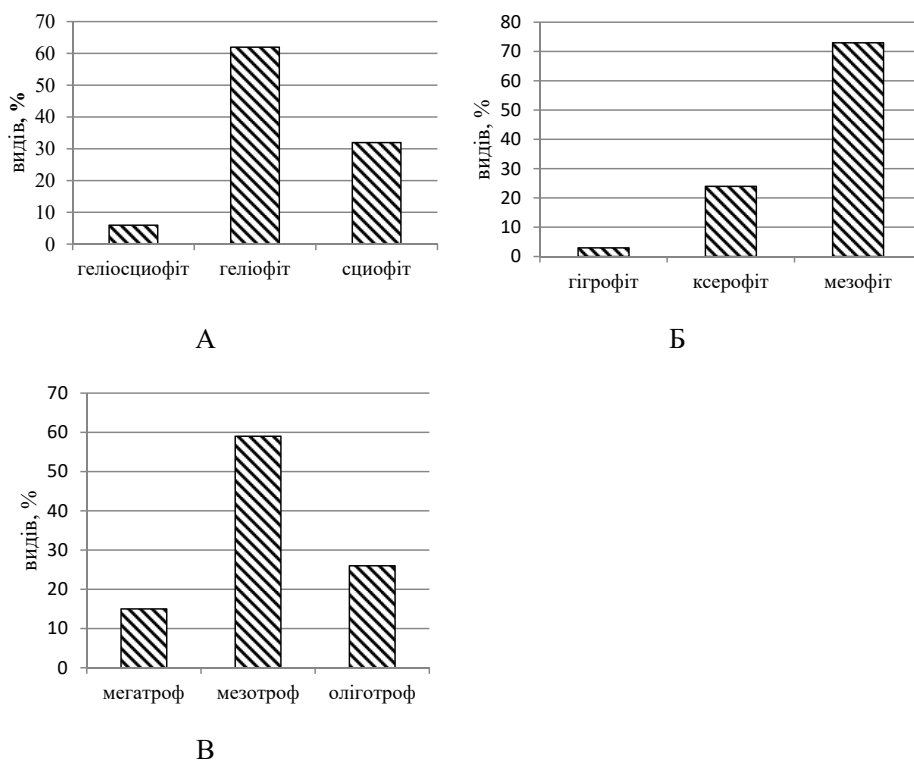


Рис. 2. Екологічна структура дендроценозу парку м. Новогродівка:  
А – геліоморфний спектр, Б – гігроморфний спектр, В – трофоморфний спектр

Насадження парку є прикладом створення вдалого штучного дендроценозу, в якому присутні незначні суцільні масиви, відкриті місця, окремі групи та солітери, алеїні насадження вздовж доріжок.

Просторова структура ПП I представлена одноярусними насадженнями *Acer platanoides*, *Aesculus hippocastanum*, *Quercus robur* та *Tilia cordata*. Другий ярус та підлісок відсутні. Природного поновлення видів не виявлено, оскільки досліджувана площа зазнає значного рекреаційного навантаження, що приводить до витоптування трав'яного покриття та самосіву. Зімкнутість крон висока і становить 0,8.

ПП II характеризується змішаними насадженнями різновікових деревних порід. В першому ярусі переважають *Acer platanoides*, *Quercus robur*, *Tilia cordata*. Другий ярус утворюють *Malus domestica*, *Catalpa bignonioides*, *Ulmus laevis*. Підлісок складають *Rosa canina* та *Ligustrum vulgare*. Зімкнутість крон середня (0,5–0,6). Спостерігається задовільне природне поновлення *Ulmus laevis* – щільність 2,3–2,8 особини/м<sup>2</sup>.

На ПП III в першому ярусі переважає *Robinia pseudoacacia* L., в другому – *Morus alba* L., *Sorbus aucuparia*, *Acer tataricum*. В підліску зустрічаються *Rosa canina*, *Syringa vulgaris* і поодинокі кущі *Crataegus sanguinea*. Зімкнутість крон деревних порід становить 0,4–0,5. Спостерігається природне поновлення *Robinia pseudoacacia* (щільність 0,2–0,8 особини/м<sup>2</sup>).

ПП IV було закладено на території дендроценозу, що межує з лісопосадкою. На досліджуваній ділянці

робітники комунального підприємства не проводять доглядові планові роботи (санітарні рубки та чистку деревно-кущових рослин, скошування трави тощо). Вертикальна структура деревостану налічує декілька ярусів. Основу першого ярусу становлять різновікові дерева *Acer pseudoplatanus*, *Fraxinus excelsior*, *Populus simonii*. Другий ярус деревної рослинності складають такі породи, як *Acer negundo*, *A. tataricum*, *Ulmus laevis*, *Armeniaca vulgaris*. В підліску зустрічаються *Lonicera tatarica*, *Ligustrum vulgare*. Зімкнутість крон висока 0,8–0,9. На площі зустрічається нерівномірно, але досить щільно підріст *Acer negundo*. Визначено природне поновлення *Acer pseudoplatanus* і *Ulmus laevis*, щільність якого висока і становить 3,5–6,1 особини/м<sup>2</sup>.

ПП V характеризується відкритим типом просторової структури, в якому площа не зайнята щільними насадженнями, а представлена розрідженими. Такі ділянки в паркових дендроценозах створюють виразні композиційно-ландшафтні території. В першому ярусі переважають *Fraxinus excelsior*, *Acer platanoides*, *Betula pendula*, *Populus nigra* L. У другому зростають *Acer negundo*, *Sorbus intermedia*, *Prunus ×domestica*. Зімкнутість крон низька (0,2–0,3). Підлісок відсутній. Природного поновлення деревних рослин не виявлено. Поодинокі зустрічаються порості *Acer negundo* на пеньках, що залишилися після видалення сухих дерев.

**Висновки.** За результатами досліджень штучний парковий дендроценоз м. Новогродівка збід-

нений за видовим складом, налічує 33 види і один культивар деревних рослин. Аборигенна фракція флори представлена 15 видами. Насадження представлені різновіковими деревами, серед яких переважають геліофіти, мезофіти та мезотрофи: *Fraxinus excelsior*, *Populus nigra*, *Robinia pseudoacacia* тощо. П'ятьдесят дев'ять відсотків видів у досліджуваному дендроценозі зі швидким темпом росту: види родів *Populus*, *Salix alba*, *Fraxinus*

*excelsior*, *Juglans regia*, *Betula pendula*, *Robinia pseudoacacia* тощо. Просторова структура дендроценозу складна і представлена зімкнутим, напівзімкнутим та відкритим типами. Зімкнутість крон становить від 0,2 до 0,9. Умови зростання дерев у парку та відсутність доглядових робіт на деяких територіях дендроценозу сприяють природному поновленню *Acer pseudoplatanus*, *Robinia pseudoacacia* і *Ulmus laevis*.

### Література

1. Авдеева Е.В., Панов А.И., Громыко С.В. Экологическая оценка лесных ландшафтов в условиях городской среды. Хвойные бореальные зоны. 2014. XXXII (5–6). С. 13–16.
2. Анучин Н.П. Лесная таксация. М., Л.: Гослесбумиздат, 1960. 521 с.
3. Аткина Л.И., Морозов А.М., Жукова М.В. Современное состояние парка стадиона химмаш в г. Екатеринбурге. Пермский аграрный вестник. 2017. 2 (18). С. 6–12.
4. Байрак О.М. Парки Полтавщини: історія створення, сучасний стан дендрофлори, шляхи збереження і розвитку. Полтава: Верстка, 2007. 276 с.
5. Бідолах Д.І., Гринюк Ю.Г., Кузьович В.С., Підховна С.М., Тиманська О.Б. Геоінформаційна інвентаризація, оцінювання стану та пропозиції щодо озеленення та благоустрою території парку ім. Івана Франка у Чорткові. Науковий вісник НЛТУ України. Львів: РВВ НЛТУ України. 2018. Вип. 28 (10). С. 22–27.
6. Бойко Л.І., Юхименко Ю.С., Данильчук Н.М. Принципи створення дендрокомпозицій та критерії їх використання на міських територіях. Екологічні науки. 2022. № 5 (44). С. 180–185.
7. Екофлора України: в 6 т. / відпов. ред. Я.П. Дідух. Київ: Фітосоціоцентр. 2010.
8. Генсірук С. А. Региональное природокористування. Львів: Світ, 1992. 334 с.
9. Івченко А.І., Мазепа М.Й., Мельник Ю.А. Словник таксономічних назв деревних рослин. Львів: Світ, 2001. 148 с.
10. Калініченко О.А. Декоративна дендрологія. К.: Вища школа, 2003. 199 с.
11. Клименко Ю.О. Оцінка стану паркових насаджень та розробка шляхів їх оптимізації (на прикладі Голосіївського парку ім. М.Т. Рильського у Києві). Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2011. № 2. С. 39–44.
12. Колесников А.И. Декоративная дендрология. М.: Лесная промышленность, 1974. 704 с.
13. Кохно М.А., Пархоменко Л.І., Зарубенко А.У. Дендрофлора України. Дикорослі й культивовані дерева і кущі. Покритонасінні. Частина I [довідник] (за ред. М.А. Кохна). К.: Фітосоціоцентр, 2002. 448 с.
14. Кохно М.А., Трофименко Н.М., Пархоменко Л.І. Дендрофлора України. Дикорослі й культивовані дерева і кущі. Покритонасінні. Частина II [довідник] (за ред. М.А. Кохна). К.: Фітосоціоцентр, 2005. 716 с.
15. Левон Ф. М., Кузнецов С.І. Концептуальні аспекти формування міських зелених насаджень у сучасних умовах. Інтродукція рослин. 2006. № 4. С. 53–57.
16. Миркин Б.М., Наумова Л.Г., Соломещь А.И. Современная наука о растительности. М.: Логос, 2001. 254 с.
17. Суслова О.П. Сучасний стан деревних паркових насаджень м. Слов'янськ. Науковий вісник НЛТУ України. Львів: РВВ НЛТУ України. 2018. Вип. 28 (5). С. 57–60.
18. Суслова О.П. Паркові насадження м. Покровськ: видове різноманіття та репрезентативність видів. Рослини та урбанізація. Мат. VIII Міжнар. науково-практичної конференції (Дніпро, 5 березня 2019). 2019. С. 125–127.
19. Цыганов, Д.Н. Экоморфы флоры хвойно-широколиственных лесов. Москва: Наука, 1976. 60 с.
20. Черепанов С.К. Сосудистые растения СССР. Л.: Наука, 1981. 510 с.
21. Чипиляк Т.Ф., Лещенюк О.М., Мазура М.Ю. Стан деревно-чагарникових насаджень територій обмеженого користування промислового району міста Кривий Ріг. Науковий вісник НЛТУ України. Львів: РВВ НЛТУ України. 2017. Вип. 27(1). С. 97–100.
22. Черномаз Н. М. Деревна та чагарникова рослинність схилів Києва, як невід'ємний компонент міського середовища. Актуальні проблеми озеленення населених місць: освіта, наука, виробництво, мистецтво формування ландшафту: Міжнародна науково-практична конференція, м. Біла Церква, 25–26 травня 2017 року: тези доповіді. Біла Церква, 2017. С. 145–147.
23. Черномаз Н.М. Дендроценози схилів Києва (екологічні умови, сучасний стан та шляхи оптимізації). дис. к.б.н., 03.00.16 – екологія. 2019. ДЗ «Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління» Мінекології України. Київ, 2019. 234 с.
24. Черномаз Н. М., Горелов О. М. Таксономічна, просторова та екологічна структура лісових і паркових насаджень схилів в умовах урбанізованого середовища. Науковий журнал «Біоресурси і природокористування». Том 8 (5–6). 2016. С. 11–18.
25. Шумик М. І. Інтродукційна популяція як головний елемент у формуванні ботанічних експозицій та оптимізації урбанізованих систем. Режим доступу до ресурсу: [http://nltu.edu.ua/nv/Archive/2016/26\\_3/36.pdf](http://nltu.edu.ua/nv/Archive/2016/26_3/36.pdf)
26. Didukh, Ya.P. The ecological scales of the species of ukrainian flora and their use in synphytoindication. Kyiv: Phytosociocenter, 2011. 176 p.
27. Borowski J., Fortuna-Antoszkiewicz B., Łukaszkiwicz J., Rosłon-Szeryńska E. Conditions for the effective development and protection of the resources of urban green infrastructure. VI International Conference of Science and Technology INFRAEKO. 2018. Vol. 45. 00010. 8 p.

## ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНЮВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ СПОЛУКАМИ РВ ҐРУНТІВ УРБОЕКОСИСТЕМ: НА ПРИКЛАДІ М. ДНІПРО

Яковишина Т.Ф.

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури  
вул. Архітектора Олега Петрова, 24А, м. Дніпро  
t\_yakovyshyna@ukr.net

Потреба оцінювання вмісту Рв в ґрунтах урбоєкосистем зумовлена особливостями екологічної ситуації, що ускладнюється внаслідок збільшення техногенних навантажень на складові навколишнього природного середовища, та усвідомленням ступеня небезпеки, котрий спричиняє цей хімічний елемент. Актуальним науково-практичним завданням є встановлення показника оцінювання інтенсивності забруднення ґрунтів урбоєкосистем сполуками металів з врахуванням урбанізованого фону, наявності окремих осередків інтенсивного забруднення – hot spots та міграційної здатності сполук металів в ґрунті. Дослідження проводились на прикладі забруднення урбоєкосистеми м. Дніпро небезпечними сполуками свинцю. Валовий вміст свинцю в ґрунті визначали після його кислотної обробки на атомно-абсорбційному спектрофотометрі, рухомі форми у витягу ААБ з рН 4,8, потенційно-рухомі форми у витягу 1Н НСІ. Як показали результати досліджень інтенсивність забруднення ґрунту урбоєкосистеми м. Дніпро небезпечними сполуками свинцю коливалась від помірної до сильної за валовим вмістом та була сильною за потенційно-рухомими та рухомими формами. Міграційна здатність сполук свинцю зумовлювалась підвищенням його валового вмісту на тлі втрати буферної властивості міським ґрунтом. Виявлено тенденцію зростання значень індексу забруднення Немерова (NPI) в ряді валовий вміст < потенційно-рухомі форми < рухомі форми внаслідок врахування здатності сполук свинцю до мігрування. Ґрунтовно доведено ефективність використання NPI на відміну від коефіцієнту концентрації та коефіцієнту небезпеки, як такого, що зважає на особливості формування і функціонування урбоєкосистем, а саме, строкатість та просторове розповсюдження забруднення, а також здатність небезпечних сполук металів до мігрування. Запропоновано залучення NPI до блоку оцінювання системи моніторингу стану урбоєкосистем. *Ключові слова:* метали, свинець, небезпечні сполуки, забруднення, індекс забруднення Немерова, ґрунт, урбоєкосистема.

### Assessment features of pollution by Pb compounds of urboecosystem soils: on the example of Dnipro city. Yakovyshyna T.

The need to assess the Pb content in the urban ecosystems soils is due to the peculiarities of the ecological situation, which is complicated by the increase of man-made loads to the environment components, and the awareness of the danger degree by this chemical element. An urgent scientific and practical task is to establish an indicator for assessing the pollution intensity of urboecosystems soil by the metal compounds, taking into account the urbanized background, the presence hot spots of pollution in the individual centers, and the mobility of metal compounds in the soil. The research was conducted on the example of urban ecosystem contamination of Dnipro city by the dangerous lead compounds. The gross content of lead in the soil was determined after its acid treatment on an atomic absorption spectrophotometer, available forms in the extract of AAB with pH 4.8, potentially available forms in the extract of 1N HCl. As the research results showed, the intensity of soil contamination of the urban ecosystem Dnipro by the dangerous lead compounds ranged from moderate to severe in terms of gross content and was severe in terms of potentially available and available forms. The migration ability of lead compounds was caused by an increase in its gross content and loss of the buffering properties by the urban soil. An increasing trend of Nemerov pollution index (NPI) values has been determined in the series gross content < potentially mobile forms < mobile forms into account the lead compounds ability to migration. In contrast to the concentration coefficient and the hazard coefficient, the effectiveness of NPI using has been thoroughly proven, as it takes into account the peculiarities of the urboecosystems formation and functioning, namely, the variegation and spatial distribution of pollution and ability of dangerous metal compounds to migration. NPI has been proposed to involve to the evaluation block of the monitoring system of the state of urboecosystems. *Key words:* metals, lead, hazardous compounds, pollution, Nemerov pollution index, soil, urban ecosystem.

**Постановка проблеми.** Необхідність оцінки вмісту Рв в ґрунтах урбоєкосистем пов'язана не тільки з екологічною ситуацією, що ускладнюється внаслідок збільшення техногенних навантажень на складові навколишнього природного середовища, а й з усвідомленням ступеня небезпеки, котрий спричиняє цей хімічний елемент. Небезпека забруднення Рв зумовлюється надто високою токсичністю даного металу для біоти, і, в першу чергу, для людини, за умов тривалої відсутності вираженої симптоматики інтоксикації свинцем при наявності функціональних та органічних ушкоджень в органах та їх системах, багато з яких можуть бути незворотними. Навіть в незначних концентраціях Рв спричиняє токсичний,

мутагенний та канцерогенний ефекти, має здатність до біокумуляції й досить погано видаляється з екосистем. Рв – елемент першого класу токсичності, що призводить до порушень у нервовій системі, крові та судинах, знижує резистентність імунного статусу, а також активно впливає на синтез білку, енергетичний баланс клітини та її генетичний апарат [1]. Хронічне отруєння Рв досить різноманітне за клінічними проявами, так він вражає центральну й периферичну нервову систему, кістковий мозок, кров, нирки, судини, генетичний апарат клітини, здійснює ембріотоксичну дію, викликає сатурнізм [1–3]. Таким чином, визначення джерел і просторового розподілу сполук свинцю в ґрунтах техногенно

навантажених урбоекосистем, має велике значення щодо оцінювання інтенсивності спричиненого забруднення для забезпечення екологічної безпеки міського населення.

**Актуальність дослідження.** Особливості формування поелементного забруднення небезпечними сполуками металів в межах урбоекосистеми сприяють утворенню локальних ділянок різкого підвищення їх концентрації та тлі досить рівномірного вмісту, проте вище фонових значень. Показники, що використовуються для визначення екологічної безпеки поелементного забруднення ґрунту сполуками металів – коефіцієнт концентрації та коефіцієнт безпеки зазначені особливості не враховують. Крім того, при проведенні оцінювання забруднення ґрунтів техногенно навантажених урбоекосистем небезпечними сполуками металів, зазвичай, обмежуються використанням тільки їх валового вмісту після кислотної обробки ґрунту, проте за умов порушення буферної здатності внаслідок впливу антропогенної діяльності цей показник не буде інформативним, адже здатність сполук металів до мігрування, що відбивається через їх рухомість, може збільшуватися на порядок порівняно до зонального ґрунту, який знаходиться в нативних умовах. Тому досить важливо встановити показник оцінювання інтенсивності поелементного забруднення ґрунтів урбоекосистем сполуками металів, який би, по-перше, враховував сформований урбанізований фон та наявність окремих осередків інтенсивного забруднення – hot spots, а, по-друге, зважав на рухомість сполук металів в ґрунті, тобто визначався для рухомих та потенційно-рухомих їх форм.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Дослідження проведено у рамках реалізації Закону України «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року», затвердженої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 28.02.2019 р. під час виконання у Придніпровській державній академії будівництва та архітектури НДР «Екологічний моніторинг складових техногенно навантажених урбоекосистем» (державний реєстраційний номер 0116U004746, 2016–2020 рр.) та «Наукові основи забезпечення екологічної безпеки техногенно навантажених урбоекосистем» (державний реєстраційний номер 0121U10039120, 2021–2023 рр.).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** При проведенні оцінювання техногенного навантаження на ґрунти урбоекосистем внаслідок їх поелементного забруднення сполуками металів перевагу надають коефіцієнту концентрації. Методологічний підхід ґрунтується на співвіднесенні результатів аналітичних досліджень вмісту катіонів металів в конкретному зразку ґрунту з вище запропонованими еталонами, в результаті чого встановлюється факт забруднення за умов перевищення природної флуктуації згідно фонові концентрації.

Світова спільнота при нормуванні забруднення металами здебільшого спирається на їх вміст в зональному ґрунті, тобто на природний геохімічний фон, котрий вчені трактують по-різному: середньоарифметичне, середньгеометричне або навіть модальне значення концентрації [4]. Проте слід досить обережно використовувати середні значення в якості фонові концентрації, вважається за доцільне супроводжувати даний показник оцінкою варіації аналітичних даних. Зарубіжні вчені пропонують фонові концентрації катіонів металів визначати в межах підтипу ґрунтів з урахуванням фаціальних відмінностей [5–6], такі концентрації трактуються як середній вміст. Для основних типів ґрунтів України концентрації природного геохімічного фону згідно зазначених вимог були встановлені вченими Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського». Для міських ґрунтів інтенсивність поелементного забруднення сполуками металів встановлюється не тільки за перевищенням природного геохімічного фону, а й з урахуванням розповсюдження забруднення на досліджуваній території. Крім того за умов техногенного забруднення території міст слід зважати на вже сформований урбанізований геохімічний фон та враховувати наявність осередків інтенсивного забруднення, так звані hot spots. Останнім часом все більш активно використовують індекс забруднення Немерова (Nemerov pollution index, NPI), адже він враховує середнє значення та найвище значення забруднення сполуками металу, що, в свою чергу, відбиває всю небезпеку ситуації, яка склалася в межах техногенно навантаженої урбоекосистеми [7–8].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Проблема дослідження полягає в обґрунтування використання NPI для оцінювання інтенсивності забруднення ґрунтів урбоекосистем, як такого що враховує здатність небезпечних сполук металів до мігрування та особливості просторового розповсюдження забруднення, а саме, урбанізований фон і наявність hot spots.

**Новизна.** Визначено інтенсивність забруднення ґрунту сполуками свінцю за NPI для урбоекосистеми м. Дніпро з урахуванням їх здатності до мігрування. Набуло подальшого розвитку застосування NPI для оцінювання інтенсивності забруднення небезпечними сполуками металів ґрунтів техногенно навантажених урбоекосистем з урахуванням їх ґрунтових особливостей, а саме, формування умов щодо підвищення здатності небезпечних сполук металів до мігрування, утворення урбанізованого фону і наявність hot spots.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Для ефективності використання NPI щодо оцінювання поелементного забруднення урбоекосистеми м. Дніпро на прикладі свінцю було створено мережу

ключових ділянок відбору проб ґрунту, в загальній кількості 65, шляхом нанесення на територію міста сітки розміром 2 км × 2 км. Розміри сітки визначались площею та кількістю населення міста [9].

Валовий вміст свинцю в ґрунті визначали після його кислотної обробки на атомно-абсорбційному спектрофотометрі, рухомі форми, що показували здатність сполук металів до мігрування – у витягу ААБ з рН 4,8, потенційно-рухомі форми для врахування впливу урбоєкосистеми на процес мігрування – у витягу 1Н НСІ. Аналіз виборок вмісту сполук свинцю з різною здатністю до мігрування здійснювали методами математичної статистики.

Забруднення ґрунту сполуками свинцю з урахуванням їх здатності до мігрування оцінювали за допомогою NPI (1) [10]:

$$NPI = \sqrt{\frac{P_{ave}^2 + P_{max}^2}{2}} \quad (1)$$

де  $P_{max}$  – максимальне значення індексу забруднення ґрунту сполуками металу;  $P_{ave}$  – середнє значення індексу забруднення ґрунту сполуками металу, що розраховується за формулою (2)

$$P_{ave} = \frac{1}{n} \sum_{S_i} C_i \quad (2)$$

$C_i$  – вміст катіонів металу в досліджуваному ґрунті (мг/кг);  $S_i$  – фоновий вміст катіонів металу в зональному ґрунті (мг/кг);  $n$  – кількість досліджуваних зразків.

Оцінювання інтенсивності забруднення небезпечними сполуками свинцю згідно одержаних значень NPI виконували, користуючись шкалою, наведеною в табл. 1.

Таблиця 1

#### Шкала інтенсивності забруднення ґрунту сполуками металу за NPI [11]

Значення NPI	Інтенсивність забруднення ґрунту
$NPI \leq 0,7$	Чистий ґрунт
$0,7 < NPI \leq 1,0$	Межа виникнення небезпеки забруднення ґрунту
$1,0 < NPI \leq 2,0$	Слабке забруднення ґрунту
$2,0 < NPI \leq 3,0$	Помірне забруднення ґрунту
$NPI > 3,0$	Сильне забруднення ґрунту

**Викладення основного матеріалу.** Сполуки Рb потрапляють до ґрунту з викидами металургійних, металооброблювальних, машинобудівних та хімічних підприємств [1] в загальній кількості 12 стосовно м. Дніпро. Щорічно від стаціонарних джерел в атмосферне повітря надходить близько 1,972 т сполук Рb, що відповідає техногенному навантаженню: 0,005 т на 1 км<sup>2</sup> площі урбоєкосистеми та 0,002 кг – на душу населення відповідно (дані Головного управління статистики в Дніпропетровській області).

На території міста урбанізований фон складає для вмісту катіонів Рb<sup>2+</sup> після кислотної

обробки – 65,86 мг/кг, що більше за природній, притаманний зональному ґрунту – чорнозему звичайному, в 2,94 рази, а за ГДК – в 2,20 рази, а для вилучених за допомогою ААБ з рН 4,8 – 18,11 мг/кг, відповідно 9,06 та 181,11 рази. Вміст катіонів Рb<sup>2+</sup> (витяг 1Н НСІ) становить до 99% від їх кількості після кислотної обробки, що свідчить про втрату буферних властивостей антропогенно трансформованим ґрунтом внаслідок зменшення вмісту органічної речовини та R<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, підкислення, диспергації ґрунтових колоїдів, каменястості, тощо. Концентрація катіонів свинцю вилучених ААБ з рН 4,8 також є досить високою – до 63% від вмісту після кислотної обробки ґрунту, отже спричиняє токсичність для рослин та позначається на збідненості фітоценозів. На території міста існують ділянки де майже повністю відсутній рослинний покрив. Більш тісний кореляційний зв'язок та достовірність апроксимації рівнянь регресії були зафіксовані між вмістом катіонів Рb<sup>2+</sup> після кислотної обробки і вилучених за допомогою витягу 1Н НСІ (0,962), порівняно з вмістом одержаним з використанням ААБ з рН 4,8 (0,902), що ще раз підтверджує їх доцільність при визначенні здатності до мігрування для характеристики антропогенного забруднення ґрунтів урбоєкосистем сполуками екологічно небезпечних металів в умовах інтенсивного техногенного навантаження (формули 3–5).

$$\begin{aligned} \text{Сп.-р.ф.}_{\text{Рb}} &= -0,0000006\text{Св.}_{\text{Рb}}^3 + 0,0009\text{Св.}_{\text{Рb}}^2 + \\ &0,5663\text{Св.}_{\text{Рb}} + 4,9997, \\ R^2 &= 0,930 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{Ср.ф.}_{\text{Рb}} &= -0,0000003\text{Св.}_{\text{Рb}}^3 + 0,00005\text{Св.}_{\text{Рb}}^2 + \\ &0,2506\text{Св.}_{\text{Рb}} + 2,0928, \\ R^2 &= 0,815 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{Ср.ф.}_{\text{Рb}} &= 0,000002\text{Сп.-р.ф.}_{\text{Рb}}^3 - 0,0019\text{Сп.-р.ф.}_{\text{Рb}}^2 + \\ &0,6575\text{Сп.-р.ф.}_{\text{Рb}} - 4,3449, \\ R^2 &= 0,721 \end{aligned} \quad (5)$$

де Св. – вміст катіонів металу після кислотної обробки (валовий вміст); Сп.-р.ф. – вміст катіонів металу у витязі 1Н НСІ (потенційно-рухомі форми); Ср.ф. – вміст катіонів металу у витязі ААБ з рН 4,8 (рухомі форми).

Як показали результати аналізу проведеного методами математичної статистики, перевищення медіани середнім значенням відбиває тенденцію до збільшення площі ареалів техногенного навантаження на міський ґрунт через забруднення сполуками Рb (табл. 2). Значний розмах між максимальним і мінімальним значенням зумовлений строкатістю, котра спричинена процесами деконцентрації при розбудові урбоєкосистеми та тривалого забруднення в промислових зонах. Позитивні значення коефіцієнту ексцесу концентрацій катіонів свинцю, одержаних у різних витягах обумовлювали наявність гостровершинного розподілення кожної



Таблиця 2

Характеристика вмісту катіонів Pb<sup>2+</sup> у ґрунтах урбоєкосистеми м. Дніпро

Показник	Вміст катіонів металу, що вилучаються із сполук		
	шляхом кислотної обробки, мг/кг	за допомогою витягу 1 Н НСІ, мг/кг	за допомогою витягу ААБ з рН 4,8, мг/кг
Мінімум	6,74	3,67	1,69
Максимум	429,67	360,64	126,00
Середнє	65,86	51,17	18,11
Медіана	37,00	26,18	11,20
Екссес	7,70	9,96	10,49
Асиметрія	2,90	3,25	3,17
Дисперсія	8100,11	6009,87	524,15
Стандартне відхилення	90,70	78,13	23,07
Розмах	422,93	356,97	124,31

із виборок, що за умов незначної правосторонньої асиметрії (< 5,5) за В.В. Тарасовою (2008) [12] свідчило про інтенсивне антропогенне забруднення ґрунтів свинцем на всій території м. Дніпро з окремими hot spots.

Інтенсивність забруднення ґрунту небезпечними сполуками свинцю була вища та більш монотонна на правобережній частині урбоєкосистеми м. Дніпро, чим на лівобережжі, де спостерігалась значна строкатість вмісту Pb особливо в Амур-Нижньодніпровському районі між промисловими територіями Амур-Гавані та приватним сектором (табл. 3). Найбільш безпечним районом як на правобережжі, так і відносно всієї території міста виявився Соборний район, на території якого відсутні промислові підприємства – забруднювачі навколишнього середовища небезпечними сполуками металів, а спостерігається тільки вплив анотранспорту. Згідно значень NPI забруднення ґрунтів урбоєкосистеми сполуками свинцю по Індустріальному та Соборному районам було помірно інтенсивним, а в решті районів – сильним за валовим вмістом. При врахуванні здатності до мігрування категорія інтен-

сивності забруднення змінювалася і була сильною по всім районам м. Дніпро.

Спостерігалася тенденція зростання значень NPI в ряді валовий вміст < потенційно-рухомі форми < рухомі форми, що, в свою чергу свідчило, про підвищення екологічної небезпеки внаслідок забруднення при збільшенні рухомості сполук Pb в ґрунті. Зазвичай в нативних умовах в зональному ґрунті – чорноземі звичайному міграційна здатність сполук свинцю досить низька, вміст рухомих форм становить 0,4–0,5%. Проте наявність потенційно-рухомих форм у зонального ґрунту може складати до 50% від валу, що зумовлює потенційну здатність до мігрування при зміні ґрунтових умов в процесі розбудови та функціонуванні урбоєкосистем. Саме тому не слід при оцінюванні забруднення сполуками металу зупинятися тільки на валовому вмісті, а потрібно також відслідкувати небезпеку щодо здатності його сполук до мігрування в урбанізованих умовах.

Використання показника NPI для оцінки інтенсивності забруднення ґрунтів урбоєкосистем сполуками металів надало змогу оцінити небезпеку з урахуванням строкатості та просторого розповсю-

Таблиця 3

## Інтенсивність забруднення ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро небезпечними сполуками свинцю за NPI

Адміністративна одиниця	Форми свинцю в ґрунті		
	валові	потенційно-рухомі	рухомі
Амур-Нижньодніпровський район	12,26	17,96	718,77
Індустріальний район	2,76	2,78	119,41
Новокодацький район	10,22	15,63	911,82
Самарський район	5,26	4,52	215,15
Соборний район	1,76	2,27	102,03
Центральний район	12,39	17,83	544,12
Чечелівський район	5,48	6,43	285,07
Шевченківський район	13,86	16,46	673,24
Лівобережжя	12,21	17,88	716,32
Правобережжя	13,76	18,06	902,85
м. Дніпро	13,72	18,01	900,11

дження, що досить чітко відстежувалось по Амур-Нижньодніпровському та Новокодацькому районам, де врахування hot spots позначалось на суттєвому збільшенні значення NPI, а в Самарському призводило до зміни категорії забруднення. На відміну від оцінювання забруднення ґрунту за допомогою коефіцієнту концентрації та коефіцієнту небезпеки, інформація надана NPI є більш компактною та повною, адже включає наявний урбанізований фон за середнім значенням та максимальний вміст сполук металу, зафіксований на досліджуємі території, в нашому випадку по районам і місту, а не поодинокі на окремих ключових ділянках відбору проб.

**Головні висновки.** Визначено інтенсивність забруднення ґрунту урбоєкосистеми м. Дніпро небезпечними сполуками свинцю за допомогою NPI, яка коливалась від помірної до сильної за валовим вмістом та була сильною за потенційно-рухомими та рухомими формами. Методами математичної статистики встановлено, що міграційна здатність сполук

свинцю зумовлювалась підвищенням його валового вмісту на тлі втрати буферної властивості міським ґрунтом. Виявлено тенденцію зростання значень NPI в ряді валовий вміст < потенційно-рухомі форми < рухомі форми внаслідок врахування здатності сполук свинцю до мігрування. Ґрунтовно доведено ефективність використання NPI на відміну від коефіцієнту концентрації та коефіцієнту небезпеки, як такого, що зважає на особливості формування і функціонування урбоєкосистем, а саме, строкатість та просторове розповсюдження забруднення, а також здатність небезпечних сполук металів до мігрування.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Результати досліджень можуть бути використані для обґрунтування залучення NPI до блоку оцінювання системи моніторингу стану урбоєкосистем, що дасть змогу визначати екологічну небезпеку з урахуванням здатності до мігрування сполук металів, сформованого урбанізованого фону та максимального рівня забруднення в hot spots.

### Література

1. Nieboer, E., Tsuji, L. J., Martin, I. D., Liberda, E. N. Human biomonitoring issues related to lead exposure. *Environmental Science Processes and Impacts*. 2013. Vol. 15. P. 1824–1829.
2. Ekong, E. B., Jaar, B., Weaver, V. Lead-related nephrotoxicity: A review of the epidemiologic evidence. *Kidney International*. 2006. Vol. 70. P. 2074–2084. doi: 10.1038/sj.ki.5001809
3. Navas-Acien, A., Guallar, E., Silbergeld, E. K., Rothenberg, S. J. Lead exposure and cardiovascular disease – A systematic review. *Environmental Health Perspective*. 2007. Vol. 115. P. 472–482. doi: 10.1289/ehp.9785
4. Яковичина Т. Ф. Розвиток наукових основ удосконалення системи моніторингу мігрування небезпечних сполук металів в ґрунтах урбоєкосистем. дис. док. техн. наук: 21.06.01. Дніпро, 2019. 479 с.
5. Ghazaryan K. A., Gevorgyan G. A., Movsesyan H. S., Ghazaryan N. P., Grigoryan K. V. The evaluation of the heavy metal pollution degree in the soil around the Zangzur copper and molibdenum combine. *International journal of environmental, chemical, ecological, geological and geophysical engineering*. 2015. Vol. 5. P. 405–410.
6. Tomlinson D. L., Wilson J. G., Harris C. R., Jeffrey D. W. Problems in the assessment of heavy metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgolander Meeresunter*. 1980. Vol. 33. P. 566–575.
7. Guan, Y., Shao, C., Ju, M. Heavy metal contamination assessment and partition for industrial and mining gathering areas. *International journal of environmental research and public health*. 2014. Vol. 11. P. 7286–7303.
8. Kowalska, J., Mazurek, R., Gasiorek, M., Setlak, M., Zaleski, T., Waroszewski, J. Soil pollution indices conditioned by medieval metallurgical activity – a case study from Krakow (Poland). *Environmental Pollution*. 2016. Vol. 218. P. 1023–1036.
9. Балюк С. А., Фатеев А. І., Мірошніченко М. М. Ґрунтово-геохімічне обстеження урбанізованих територій. Харків : ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського» УААН, 2004. 54 с.
10. Li R., Yuan Y., Li C., Sun W., Yang M., Wang X. Environmental health and ecological risk assessment of soil heavy metal pollution in the coastal cities of Estuarine Bay – a case study of Hangzhou Bay, China. *Toxics*. 2020. Vol. 8(75). doi:10.3390/toxics8030075
11. Zhu, G., Guo, Q., Xiao, H.-Y., Chen, T., Yang, J. Multivariate statistical and lead isotopic analyses approach to identify heavy metal sources in topsoil from the industrial zone of Beijing Capital Iron and Steel Factory. *Environmental science and pollution research*. 2017. Vol. 24. P. 14877–14888.
12. Тарасова В. В. Екологічна статистика. Київ: Центр учбової літератури, 2008. 392 с.

## ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ХВОСТОСХОВИЩА РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ КОНТРОЛЬНИХ СПИСКІВ

Рудаков Л.М.

Дніпровський державний аграрно-економічний університет  
вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро  
[rudakov.l.m@dsau.dp.ua](mailto:rudakov.l.m@dsau.dp.ua)

В Україні побудована велика кількість шламо- та хвостосховищ, які займають значні площі території та утримують великі об'єми небезпечних для навколишнього середовища речовин. Основним недоліком хвостосховищ, які проектувались і будувались понад 70 років тому, є невідповідність сучасним вимогам екологічної та технічної безпеки. Світовий досвід експлуатації та аналіз значної кількості аварій, дозволили на сьогодні розробити ряд методичних та організаційних підходів до підвищення загального рівня безпеки таких об'єктів. Найбільш розповсюдженим є застосування так званих «контрольних списків». Тобто переліку основних критеріїв та показників їх впливу на безпеку об'єкта. Відповідно до даної методики виділяється 12 основних критеріїв, які розподілені на групу критичних та некритичних по відношенню до безпеки хвостосховищ. Показники експертної оцінки за критеріями контрольного списку надають можливість визначити достовірність та встановити рівень відповідності сучасним вимогам безпеки.

У якості об'єкту досліджень обрано хвостосховище радіоактивних відходів у місті Кам'янське (Дніпропетровська область, Україна). За результатами експертних відповідей на 304 питання контрольного списку встановлено, що відповідність вимогам безпеки знаходиться на рівні 31% при достовірності наданих відповідей 66%. Визначено, що найбільш проблемними питаннями безпеки є критерії: «оцінка впливу на навколишнє середовище», «стратегія закриття та рекультивация» та «управління водними потоками». Отримані результати показують можливість оперативного застосування контрольного списку на першочергових етапах визначення рівня безпеки хвостосховищ, дозволяють визначити «слабкі місця» та розробити плани дій для обґрунтованої системи моніторингу технічного стану та попередження аварійних ситуацій на таких об'єктах. Показано перспективи для подальшої розробки і впровадження нових підходів, методів та засобів для підвищення загального рівня безпеки хвостосховищ на різних рівнях і стадіях проектування, будівництва, експлуатації, закриття та рекультивации. *Ключові слова:* екологічна безпека, хвостосховище, радіоактивні відходи, контрольний список.

### **Environmental safety level assessment of radioactive waste tailings storage facilities using checklists. Rudakov L.**

A large number of slag and tailings storage facilities have been built in Ukraine, they occupy large areas and hold great volumes of environmentally hazardous substances. The main drawback of tailings storage facilities, which were designed and built more than 70 years ago, is the inconformity to modern environmental and technical safety requirements. World operational experience and analysis of a significant number of accidents have allowed to develop a range of methodical and organizational approaches to increasing the general level of safety of such facilities. The most widespread one is the use of so-called "checklists", namely, the lists of the main criteria and indicators of the influence on the object's safety. According to this methodology, 12 main criteria are distinguished, and they are divided into critical and non-critical groups in relation to the safety of tailings. Indicators of expert assessment based on checklist criteria provide an opportunity to determine reliability and to establish the level of conformity to modern security requirements.

The radioactive waste tailings storage dump in the town of Kamianske (Dnipropetrovsk region, Ukraine) was chosen as the object of research. According to the results of expert answers to 304 questions of the checklist, it was established that conformity to security requirements is at the level of 31%, with the reliability of the given answers of 66%. It was determined that the criteria "environmental impact assessment", "closure strategy and reclamation" and "water flow management" are the most problematic safety issues. The obtained results show the possibility of checklist effective application at the primary stages of determining the safety level of tailings storage facilities, the allowance to identify "weaknesses" and to develop action plans for a reasonable system of monitoring the technical condition and prevention of emergency situations at such facilities. Prospects for further development and implementation of new approaches, methods and means for increasing the general level of safety at tailings storage facilities at various levels and stages of design, construction, operation, closure and reclamation are shown. *Key words:* environmental safety, tailings storage facilities, radioactive waste, checklist.

**Постановка проблеми.** Активний розвиток різних галузей економіки в середині минулого сторіччя призвів до створення і накопичення значних обсягів відходів виробництва. Побудовані шламонакопичувачі та хвостосховища займають значні площі території та наносять шкоду навколишньому природному

середовищу. На сьогодні найбільш суттєвою проблемою екологічної безпеки таких споруд є збільшення кількості аварій та масштабів їх негативних наслідків [1]. Загрози екологічного, соціального та економічного характеру, які потенційно несуть накопичувачі відходів, обґрунтовують необхідність перегляду

сучасних підходів до всіх стадій (проектування, будівництво, експлуатація, закриття та рекультивация) життєвого циклу об'єктів. Серед ключових варто відмітити необхідність збільшення уваги до таких об'єктів, пошуку нових методів оцінювання і моніторингу їх стану, підвищення рівня загальної екологічної і технічної безпеки [2, 3]. Відмітимо, що значна кількість накопичувачів, зокрема і хвостосховища радіоактивних речовин, вичерпали нормативні терміни своєї експлуатації і, подекуди, покинуті без відповідної процедури закриття та рекультивации. Через відсутність належного фінансування і моніторингових контрольних спостережень під час експлуатації, а також на непрацюючих об'єктах, існують ризики збільшення частоти аварій та порушень стану конструкцій огорожувальних дамб [4, 5].

**Актуальність дослідження.** Значний перелік окреслених проблемних питань, а також потенційно можливі масштаби катастрофи у випадку аварій, обґрунтовують актуальність та необхідність проведення відповідних досліджень. Основою є пошук сучасних методичних підходів та розробка відповідних організаційних, технологічних та технічних заходів щодо забезпечення належного рівня екологічної та технічної безпеки накопичувачів промислових відходів.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Дана роботи тісно пов'язана зі світовим та вітчизняним досвідом експлуатації шламо- та хвостосховищ. Зокрема із забезпеченням та дотриманням норм чинних стандартів України [6], виконанням різноманітних цільових програм державного та світового рівнів, які покликані підвищити екологічну безпеку хвостосховищ [7].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Забезпеченню екологічної безпеки накопичувачів промислових відходів присвячена значна кількість наукових публікацій. В роботі [8] авторами розглянуто можливість використання геофізичних методів досліджень для встановлення меж відпрацьованих радіоактивних хвостосховищ та встановлення технічного стану огорожувальних дамб. Розвиток та сумісна розробка багатьох країн Європейського Союзу дозволили напрацювати практику оцінювання безпеки хвостосховищ з використанням контрольних списків [9]. Закордонний досвід активно використовується і вітчизняними вченими. У дослідженні [11] представлена практика застосування та адаптації контрольних списків для оцінювання безпеки ґрунтових дамб і гребель на природних водотоках. Питання визначення рівня екологічної безпеки накопичувачів промислових відходів широко представлено в роботах [10, 12].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Для реального стану екологічної безпеки накопичувачів відходів в Україні характерний ряд

проблем. Перш за все – це невідповідність прийняття організаційних, технічних, технологічних та конструктивних рішень у минулому, що на сьогодні призвели до значних загроз внаслідок негативного впливу шламо- та хвостосховищ на навколишнє середовище. Така ситуація потребує першочергового та швидкого пошуку нових поглядів, підходів та методів для вирішення питання з підвищення екологічної безпеки цих об'єктів.

**Новизна.** Полягає у застосування передового світового досвіду з управління та забезпечення безпеки хвостосховищ на реальних об'єктах на території України. В подальшому це дозволить реалізувати принципи, підходи та процедури з підвищення рівня екологічної та технічної безпеки накопичувачів відходів у відповідності до сучасних вимог.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Адаптація методики оцінки безпеки хвостосховища із застосуванням контрольного списку та пошук науково-практичних шляхів вирішення проблеми екологічної безпеки хвостосховищ на різних стадіях їх життєвого циклу.

**Викладення основного матеріалу.** *Об'єктом* дослідження виступає відпрацьоване та закрите хвостосховище радіоактивних відходів у місті Кам'янське Дніпропетровської області (рис. 1). Тривалий час місто було одним із центрів з переробки уранової сировини. Внаслідок виробничої діяльності підприємств у місті склалася напружена ситуація з радіаційним забрудненням всіх компонент навколишнього середовища (ґрунти, повітря, вода), що негативно позначається на соціальних та економічних аспектах здоров'я населення [8]. Навколо підприємств, задіяних у технологічних процесах уранового виробництва, за 70 років накопичилася велика кількість відходів, які знаходяться у хвостосховищах та відстійниках.

Проектування, будівництво та експлуатація хвостосховища здійснювалась багато років тому, коли напрацювання теоретичного та практичного досвіду поводження з такого типу об'єктами були недостатніми для відповідності сучасним вимогам екологічної безпеки. З плином часу, занепадом промислового виробництва та закриттям хвостосховища, постала необхідність його постійного моніторингу і контролю показників безпеки, технічного нагляду та догляду.

З метою належного оцінювання рівня безпеки хвостосховища були застосовані сучасні методи та підходи, які є рекомендаціями різноманітних світових організацій з контролю та впливу небезпечних об'єктів на довкілля та транскордонне забруднення [9]. Основою методики є інформація про стан безпеки хвостосховища згідно з контрольним листом, питання якого надають розширену характеристику основним складовим елементам безпеки досліджуваного об'єкта [9–10]. Даними для контрольного листа виступають показники оцінки експер-

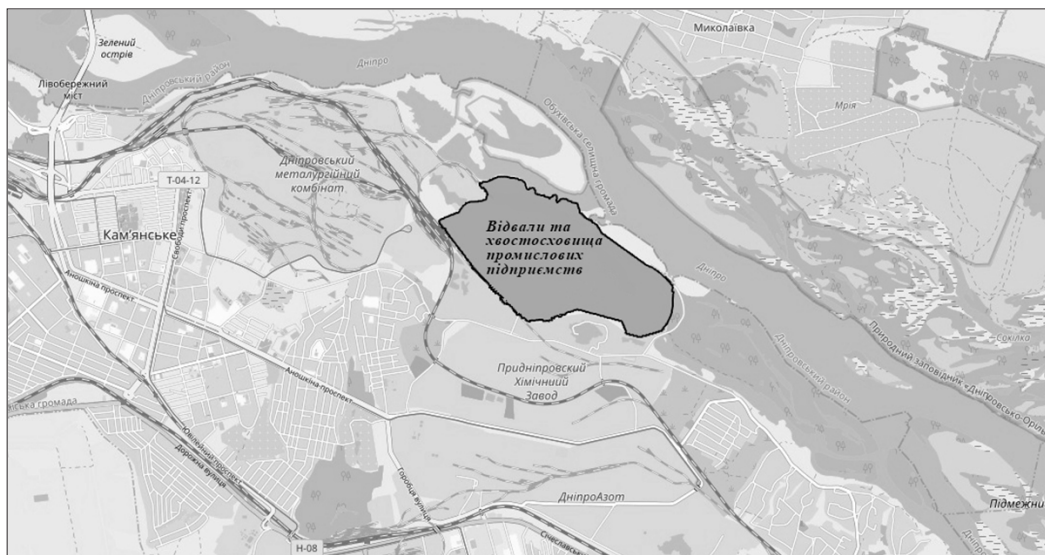


Рис. 1. Оглядова карта розташування об'єкту досліджень

тів (аудиторів), наявна документація, дані, натурні дослідження та інструментальні спостереження за станом хвостосховища [11]. Такий контрольний список визначає ряд критеріїв та їх пріоритетність для безпеки хвостосховища за наступним принципом (рис. 2).

В залежності від можливості застосування питання та доцільності надання відповіді, загальна

кількість критеріїв може сягати від декількох десятків до сотень питань. Всього виділяється 12 основних критеріїв, які в свою чергу поділяються на критичні та некритичні [9]. Експертна оцінка здійснюється шляхом надання одного з варіанту відповіді: «так», «скоріше так», «скоріше ні» та «ні». Кожному з критеріїв присвоюється свій бал оцінювання в аналогічному порядку зменшення від 3 до 0.



Рис. 2. Контрольний список критеріїв для визначення рівня безпеки хвостосховища та їх скорочення (аббревіатури)

Достовірність отриманих результатів забезпечується шляхом надання чіткого варіанту відповіді, тобто критерій «так» або «ні». За узагальненими результатами опрацювання всього контрольного списку з графіку залежності встановлюють достовірність та відповідність вимогам безпеки хвостосховища [10].

Таким чином, у даному дослідженні для досягнення основної мети необхідно вирішити наступні задачі: 1) провести експертне оцінювання об'єкту дослідження за приведеною методикою; 2) оцінити достовірність отриманих результатів та встановити фактичну відповідність вимогам безпеки (ВВБ); 3) проаналізувати показники оцінки для всіх критеріїв контрольного списку (12 параметрів) та встановити пріоритетні заходи для підвищення рівня екологічної безпеки хвостосховища; 4) надати рекомендації щодо розробки перспективних завдань та плану дій для мінімізації ризиків виникнення аварії та подальшої рекультиваци хвостосховища.

Результати досліджень наступні. Загальна кількість питань за всіма категоріями оцінювання складала 304 позиції. Серед них ствердну (однозначну) відповідь «так» чи «ні» отримано на переважну більшість питань – 201. Відповіді «скоріше так» і «скоріше ні» надано на 103 питання (рис. 3). Загальне відсоткове співвідношення питань, що визначають достовірність отриманих результатів складає 66% та 34% – питання, що не мають однозначної відповіді.

Співставлення отриманих результатів дозволяє представити рівень безпеки хвостосховища у вигляді графіку (рис. 4). Визначено, що на сьогодні відповідність діючим вимогам безпеки хвостосховища забезпечується лише на 31%. Такий показник можна вважати надзвичайно низьким з огляду на небезпеку об'єкту та потенційні загрози навколишньому середовищу.

Серед основних критеріїв, що відповідають параметрам безпеки варто відзначити задовільний показник «тренінги та підготовка персоналу». Перш за



Рис. 3. Кількісне та відсоткове співвідношення відповідей при оцінюванні рівня безпеки хвостосховища

все це пов'язано з класом наслідків (відповідальності) об'єкта, фаховою спрямованістю робітників та постійним підвищенням рівня їх кваліфікації щодо поводження з радіоактивними відходами. Дещо нижчими є показники «перевірка та звітність», що, в певній мірі, забезпечується попереднім обґрунтуванням. Всі інші параметри знаходяться в досить низьких межах оцінювання і фактично не перевищують показника 30–40% від сучасних вимог безпеки (рис. 5).

Особлива небезпека відмічається за критеріями «оцінка впливу на навколишнє середовище», «стратегія закриття та рекультиваци» та «управління водними потоками». Перші два критерії об'єктивно не виконуються через відсутність належного фінансування та розробки програми на багато років наперед, яка поступово вирішувала б питання повноцінного закриття та рекультиваци даного об'єкту. Здебільшого проводяться лише точкові моніторингові спостереження за візуальним станом хвостосховища і рівнем радіаційного забруднення. Але відсутня системність комплексного оцінювання впливу

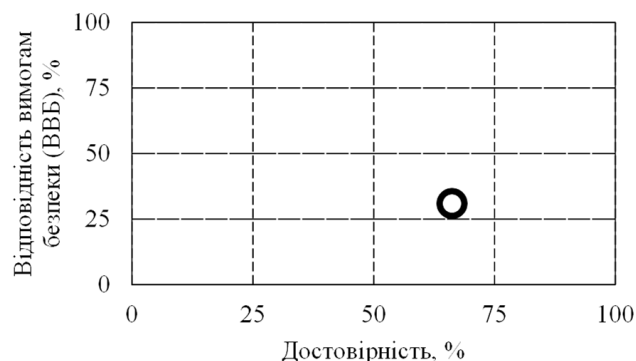


Рис. 4. Графічне представлення оціненого рівня безпеки хвостосховища

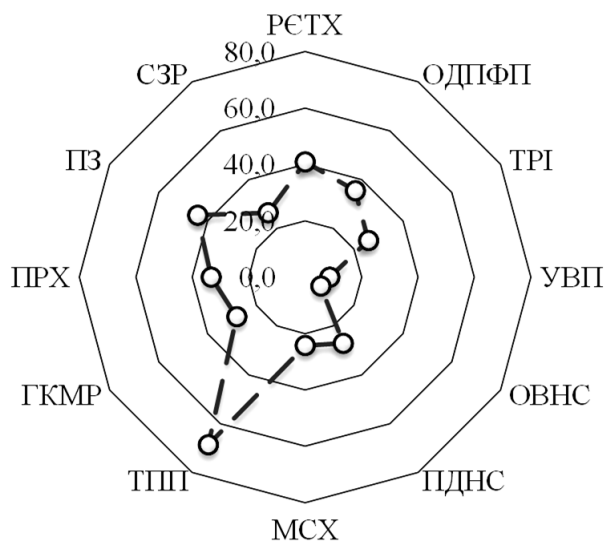


Рис. 5. Діаграма оцінки критеріїв безпеки хвостосховища

на ґрунти, повітря, міграції радіоактивних речовин у ґрунтові та поверхневі води тощо. Управління водними потоками є найбільш «вразливим місцем» забезпечення безпеки. Оскільки хвостосховище проектувалось і будувалось понад 70 років тому, на сьогодні відсутні належні технічні та конструктивні елементи такі як: протифільтраційне покриття, дренажні пристрої, організований збір та відвід забруднених вод тощо. Фактично вся вода, яка надходить у вигляді атмосферних опадів, інфільтрується у водоносні горизонти через чашу хвостосховища та потрапляє у поверхневі води через ґрунтові дамби обвалування.

**Висновки та рекомендації.** За результатами досліджень встановлено наступне: 1) дотримання та впровадження у вітчизняну практику сучасних вимог та норм до забезпечення рівня екобезпеки з використанням відповідних методичних підходів дозволяє підвищити безпеку хвостосховищ на різних стадіях і рівнях: проектування, будівництво, експлуатація, закриття та рекультивация; 2) для досліджуваного хвостосховища встановлено, що загальний рівень екологічної безпеки при відповідності до вимог знаходиться на низькому рівні (31%) при достовірності отриманих результатів у 66%; 3) визначені найбільш уразливі складові критеріїв безпеки, якими є: «оцінка впливу на навколишнє середовище», «стра-

тегія закриття та рекультивация» та «управління водними потоками»; 4) Основними рекомендаціями для підвищення рівня екологічної безпеки можуть бути наступні: розробка заходів та технічних рішень по організованому збору та відведенню води, яка надходить з атмосферними опадами; організація та фінансування досліджень по встановленню шляхів міграції та кількісному визначенню виносу радіоактивних речовин; облаштування оглядових свердловин по визначенню рівня депресійної кривої та порового тиску в тілі ґрунтової дамби обвалування; розробка та планування заходів по належному закритті та рекультивации хвостосховища; необхідність повноцінного дослідження та забезпечення постійно діючої системи моніторингу впливу хвостосховища на компоненти навколишнього природного середовища (ґрунти, вода, повітря).

**Перспективи використання результатів дослідження.** Застосування контрольного списку на першочергових етапах визначення рівня безпеки хвостосховищ, дозволяє визначити «слабкі місця» та розробити плани дій для системи моніторингу та попередження аварійних ситуацій. Це дозволить в подальшому розробити нові підходи та засоби для підвищення загального рівня безпеки таких об'єктів на різних рівнях проектування, будівництва, експлуатації, закриття та рекультивации.

#### Література

1. WISE (World Information Service on Energy): Chronology of major tailings dam failure, 2020. Available at: <https://www.wise-uranium.org/indexm.html>
2. Napich, H. V. (2013). Assessment of the technical condition of earth dams as an element of the environmental monitoring system of territories. Coll. works of National Mining University, 42, 168–173. <https://core.ac.uk/download/pdf/168413168.pdf>
3. Safety Guidelines and Good Practices for Tailing Management Facilities, (2014), UNECE.
4. Azam S., Li Q. (2010). Tailings dam failures: A review of the last one hundred years, *Geotech.* 28, 50–53.
5. Napich, H., Pikarenia, D., Rudakov, L., Maximova, N., & Makarova, T. (2020). Assessment of the accident risk and calculation of the failure processes in terms of the earth dike of a tailing dam. *Municipal Economy of Cities*, 3(156), 99–104. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2020-3-156-99-104>
6. ДБН України В.2.4-5:2012. Хвостосховища та шламонакопичувачі. Міністерство регіонального розвитку України. К., 2012, 71 с.
7. Tailings Management. Leading Practice Sustainable Development Program for the Mining Industry, (2007), Australian Government Department of Industry, Tourism, and Resources.
8. Пикареня Д.С., Орлинская О.В., Сорока Ю.Н., Молчанов А.И., Гапич Г.В. (2013). Исследование хранилищ отходов переработки радиоактивных руд методом естественного импульсного электромагнитного поля земли в Днепродзержинске. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*, 43, 129–136. Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/168412665.pdf>
9. Sectoral Checklist for preparation and inspection of a safety report. UNECE convention on the transboundary effects of industrial accidents & the EU Directive 96/82/EC (SEVESO II) by a consistent Checklist system (2007). Federal Ministry for the environment, Nature Conservation, and Nuclear Safety of Germany, Umweltbundesamt, UNECE Convention on Transboundary Effects of Industrial Accidents.
10. Nikolaieva I.O., Rudakov D.V. (2015). Development of a checklist for improvement of tailings safety. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu* 2, 97–103.
11. Napich, H. (2019). Assessing level of environmental and operational safety of low-pressure hydroengineering structures. *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, 4, 46–52. <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2019.4.46-52>
12. Winkelmann-Oei G., Rudakov D., Shmatkov G., Nikolaieva I. (2015). A method for evaluation of tailings hazard. *New Developments in Mining Engineering: Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining* / editors Bondarenko V., Kovalevska I., Pivnyak G. London: Taylor & Francis Group, pp. 33–38.

УДК 621.532.4

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.2-47.18>

## АНАЛІЗ НЕБЕЗПЕК ПІД ЧАС ЗБЕРІГАННЯ СКРАПЛЕНИХ ВУГЛЕВОДНЕВИХ ГАЗІВ

Чернова О.Т., Кривенко Г.М.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
вул. Карпатська, 15, 76019, м. Івано-Франківськ  
galyakrivenko73@gmail.com

Газонаповнювальні пункти призначені для приймання, зберігання, наповнення та відпуску скрапленого вуглеводневого газу споживачам. Технологічні операції, що проводяться на даному об'єкті, становлять підвищену виробничу та екологічну небезпеку. Аналіз аварій, пов'язаних з технологічним середовищем – скрапленим вуглеводневим газом, показує, що наслідки даних аварій, а саме: вибухи і пожежі, можуть набувати катастрофічних масштабів з травмуванням і загибеллю людей. Ймовірність їх виникнення в основному обумовлена помилками обслуговуючого персоналу, порушенням правил експлуатації і норм будівництва. Аварії, які відбуваються під час зберігання скрапленого вуглеводневого газу у наземних резервуарах, приносять великий матеріальний збиток унаслідок складності гасіння пожеж. Тому аналіз небезпек під час зберігання скрапленого вуглеводневого газу є особливо актуальним. Метою даної роботи є аналіз небезпек під час зберігання скрапленого вуглеводневого газу в наземних резервуарах на газонаповнювальних пунктах з урахуванням комплексного дослідження чинників, що впливають на них. Для досягнення поставленої мети були сформульовані наступні завдання досліджень: аналіз небезпек під час зберігання скрапленого вуглеводневого газу; кількісна оцінка показників вибухонебезпеки наземних резервуарів. Об'єктом дослідження є наземні резервуари у газонаповнювальних пунктах, призначені для зберігання скрапленого вуглеводневого газу. Проведено детальний аналіз небезпек під час зберігання скрапленого вуглеводневого газу. Однією з основних причин порушення герметичності резервуара є механічний або корозійний знос електрохімічної природи, а також помилки обслуговуючого персоналу. Наведено схему постадійного аналізу умов виникнення і розвитку аварії. Наведена кількісна оцінка показників вибухонебезпеки «вогняної кулі» резервуара. Визначена категорія вибухонебезпеки за значенням відносного енергетичного потенціалу та приведеної маси горючих газів. Результати наукових досліджень, викладені у цій статті, можуть використовуватися для аналізу питань безпечної експлуатації об'єктів, пов'язаних зі скрапленими вуглеводневими газами та забезпеченням охорони довкілля. *Ключові слова:* скраплений вуглеводневий газ, резервуар, енергетичний потенціал, небезпека, «вогняна куля».

### **Analysis of hazards during storage of liquefied hydrocarbon gases. Chernova O., Kryvenko G.**

Gas filling stations are designed to receive, store, fill and release liquefied hydrocarbon gas to consumers. The technological operations carried out at this facility pose an increased risk to both industrial and environmental safety, pose an increased industrial and environmental hazard. Analysis of accidents related to the technological environment – liquefied hydrocarbon gas shows that the consequences of these accidents, namely explosions and fires, can take on a catastrophic scale with injury and death of people. The probability of their occurrence is mainly caused by errors of service personnel, violation of operating rules and building regulations. Accidents that occur during the storage of liquefied hydrocarbon gas in aboveground tanks cause significant material losses due to the difficulty of extinguishing fires. Therefore, the analysis of hazards during the storage of liquefied hydrocarbon gas is particularly relevant. The purpose of this work is to analyze the hazards during the storage of liquefied hydrocarbon gas in aboveground tanks at gas filling stations, taking into account a comprehensive study of the factors affecting them. To achieve the goal, the following research tasks were formulated: analysis of hazards during storage of liquefied hydrocarbon gas; quantitative assessment of the explosion hazard indicators of ground tanks. The object of the research is aboveground tanks used for the storage of liquefied hydrocarbon gas at gas filling stations. A detailed analysis of hazards during the storage of liquefied hydrocarbon gas was carried out. One of the main reasons for tank leak tightness is mechanical or corrosive wear of an electrochemical nature, as well as service personnel errors. The scheme of step-by-step analysis of the conditions of occurrence and development of the accident is given. A quantitative assessment of the explosiveness of the tank's "fireball" is given. The explosion hazard category is determined based on the value of the relative energy potential and reduced mass of combustible gases. The results of scientific research presented in this article can be used to analyze the issues of safe operation of facilities related to liquefied hydrocarbon gases and environmental protection. *Key words:* liquefied hydrocarbon gas, tank, energy potential, danger, "fireball".

**Постановка проблеми.** Газонаповнювальні пункти (ГНП) призначені для приймання, зберігання, наповнення та відпуску скрапленого вуглеводневого газу (СВГ) споживачам. Технологічні операції, що проводяться на даному об'єкті, представляють пожежну небезпеку. Пожежі на складах СВГ звичайно розвиваються за такою схемою: витік газу у результаті аварії або несправності, запалення від зовнішніх джерел загоряння, електростатичних розрядів, іскор, горіння газу або вибух. Тому

газонаповнювальні пункти віднесені до об'єктів, що становлять підвищену виробничу та екологічну небезпеку [1].

**Актуальність дослідження та зв'язок авторського доробку з важливими науково-практичними завданнями.** Для гарантування безпеки газонаповнювальних пунктів необхідно оцінювати й аналізувати небезпеки, пов'язані зі специфікою їх роботи. Таким чином, аналіз аварій, пов'язаних з технологічним середовищем – скрапленим вугле-



водневим газом, показує, що наслідки даних аварій, а саме: вибухи і пожежі, можуть набувати катастрофічних масштабів з травмуванням і загибеллю людей. Ймовірність їх виникнення в основному обумовлена помилками обслуговуючого персоналу, порушенням правил експлуатації і норм будівництва. Аварії, які відбуваються під час зберігання СВГ у наземних резервуарах, приносять великий матеріальний збиток унаслідок складності гасіння пожеж. Тому аналіз небезпек під час зберігання СВГ є особливо актуальним. Прогнозування сценаріїв розвитку аварій, що спричиняють негативний вплив на довкілля, можливе за умови проведення детального аналізу та оцінки небезпек, які виникають в процесі експлуатації об'єкта. Це дасть змогу провести необхідні заходи з попередження виникнення аварійних ситуацій, при цьому не допустити або зменшити негативний вплив на довкілля. У цьому полягає практичне значення авторського доробку.

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

Аналіз літературних джерел показав, що проблемі гарантування техногенно-екологічної безпеки потенційно небезпечних об'єктів присвячені роботи В. Ф. Стоєцького, О. П. Михайлюка, Н. О. Ференц, Л. В. Дранишнікова та ін. [2, 3, 4]. Зокрема, в роботах Р. М. Говдяка, Є. І. Крижанівського, Г. В. Кошляк, Й. Й. Білинського, О. А. Гордієнко [5, 6, 7] висвітлено проблеми екологічної безпеки в паливно-енергетичному комплексі України. Аналіз небезпек під час аварії автоцистерни зі скрапленим вуглеводневим газом наведено в роботах [8, 9]. При аваріях на потенційно небезпечних об'єктах ударна хвиля є одним з чинників, що уражають [10, 11]. Але недостатньо оцінюються й аналізуються небезпеки, пов'язані зі специфікою технологічних операцій зі скрапленими вуглеводневими газами. З аналізу літературних джерел випливає, що техногенні чи антропогенні чинники можуть впливати на виникнення аварій, які супроводжуються загоранням СВГ, що призводить до негативних наслідків на довкілля. Адже небезпеки об'єкта дослідження зумовлені тим, що усередині обладнання і трубопроводів знаходиться СВГ у газоподібному та рідкому стані.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** З джерел, присвячених проблемам екологічної безпеки, можна зробити висновок про необхідність проведення досліджень щодо впливу чинників на виникнення аварійних ситуацій під час зберігання СВГ у наземних резервуарах, що призводять до негативного впливу на довкілля.

**Метою** даної роботи є аналіз небезпек під час зберігання скраплених вуглеводневих газів в наземних резервуарах на газонаповнювальних пунктах з урахуванням комплексного дослідження чинників, що впливають на них. Для досягнення поставленої мети були сформульовані наступні завдання досліджень: аналіз небезпек під час зберігання СВГ; кількісна

оцінка показників вибухонебезпеки наземних резервуарів. Об'єктом дослідження є наземні резервуари в газонаповнювальних пунктах, призначені для зберігання СВГ. Предмет дослідження – чинники, що впливають на виникнення аварійних ситуацій.

**Новизна та загальнонаукове значення.** Новизна полягає у комплексному дослідженні чинників, що впливають на процес зберігання СВГ у резервуарах. Аналіз небезпек під час зберігання скраплених вуглеводневих газів в комплексі з іншими дослідженнями дадуть змогу визначити потенційні загрози при вибухах та пожежах на об'єктах газонаповнювальних пунктів, що дасть можливість розробити заходи по запобіганню виникнення шкідливих впливів на довкілля.

**Викладення основного матеріалу.** Газонаповнювальний пункт призначений для приймання скрапленого вуглеводневого газу з автомобільних та залізничних цистерн, зберігання і відпуску СВГ. На вузлі приймання відбувається зливання СВГ з автомобільних та залізничних цистерн у стаціонарні підземні резервуари та в наземний резервуар. Вузол зберігання СВГ включає підземні ємності місткістю по 25 м<sup>3</sup> та 50 м<sup>3</sup>, а також наземну ємність місткістю 10 м<sup>3</sup>, трубопроводи та арматуру.

Під час проведення аналізу визначення небезпек, можливих аварій і їх наслідків потрібно урахувати такі чинники: хімічні і фізичні властивості скрапленого вуглеводневого газу; параметри процесу приймання, зберігання і видачі газоподібного вуглеводневого скрапленого палива; стану та особливостей устаткування об'єкта обстеження, умов його експлуатації; можливостей об'єкта обстеження з запобігання переходу аварійної ситуації в аварію та заходів з локалізації наслідків аварії.

Слід відмітити, що за атмосферного тиску вуглеводневі гази не проявляють токсичної дії на організм людини. Але, потрапляючи у повітря, вони зменшують вміст кисню у ньому. Тому людина відчуватиме кисневе голодування. У зв'язку з цим всі компоненти СВГ внесені в список шкідливих для людського організму речовин. Санітарними нормами встановлена гранично допустима їх концентрація у повітрі робочої зони виробничих приміщень, яка дорівнює 300 мг/м<sup>3</sup> (у перерахунку на вуглець). Отже, небезпеки СВГ обумовлені більше вибухопожежонебезпечними властивостями, ніж токсичними [12].

Проведемо детальний аналіз небезпек під час зберігання СВГ. Однією з основних причин порушення герметичності резервуара є механічний або корозійний знос електрохімічної природи, а також помилки обслуговуючого персоналу. Такі причини як вихід тиску за межі критичних значень, аварії на сусідніх блоках, природні чинники, що можуть призвести до порушення герметичності резервуара зі скрапленими газами, малоімовірні, але повністю їх виключати не бажано. Оскільки резервуарний парк для зберігання СВГ на ГНП підземного типу, то у випадку виник-

нення аварії з підземним резервуаром наслідки аварій не будуть значних масштабів. Якщо відбудеться вибух, то ударна хвиля буде гаситися шаром ґрунту. Отже, аварія носитиме локальний характер і призведе лише до руйнування резервуара.

Блок зберігання СВГ також складається з наземного резервуара об'ємом 10 м<sup>3</sup>, який з'єднаний трубопроводами з насосом, зливною і роздавальною колонками. На резервуарі встановлено по два запобіжні клапани, рівнеміри та манометри тиску. Робочий тиск у резервуарі складає 1,6 МПа. Паливо зберігається за температури навколишнього середовища. Скраплені вуглеводневі гази є насиченими (киплячими) рідинами, тому, за наявності вільної поверхні рідкої фази, завжди виникає двофазна система (рідина-пара), причому тиск пари змінюється залежно від температури рідкої фази і може бути значним за підвищення температури зовнішнього середовища. У разі порушення герметичності трубопроводу на всмоктувальній лінії насоса, маса викиду газу через низький надлишковий тиск буде незначною і не нестиме особливої небезпеки. Розглядаючи причини порушення герметичності трубопроводу із СВГ, слід зазначити, що у процесі його експлуатації не створюється такий тиск, який може призвести до порушення герметичності. Тому, слід вважати порушення герметичності фланцевих з'єднань і сальникових ущільнень замкової арматури найбільш ймовірним порушенням герметичності трубопроводу внаслідок виходу технологічних параметрів за межі критичних значень. Порушення герметичності трубопроводу внаслідок корозійного зносу можливе у результаті дії на трубопровід ззовні атмосферних чинників. Спрогнозувати неможливо, де на ділянці трубопроводу порушена герметичність та її масштаби.

Для прогнозування виникнення і розвитку аварії наведемо схему постадійного аналізу. Схема постадійного аналізу умов виникнення і розвитку аварії наведена на рис. 1. Розглянемо стадії розвитку аварійної ситуації, основні принципи аналізу умов виникнення аварійної ситуації (аварії) та її наслідки, способи та засоби попередження і локалізації аварії при зберіганні СВГ у наземному резервуарі.

Наприклад, у випадку порушення герметичності фланцевих з'єднань, сальникових ущільнень запірної арматури потрібно перевірити, чи відповідає проекту оснащення резервуара запірною армату-

рою, запобіжними клапанами і засобами контролю. Для попередження, локалізації аварії потрібно проведення оглядів і випробувань трубопроводів, з використанням необхідних методів контролю. Ремонт і ревізії арматури. Дотримання графіка планово-переджувальних робіт (ППР).

**Якщо допущені помилки** ремонтного й обслуговуючого персоналу, то перевіряється, чи достатня підготовленість обслуговуючого персоналу і забезпечення експлуатаційно-технічною документацією. До помилок персоналу слід віднести порушення під час ремонту і ревізії запірної арматури при ущільненні фланцевих з'єднань.

Корозійний знос або втома матеріалу може пришвидшуватися у разі несправності системи захисту від слабких струмів. Втома матеріалу і ступінь корозії контролюється періодичними оглядами. Автоматичний контроль справності заземлення резервуара не передбачений. Необхідне дотримання графіка ППР обладнання. Контроль справності заземлення здійснюється спеціальними службами згідно з графіком.

У разі дії зовнішніх небезпечних чинників можливі транспортні аварії, пошкодження трубопроводів під час проведення ремонтних робіт. Потрібно звернути увагу на установку необхідних дорожніх знаків, проконтролювати за опорними конструкціями під трубопроводами. З метою попередження порушення герметичності трубопроводу проводяться його періодичні огляди і випробування з використанням необхідних методів.

Під час викиду продукту з резервуара визначаються розміри аварії за кількістю викиду продукту. Визначаються фізико-хімічні, вибухонебезпечні та токсичні властивості продукту. Проводиться блокування аварійного резервуара, закриття запірної арматури.

Утворення вибухонебезпечної концентрації скраплених газів можливе при вмісті їх у повітрі від 1,5 до 9,5%. Локалізувати утворену вибухонебезпечну хмару технічно неможливо. Необхідна негайна оцінка аварійної ситуації.

Вибух і пожежа можуть відбутися у разі порушення персоналом правил пожежної безпеки й реалізації небезпек зовнішніх чинників. Вибух супроводжується короткочасним різким звуком з низькою частотою і високим рівнем звукового тиску. Сила вибуху і його руйнівна дія залежать від маси СВГ

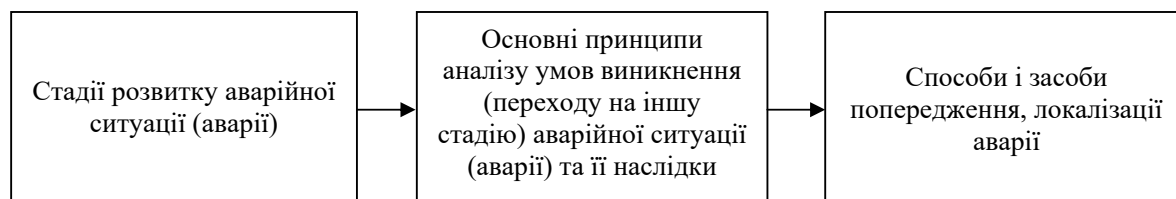


Рис. 1. Схема постадійного аналізу умов виникнення і розвитку аварії

у вибухонебезпечній хмарі. Після вибуху, як правило, виникає пожежа. **Можлива ініціація аварій на інших блоках ГНП з переходом аварії на рівень «В».** Необхідне негайне оповіщення персоналу і керівництва ГНП про пожежу. Виклик підрозділів аварійно-рятувальної служби і швидкої допомоги. Провести ретельний огляд території ГНП з метою виявлення потерпілих до прибуття протипожежної служби та приступити до гасіння пожежі за допомогою первинних засобів. Негайно повідомити комісії з питань техногенно-екологічної безпеки та надзвичайних ситуацій.

Аналіз впливу чинників на виникнення вибухів та пожеж під час зберігання скраплених вуглеводневих газів показав, що потрібно, окрім якісних показників вибухонебезпеки, враховувати і кількісні, а саме: енергетичний та відносний енергетичний потенціал вибухонебезпеки, загальну зведену масу горючої пари та тротиловий еквівалент [13].

Ефективний енергозапас паливо-повітряної суміші визначається за такими залежностями:

$$E = m_2 \cdot q_2 \quad \text{при } c_2 \leq c_{cm}, \quad (1)$$

$$E = m_2 \cdot q_2 \cdot c_{cm} / c_2 \quad \text{при } c_2 > c_{cm}, \quad (2)$$

де  $m_2$  – маса речовини, що горить у хмарі, кг;  $q_2$  – питома теплота згоряння палива, кДж/кг;  $c_{cm}$  – стехіометрична концентрація речовини у суміші з повітрям, кг/м<sup>3</sup>;  $c_2$  – концентрація газу, що горить у хмарі, кг/м<sup>3</sup>.

Загальна маса горючих парів (газів) вибухонебезпечної парогазової хмари ( $m_2$ ), зведена до єдиної питомої енергії згоряння, яка дорівнює 46000 кДж/кг:

$$m_2 = \frac{E}{4,6 \cdot 10^4}. \quad (3)$$

Відносний енергетичний потенціал вибухонебезпеки

$$Q_e = \frac{1}{16,534} \cdot \sqrt[3]{E}. \quad (4)$$

За значеннями відносних енергетичних потенціалів ( $Q_e$ ) і зведеної маси парогазового середовища ( $m_2$ ) здійснюється класифікація технологічних блоків.

Тротиловий еквівалент являє собою таку масу тротилу, при вибуху якої виділяється стільки ж енергії, скільки її виділиться при вибуху заданої кількості конкретного пального або вибухової речовини. Тротиловий еквівалент:

$$V = \frac{0,4 \cdot m_2 \cdot q_e}{0,9 \cdot 4,5 \cdot 10^6}. \quad (5)$$

Розрахунок інтенсивності теплового випромінювання «вогняної кулі»  $q$ , кВт/м<sup>2</sup>, проводять за методикою, наведеною у [13].

Визначимо кількісні оцінки показників вибухонебезпеки (вибух пароповітряної суміші) резервуара із СВГ за наступних даних: максимальний геометричний об'єм 10 м<sup>3</sup> СВГ; кг/м<sup>3</sup>; ступінь заповнення цистерни складає 85%; температура навколишнього

повітря 20°C; теплота згоряння СВГ 46400 кДж/кг, концентрація пароповітряної суміші під час вибуху – 9,5%, густина теплового випромінювання полум'я  $E_f = 450$  кВт/м<sup>2</sup>.

За результатами розрахунків за методикою, наведеною в [13], визначена кількісна оцінка показників вибухонебезпеки парогазової хмари при викиді СВГ з резервуара загальним об'ємом 10 м<sup>3</sup>.

Енергетичний потенціал вибухонебезпеки  $E = 1,777 \cdot 10^8$  кДж. Відносний енергетичний потенціал вибухонебезпеки  $Q_B = 34,0$ . Загальна зведена маса горючої пари  $m_2 = 3839$  кг. Тротиловий еквівалент вибуху  $W_T = 1762$  кг.

Результати розрахунків розмірів зон руйнування наведено на рис. 2, а показників вибухонебезпеки «вогняної кулі» резервуара – у табл. 1.

При аварії кількість потерпілих прийнята по кількості людей, які можуть знаходитися у зоні аварії, ймовірна кількість потерпілих від аварії, складає приблизно 50 чоловік. Під час аналізу достатності протиаварійних заходів резервуара для зберігання СВГ, виявлено, що справне заземлення з електричним опором не більшим ніж 10,0 Ом, запобігає електростатичному розряду під час зливу СВГ з автоцистерни в резервуар. Оскільки автоматичний контроль справності заземлення не передбачений, то ймовірність виникнення електростатичного розряду є високою. Це відноситься й до справності заземлення блискавкоприймачів. Дотримання правил безпечної експлуатації обладнання і проведення вогневих робіт залежить від рівня професійної підготовки і технологічної дисципліни обслуговуючого персоналу.

За значенням відносного енергетичного потенціалу та зведеної маси горючих газів визначена категорія вибухонебезпеки при аварії резервуара, заповненого скрапленим вуглеводневим газом. Вибух пароповітряної суміші у результаті руйнування резервуара належить до 1 класу вибухонебезпеки.

З аналізу результатів розрахунків, наведених у табл. 1, впливає що інтенсивність теплового випромінювання безпечна для людини на відстані  $r = 335$  м від геометричного центра «вогняної кулі».

**Головні висновки.** Проведено комплексний аналіз небезпек під час зберігання скраплених вуглеводневих газів. Основною небезпекою аварії з резервуаром є вибух і пожежа, які можуть відбутися у разі порушення персоналом правил пожежної безпеки й реалізації небезпек зовнішніх чинників. Наведена кількісна оцінка показників вибухонебезпеки «вогняної кулі» резервуара. Визначена категорія вибухонебезпеки за значенням відносного енергетичного потенціалу та приведеної маси горючих газів.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Результати наукових досліджень, викладені у цій статті, можуть використовуватися для аналізу питань безпечної експлуатації об'єктів, пов'язаних

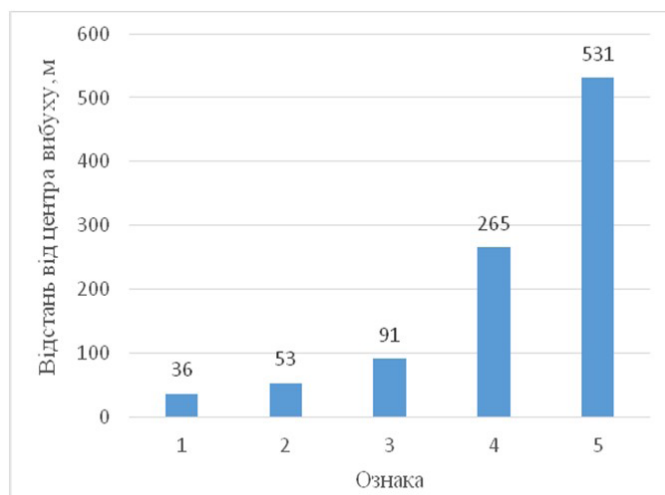


Рис. 2. Розміри зон руйнування

1 – радіус зони повного руйнування будівель і смертельної небезпеки для людей, на межі якої надлишковий тиск по фронту ударної хвилі  $\Delta P \geq 100$  кПа; 2 – радіус зони сильних руйнувань будівельних конструкцій, обвалення цегляних стін і смертельної небезпеки для людей,  $\Delta P = 70$  кПа; 3 – радіус зони слабких руйнувань будівельних конструкцій, для відновлення яких потрібне їх часткове розбирання і смертельної небезпеки для людей на відкритій місцевості,  $\Delta P = 28$  кПа; 4 – радіус зони слабких руйнувань (руйнування віконних отворів, покриттів, які легко розкидаються) і важкого травмування людей на відкритій місцевості,  $\Delta P = 14$  кПа; 5 – радіус зони часткового руйнування скління, нижній поріг ураження людей

Таблиця 1

Кількісна оцінка показників вибухонебезпеки «вогняної кулі» резервуара

Висота центра «вогняної кулі» $H$ , м	Ефективний діаметр «вогняної кулі» $D_3$ , м	Інтенсивність теплового випромінювання $q$ , кВт/м <sup>2</sup>	Відстань від геометричного центра «вогняної кулі» до об'єкта $r$ , м	Примітки
18	36,15	4	254	Безпечно для об'єктів
		1,5	335	Безпечно для людини

зі скрапленими вуглеводневими газами та забезпеченням охорони довкілля. Подальші дослідження передбачають комплексну оцінку небезпек об'єктів у нафтогазовій галузі.

## Література

1. Про об'єкти підвищеної небезпеки: Закон України від 18.01.2001р. № 2245-III Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2245-14#Text> (дата звернення: 09.03.2023).
2. Стоєцький В. Ф., Дранишников Л. В. Прогнозування наслідків аварій на потенційно небезпечних виробничих об'єктах. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2013. № 43. С. 114–122.
3. Ференц Н. О., Павлюк Ю. Е. Пожежна профілактика технологічних процесів. Львів: ЛДУ БЖД, 2019. 332 с.
4. Михайлюк О. П., Олійник В. В., Кріса І. Я., Білим П. А., Тесленко О. О. Пожежна безпека об'єктів підвищеної небезпеки. Харків: УЦЗУ, 2010. 343 с.
5. Енергоекологічна безпека нафтогазових об'єктів / Р. М. Говдяк та ін. Івано-Франківськ: «Лілея НВ», 2007. 556 с.
6. Крижанівський Є. І., Кошляк Г. В. Екологічні проблеми енергетики. *Нафтогазова енергетика*. 2016. № 1 (25). С. 80–90.
7. Білинський Й. Й., Гордієнко О. А., Тітов Т. С., Сахно О. М. Скраплений газ в енергетичному комплексі України. *Вісник ВП*. 2018. № 4. С. 54–60.
8. Kryvenko G. M. Forecasting of Danger during a Tank Rupture. *Перспективні напрями наукових досліджень, LV Міжнародна науково-практична інтернет-конференція*. м. Львів, 24 листопада 2020 року. Ч. 2. Львів. 2020. С. 72–75.
9. Чернова О. Т., Кривенко Г. М. Аналіз небезпек під час розриву автоцистерни. *Розвиток транспорту*. 2021. 4(11). С. 129–136.
10. Тарнавський А. Б. Оцінка уражаючих факторів при вибуху кисневого балона. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2014. № 9. С. 174–179.
11. Михайлюк О. П. Проблеми забезпечення пожежовибухонебезпеки автозаправних станцій. *Сборник научных трудов НУЦЗУ Проблемы пожарной безопасности*. Вып. 32. 2012. С. 149–154.
12. Семчук Я. М., Савчук Л. Я. Захист атмосферного повітря від забруднень. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2019. 198 с.
13. Чернова О. Т., Кривенко Г. М. Аналіз небезпек на газонаповнювальних пунктах. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. 2020. Вип. 4 (31). С. 120–124.

---

# ЕКОЛОГІЯ ТА ЕКОНОМІКА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

---

UDC 574.45:504.53.062.4:332.368

DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.2-47.19

## EXPERIENCE IN USING STRATEGIC ANALYSIS TOOLS IN DETERMINING THE EFFICIENCY OF AGRICULTURAL LAND USE

Saranenko I.I.

Kherson State University  
Shevchenko str., 14, 76018, Ivano-Frankivsk  
i.i.saranenko@ukr.net

The efficiency of the use of agricultural land is understood as the economic result, which is characterized by the ratio of the obtained effect in natural and cost indicators and the area, taking into account the quality and remoteness of the land plot. There are 7 main types of soil in the territory of the Kherson region, including black soil and chestnut soil. In order to carry out state control over changes in indicators of the qualitative state of soils, agricultural enterprises timely implemented measures for their preservation, reproduction and increase in fertility. However, the maximum yields were not reached.

The following work offers the method of analysis of efficiency of agricultural land utilization by example of Fedorivska Village Area of Kahovskiy Region of Kherson Oblast, in order to determine the cause of over-plowing, fertility decrease, soil pollution and decline in crop capacity. The application of such instruments of strategical analysis as SWOT – & GAP – analysis showed, that the disadvantages of efficient land utilization were: outdated agricultural machinery, over- or undersupply of fertilizers, soil pollution and use of monocultures. Other threats include: short-term lease, decline in size of land plots, natural factor influence, and soil degradation. Assessment on 9-point scale established strategical difference between real and desired result as satisfactory – 7 points. Criteria of efficient land utilization are established: natural and anthropogenic factors, quality score, land plot area, soil quality balance, lease duration, meeting the demands of environmental legislation. Expediency of strategical analysis instruments application in determination of factors, that influence the efficiency of land utilization, is proven. *Key words:* ecological research, SWOT – & GAP – analysis, soil quality balance, trial plot, criteria.

### Досвід застосування інструментів стратегічного аналізу у визначенні ефективності використання сільськогосподарських земель. Сараненко І.І.

Під ефективністю використання сільськогосподарських земель розуміють економічний результат, що характеризується відношенням отриманого ефекту у натуральних та вартісних показниках і площі з урахуванням якості та віддаленості земельної ділянки. На території Херсонської області налічується 7 основних типів ґрунтів, у тому числі чорноземи і каштанові. З метою здійснення державного контролю за зміною показників якісного стану ґрунтів аграрні підприємства своєчасно проводили заходи щодо їх збереження, відтворення і підвищення родючості. Проте, максимальних врожаїв не досягали.

У даній роботі запропонований метод аналізу ефективності використання сільськогосподарських земель на прикладі Федорівської сільської ради Каховського району Херсонської області з метою виявлення причин високої розораності, зниження родючості, забруднення ґрунтів, зниження врожайності культур. Застосування таких інструментів стратегічного аналізу, як SWOT – & GAP – analysis, показало, що слабкими сторонами ефективного використання земель є: застаріла аграрна техніка та апаратура, надмірне або недостатнє надходження добрив; забруднення та засмічення ґрунтів, використання монокультур. Загрози створюють укладання короткострокових договорів оренди; подрібнення земельних ділянок; вплив природних чинників; деградація ґрунтів. Оцінювання за дев'ятибальною шкалою встановило стратегічне розходження між реальним і бажаним результатом як задовільне – 7 балів. Визначені критерії ефективності використання земель: природні та антропогенні чинники; бал бонітету; площа земельної ділянки; баланс властивостей ґрунтів; термін дії договору оренди; виконання вимог екологічного законодавства. Доведена доцільність застосування інструментів стратегічного аналізу у визначенні чинників, що впливають на ефективність використання земель. *Ключові слова:* екологічні дослідження, SWOT – & GAP – analysis, баланс властивостей ґрунтів, пробна ділянка, критерії.

**Problem statement.** In the time of existence of Fedorivska Village Area of Kherson Oblast, the percentage of ruined lands was constantly growing. The use of massive agricultural machinery, outdated equipment, excessive application of fertilizers led to the fact that the quality of the soil was constantly decreasing. Solving the problems of soil conservation and amendment is impos-

sible without objective evaluation of soil ecological condition.

**Relevance of research.** Land users also have a huge influence on soils. Taking into consideration the new format of management, emergence of local communities and agricultural land market functioning, new methods of assessing the efficiency of land utilization have to be

found. Europe uses a number of instruments that are widely used in economics, management and marketing. One of them is SWOT – & GAP – analysis. Its active use started since the beginning of the millennia.

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

Researches conducted by Christopher J.V. McClure, Laury K. Estep and Jeffry E. Hill determined the efficiency using GAP analysis in urban and rural landscape in central-eastern Alabama (2012). They tested the ability of the method to prognose the inhabitation of areas by birds. Overall, GAP was the most accurate for the selected species [1]. In 2015 Kao Kana, Wanda Qin, Wan Hun Yan and Dai Lin determined, that overuse of fertilizers and pesticides leads to soil pollution and decrease in wild animal population, and cannot sustain land utilization. To help the development of agriculture on Jianshan farm with the use of SWOT analysis, its strength, weaknesses, opportunities and threats were determined [2]. In 2017 Zeynel Abidin Polat, Mekhmet Alkan Hikret, Gursoy Surmeneli determined legal, institutional and technical status of the existing land management system in Turkey with the SWOT matrix [3]. In 2020 Hanane Agasafari, Alireza Karbasi, Hossein Mohammadi, Roberto Calisti researched Iranian province Khorasan Razavi, where the quality of lands had declined. Using the analysis of strength, weakness, opportunities and threats, 28 factors that influence organical farming were discovered, and strategies of improving land fund were developed [4]. Iren Vukkali Atonis and A. Zorpas proved, that the correlation between urbanization tendencies and pressure on environment was caused by growing demand of resource consumption, waste generation, greenhouse gas emission, massive shortage of natural resources, life quality improvement and climate change, which point to necessity of emphasizing attention and considering the correlation between cities and environment a dynamic concept. The assessment of offered methods was done using the SWOT-analysis. The results show, that there is a need in renewal and application of method that will include a number of new key factors of efficiency [5]. Among Ukrainian scientists, weighty contribution in application of SWOT – & GAP – analysis in ecology was done by professor L.H. Rudenko, academician of National Academy of Sciences of Ukraine [6].

**Novelty.** The SWOT-analysis is widely used across local communities, including Kherson Oblast [7].

Vast over-plowing and low amounts of harvest demand new methodical approach and modern analytical matrix to discover their cause [8]. The goal of this paper is to determine new markers of land utilization efficiency on the example of Fedorivska Village Area, Kahovskiy Region, Kherson Oblast.

#### **Methodological or general scientific value.**

Selection of soil samples, their preparation for analysis [9], identification of Ph levels [10], mobile phosphorus and potassium compounds [11], salinity [12] were done in accordance with state standards. SWOT – & GAP – analysis is the baseline of strategical

analysis [13]. SWOT – analysis consists in dividing influencing factors into four categories: Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats. GAP-analysis studies strategical differences between real and desired results using 9-point scale assessment: 1 – exceptionally high quality, 2 – high quality, 3 – excellent, 4 – very good, 5 – good, 6 – relatively good, 7 – satisfactory, 8 – low quality, 9 – very low quality. Gathered SWOT and GAP-analysis data is generalized and recommendations are given [6].

Object of study is land resources of Fedorivska Village Area, Kahovskiy Region, Kherson Oblast.

Subject of study is application of SWOT – & GAP – analysis for determination of land resource utilization efficiency in Fedorivska Village Area, Kahovskiy Region, Kherson Oblast.

**Presenting main material.** The lands of Kherson Oblast consists mainly of 7 types of soils: southern black soil – 46,1%; dark chestnut soil – 31,7%; residual saline black soil – 7,3%; sod-sandy soil – 6%; chestnut soil – 5,3%; common black soil – 0,8%; solonetz soil – 0,8%. In Kahovskiy Region common are: low humus southern black soil – 3,7%; dark chestnut residual saline soil – 2,3%; and alkali soils of hearths and depressions – 2,1% (meadow-chernozem gleyed saline-alkali soils and saline-alkali and sod gley saline-alkali soils) [14].

The lands of Fedorivska Village Area are located in the southern part of Kahovskiy Region, where low humus southern black soil predominates – 1,8%. The relief is hilly, in north-eastern part – partly flat. Soil cover in the area is various. It is mainly land stock and lands of Fedorivka, Slynenko, Sokyryky villages and other land users that are granted with land plots for functional utilization. To reach the best conditions for constant growth of yield capacity and systematic growth of soil fertility farmyards, buildings, road network, size and configuration of fields, optimal homestead ratio are created in accordance with specialization; soil protection systems and crop rotation are being introduced, fertilizers are being used, soil cultivation is being minimized and positive soil balance is being maintained. For each homestead there is an assigned land plot with most suitable natural qualities for each crop rotation.

Regarding the score of quality arable land with estimated 54–58 points is allocated for field grain-row crop rotation, with lower (42–50) points for grain-grass soil protective crop rotation. Branches of TOV “Ahroprodukt” and TOV “TD-YUG” operated in the district, which were engaged in the cultivation of grain and technical crops, renting land from farmers. In order to implement state control over changes in soil quality indicators, agricultural enterprises took measures to preserve, reproduce and increase fertility in a timely manner. However, the maximum yield was not reached. One of the reasons being fires during summer that cause a big amount of humus to burn out.

Landowners who did not lease land were unable to take measures to preserve soil fertility. Therefore, the

number of lands deprived of measures to preserve soil fertility increased every year.

To accomplish set goals in Fedorivka, Slynenska and Sokyry villages there are land plots for observation and soil profiles (2017–2021 yy.): PT № 1 – where winter rape grows, PT № 2 – for winter wheat, PT № 3 – for sunflower. For comparison purposes a privatized plot PT № 4 was chosen that has been without any agricultural cultivation for 5 years.

As the result of conducted observation the following results are gathered (tab. 1).

In the period of land utilization on low humus southern black soil the following general trends are observed:

1. In the soils of agricultural lands:

- decrease in humus levels and contents;
- decrease in mobile phosphorus ( $P_2O_3$ ) and potassium ( $K_2O$ ) compounds;
- leaching of soils;
- accumulation of iron, copper and manganese.

In the soils of landowners:

- decrease of quality markers;
- leaching of soils;
- salinization;
- decrease in mobile phosphorus ( $P_2O_3$ ) and potassium ( $K_2O$ ) compounds;
- decrease in iron, copper and manganese concentration.

In the period of land utilization agricultural homesteads contributed to the improvement of soil quality by growing green crops; leaving nutrient residues and non-marketable parts of harvest with their

subsequent mulching; using biological plant protection products; stabilizing the structure of crop rotation with compulsory introduction of legumes and perennial grasses; introduction of contour ameliorative territory organization that provides ecological stability for agricultural landscapes (lowering intensity of erosion processes); development of minimum tillage systems; using new systems of fertilization that are based on activating soil microflora with the help of modern biofertilizers (Riverm, Humisol, Agrozyn etc.), biomodulators of growth, soil conditioners, soil absorbents, fungi and bacteria strains (EM-technologies) etc. that contributes to the growth in harvest capacity [15, 16] by 20–30%, causes a reduction in the deficit of organic matter and allows to stimulate the processes of humus accumulation in soil. It is worth noting that iron, copper and manganese are most accessible in low acidic and neutral environment; rapeseed, wheat and sunflower produce the best harvest at pH 6,0–6,7, therefore, ability to leach soils should be taken into consideration when using fertilizers, especially ones that include sulfur.

Despite researches determining the quality of soils being conducted, the reason of low utilization efficiency is still not found. For closer inspection of the situation we use SWOT – & GAP – analysis (tab. 2, 3) as projects for improving the functioning of eco systems or their separate elements and their management with detailed analysis of current situation with determining of issues, goals, and strategies of ecosystem development management, taking into consideration interests of different sides who often see it differently. Determining weaknesses and threats is the most important part of

Table 1

Analysis of low humus southern black soil efficiency utilization (2017–2021 yy.)

Land utilization markers	TOV “Agroprodukt”	TOV “TD-YUG”		Private landowner
Overall land utilization area, ha	6,916	925,1		2,5
Area of test site, ha	PT № 1	PT № 2	PT № 3	PT № 4
	2,5	2,5	2,5	2,5
Quality point	77,3	77,1	77,1	75,0
Purpose	Arable land	Arable land	Arable land	Hayfield
Duration of lease (usage), yy	5	5	5	5
Dynamic of soil quality markers in arable layer, $\Delta = \pm 0,05\%$ : thickness of the humus layer, cm	-1,0	-1,3	-1,0	-2,5
Humus content,%	-0,5	-0,7	-0,51	-0,23
Mobile phosphorus compound content ( $P_2O_3$ ),%	-1,73	-0,74	-1,04	2,1
Mobile potassium compound content ( $K_2O$ ),%	-1,26	-0,49	-0,84	1,9
pH	+1,5	+1,3	+1,3	+0,8
Salinity,%	+0,1	+1,1	+1,2	+2,0
Sodification,%	+0,14	+1,4	+0,89	+2,7
$Fe^{2+}$ ,%	+4,0	+10,0	+0,5	-0,3
$Cu^{2+}$ ,%	+8,0	+5,0	+0,7	-0,5
$Mn^{3+}$ ,%	+5,4	+3,4	+0,45	-0,33

Table 2

**SWOT – analysis of soil ecological condition**

<b>Strengths</b>	<b>Weaknesses</b>
1. Advantageous physical and geographical location. 2. Well-developed road network. 3. Powerful agro-industrial complex. 4. Favorable soil quality.	1. Outdated agricultural machinery and appliances. 2. Over- or undersupply of fertilizers. 3. Soil pollution. 4. Use of monocultures.
<b>Opportunities</b>	<b>Threats</b>
1. Competitiveness of agricultural complex. 2. Functioning of the market of agricultural lands. 3. Decentralization and support of farmers. 4. Organic production.	1. Concluding short-term leases. 2. Shredding of land plots. 3. Influence of natural factors. 4. Soil degradation.

Table 3

**GAP – analysis of adhering to Article 35. LoU “On Land Preservation”**

<b>Law of Ukraine “On Land Preservation” Version from 19.11.2022 Chapter VI Article 35.</b>	<b>Adhering</b>	<b>Gaps</b>	<b>Point assessment</b>	<b>Recommendations</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
antierosion	Violation of the optimal ratio of crops in crop rotations – monocultures	– tenants are not responsible for the quality of the soil upon completion of land use; – mostly extensive crops are grown on the leased area; – a significant part of the area is re-allocated for rapeseed, sunflower and winter wheat crops without proper observance of crop rotation time; – forced re-seeding of a significant part of the area of dead crops with sunflower due to adverse weather conditions.	7	– strict control over the observance of optimal crop rotation; – increasing the area of irrigated land in extreme climates; – establishment of certain volumes of state planned orders with fixed purchase prices; – introduction of zonal allowances for certain types of agricultural products; – expansion of animal husbandry.
agrotechnical	Deep loosening of the soil with heavy implements and burning of stubble.	– reduction of total and capillary porosity of the fertile layer; – reduction the level of viability of the microflora; – soil shredding; – soil over-compaction; – decrease of humus content.	8	– loosening the soil should be carried out in the presence of 80% stubble on the surface; – use of flat cutters, deep rippers to a depth of 30 cm; – perform shallow flat-cutting loosening with flat-cutter cultivators; – combine flat-cutting tillage with splitting and harrowing.
agrochemical	Modern state of lands. Land fragmentation.	– the number of landowners and land users has increased significantly; – loss of scientifically sound land use system, reduction of soil fertility; – low interest in agrochemical survey of lands.	7	– creation of a working group, intensification of work to check the presence of agrochemical passports of fields, land plots for landowners and land users; – resolving the issue of conducting agrochemical inspection of soils before concluding lease agreements and after their expiration.



Continuation of the table 3

1	2	3	4	5
	Insufficient and unbalanced application of mineral fertilizers	<ul style="list-style-type: none"> <li>– unstable pricing policy;</li> <li>– export orientation of chemical enterprises-producers, seasonality of consumption and demand of this product, complex logistics of fertilizer supply;</li> <li>– domestic fertilizers have a higher price position compared to similar resources of imported production, which reduces their competitiveness.</li> </ul>	6	<ul style="list-style-type: none"> <li>– development of programs for long-term provision of the agro-industrial complex with available mineral fertilizers of domestic production, by creating legal, financial and organizational conditions for fertilizer producers and agricultural producers;</li> <li>– reduce the cost of mineral fertilizers; increase their use;</li> <li>– reduction of nutrient deficiency;</li> <li>– restoration of natural soil fertility;</li> <li>– use of fertilizers based on plant and soil diagnostics.</li> </ul>
	Significant shortage and unbalanced application of organic fertilizers.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– the actual application of mineral and organic fertilizers is not balanced and does not meet the optimal parameters, which are natural processes of soil self-renewal, which leads to increased chemical processes, which lead to increased dehumidification of the soil;</li> <li>– the practical lack of organic fertilizers is due to the rapid decline in cattle and pigs, due to a number of socio-economic realities of the last 10–15 years.</li> </ul>	6	<ul style="list-style-type: none"> <li>– optimization of the structure of crop rotations, which by increasing the overall productivity of crops, will increase the yield of non-marketable part of the crop and crop and root residues;</li> <li>– introduction of elements of biologization of agriculture, which provides a fundamentally new attitude to the methods of tillage and application of agrochemicals on the basis of modern scientific developments:               <ol style="list-style-type: none"> <li>1) cultivation of green manure crops;</li> <li>2) leaving crop residues and non-marketable part of the crop in the field with their subsequent mulching;</li> <li>3) use of biological plant protection products;</li> <li>4) stabilization of the structure of crop rotations, with the mandatory introduction of legumes and perennial grasses;</li> <li>5) introduction of contour-ameliorative organization of the territory, which ensures ecological stability of agro-landscapes;</li> <li>6) development of minimum tillage systems;</li> <li>7) use of fundamentally new fertilizer systems based on the activation of soil microflora through the use of the latest biofertilizers.</li> </ol> </li> </ul>

Continuation of the table 3

1	2	3	4	5
ameliorative	Insufficient volumes of chemical reclamation of saline soils.	– with an annual demand of 100 thousand hectares, in fact, plastering for the last five years was carried out on an area of 1.3-3.1 thousand hectares or 1.3-3.1% of demand. – reduction of reclaimed areas due to lack of funds for producers.	8	– introduction of targeted state programs of subsidies and support for agricultural producers to stimulate the productivity of saline soils.

analysis, because they are the baseline for taking further measures and forming problem field of situation as a the set of uncertainties in the system, their correlation with each other and inner and outer environment factors. The point of the procedure covers determining limits, analysis object, issues, researching causal relationships with the help of scheme that illustrates main problems and their influence in its upper half and their cause in the lower half. GAP-analysis is a simple yet effective method of strategical analysis. Its main goal is to find a gap between goal and possibilities – a strategical gap that is caused by present tendencies and desired marks in long-term perspective [13].

Water erosion deals considerable damage to agriculture in area of homestead placement [15, 17]. The processes of soil washing away and erosion are present throughout the whole area of land utilization. According to the materials of soil inspection 206,4 ha. out of 916,2 ha. (22,5%) of agricultural homesteads suffer from erosion. 206,4 ha. of them are slightly eroded soils. To increase the productivity of lands and to successfully fight water erosion, implementing an organizational agricultural complex of measures is anticipated.

To establish strategical gaps in effective land utilization, strengthen the weak spots and minimize threats let`s analyze abidance to the law of Ukraine of “On Land Preservation”, make a 9-point assessment, offer recommendations (Tab. 4). As a result of GAP analysis it is deduced that land users do not adhere to the requirements of Article 35. Of Law of Ukraine “On Land Preservation” or adhere partially. In case land users do not meet the requirements of the law, Article 55 about administrative offenses of Code of Ukraine states that these people bear administrative responsibility in the form of fine: for citizens – from 50 to 100 non-taxable minimum incomes, for the officials – from 300 to 500 non-taxable minimum incomes. Assessment in accordance with 9-point scale shows that strategical difference between real and desired result is satisfactory – 7 points. Meaning land users due to various reasons create problem field with low index of antierosion, agrotechnical, agrochemical, ameliorative measures, which leads to ineffective land utilization and worsens the properties of land.

In this paper, plot models with optimal soil indicators for each land user are developed. Let`s use polynomial trend line [18] and make a prognosis of quality balance.

Size of coefficient The value of the reliability factor is close to one on each model. The reference area has 93.5% efficiency and is proposed as a result that must be achieved for maximum efficiency.

On the example of SWOT – & GAP – analysis of land use of Fedorivska Village Area of Kakhovskyi Region of Kherson Oblast it is shown that in today`s conditions it is not enough to conduct research and statistically process data. New tools need to be used to analyze and deeply understand trends in soil degradation. The main polluters are land users who, due to non-compliance with legal requirements, careless treatment of fertile lands, excessive or insufficient application of fertilizers, contaminate and deplete soils and use them inefficiently. The proposed method of using the tools of strategic analysis, management and marketing in identifying deep problems of land use has proved its worth. The following criteria for land use efficiency are proposed for land users of the village area:

1) natural and anthropogenic factors. Fires, natural disasters and climatic conditions affect erosion and degradation processes and soil quality and require additional measures;

2) quality score, as an indicator of soil quality, determines the functional use of land and crops;

3) area of the land plot. This criterion necessitates the avoidance of land fragmentation, as this leads to a deterioration in its quality;

4) balance of soil properties. When using land, it is necessary to timely determine quality indicators and take into account their ratios to create a favorable soil environment. For example, micronutrients are most available to plants in slightly acidic and neutral environments;

5) the term of the lease agreement. For the landlord, the risk of providing land for long-term lease is lower, because short-term contracts do not ensure the responsibility of users for the quality of land, resulting in its value is reduced;

6) compliance with environmental legislation. Most land users do not comply with the requirements of the Law of Ukraine “On Land Preservation” or partially

comply with them, as a result of which the measures taken are ineffective.

Analytical tools have been applied to these criteria of land use efficiency:

1) environmental research is the basis for analysis and information source for assessing the criteria: natural and anthropogenic factors, quality rating, land area, balance of soil properties;

2) SWOT analysis is a tool for identifying the strengths and weaknesses of the internal environment, opportunities and threats of outer environment. It is advisable to analyze natural and anthropogenic factors, quality score, land area, the term of the lease agreement;

3) GAP – analysis identifies gaps between the desired result and the current state of affairs, identifies a problem area for the criteria: the balance of soil properties and compliance with environmental legislation;

4) forecasting using trend lines or other software tools is applied to the conclusions of hybrid analysis with simulation of the end result.

Upon completion of the analysis, recommendations are provided and ways to strengthen weaknesses, minimize threats, reduce gaps and achieve high land use efficiency are proposed.

### Conclusions

1. In the period of existence of the village area the percentage of plowed lands is constantly growing. The use of massive agricultural machinery, outdated equipment, excessive supply of fertilizers has led to the fact that the quality of soils is constantly declining. The humus content decreased to 0.7%.

2. The following strategic measures are used to preserve the soil cover in the Fedorivska Village Area of Kakhovskiy Region of Kherson Oblast: rational use of land by the most optimal justification of the location of farmyards, buildings, road network, size and configuration of fields, lands; creating the optimal ratio of agricultural land depending on the specialization of the economy; preservation of soil fertility through optimal selection of crops, introduction of soil protection system of agriculture, fertilizer application, introduction of crop rotation system, minimization of tillage, positive balance of humus. Despite the measures, the quality of soils is deteriorating.

3. SWOT – analysis showed that with such functioning and use of lands their ecological quality is endangered because short-term lease agreements are concluded, land plots are crushed, natural factors influence, soil degradation is observed. Weaknesses are the use of outdated agricultural machinery and equipment, excessive or insufficient supply of fertilizers, soil contamination and littering, the use of monocultures.

4. GAP – analysis revealed non-compliance with the requirements of Article 35 of the Law of Ukraine “On Land Preservation”. The nine-point score found a strategic difference between the actual and the desired result as satisfactory – 7 points. Meaning that land users for various reasons create a problem field with low rates of anti-erosion, agronomic, agrochemical, amelioration measures, which leads to inefficient land use, deterioration of their properties.

### References

1. Malchykova, D., Pylypenko, I., Shelukhina, O. Spatial analysis of environmental and ameliorative factors of rural area development International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM this link is disabled, 2018, 18(5.2), стр. 889–896.
2. Christopher J.W.McClure, Laura K.Estep, Geoffrey E.Hill. Effects of species ecology and urbanization on accuracy of a cover-type model: A test using GAP analysis. *Landscape and Urban Planning* Volume 105, Issue 4, 30 April 2012, Pages 417–424. URL: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.01.011> (last accessed: 10.10.2022).
3. Cao Cana, Wang Da-qingb, Wang Hong-yana, Dai Lina. SWOT Analysis and Countermeasures of Ecological Agricultural Development of Jianshan Farm. *Journal of Northeast Agricultural University (English Edition)*. Volume 22, Issue 1, January 2015, Pages 12–21. URL: [https://doi.org/10.1016/S1006-8104\(15\)30002-7](https://doi.org/10.1016/S1006-8104(15)30002-7) (last accessed: 12.10.2022).
4. Zeynel AbidinPolat, MehmetAlkan, Hicret GürsoySürmeneli. Determining strategies for the cadastre 2034 vision using an AHP-Based SWOT analysis: A case study for the turkish cadastral and land administration system. *Land Use Policy*. Volume 67, September 2017, Pages 151–166. URL: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.05.004> (last accessed: 10.09.2022).
5. Hanane Aghasafaria, Alireza Karbasia, Hosein Mohammadia, Roberto Calistib. Determination of the best strategies for development of organic farming: A SWOT – Fuzzy Analytic Network Process approach. *Journal of Cleaner Production*. Volume 277, 20 December 2020. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124039> (last accessed: 15.12.2022).
6. IreneVoukkali, Antonis A. Zorpas. Evaluation of urban metabolism assessment methods through SWOT analysis and analytical hierocracy process. *Science of The Total Environment* Volume 807, Part 1, 10 February 2022. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150700> (last accessed:15.09.2022).
7. Rudenko L.H. (2016). SWOT-analysis and GAP-analysis of policies, programs, plans and legislative acts in the field of ecology and natural resources and preparation of recommendations for their improvement in accordance with the provisions of the Rio Convention. Kherson, 2018, 2(102) Географія: актуалізація на тлі світових трендів 25 Л.Г. Руденко. Херсон, 2016. 124 с.
8. SWOT-аналіз екологічного стану території Херсонської міської територіальної громади. URL: <https://miskrada.kherson.ua/stratshia-rishennia/swot-analiz-ekolohichnoho-stanu-terytorii-kherson-skoi-miskoi-terytorialnoi-hromady/> (last accessed: 15.01.2023).
9. ДСТУ ГОСТ 17.4.3.01:2019 (ГОСТ 17.4.3.01-2017, IDT) Охорона довкілля. Якість ґрунту. Загальні вимоги до відбирання проб. [Чинний від 2019-04-01]. Київ, 2019. 9 с. (Інформація та документація).
10. ДСТУ ISO 10390:2007 Якість ґрунту. Визначання рН (ISO 10390:2005, IDT) (на заміну ДСТУ ISO 10390:2001). [Чинний від 2007-12-24]. Київ, 2007. 8 с. (Інформація та документація).

11. ДСТУ 4405:2005 Якість ґрунту. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за методом Кірсанова в модифікації ННЦ ІГА [Чинний від 2006-07-01]. Київ, 2006. 11 с. (Інформація та документація).
12. ДСТУ 7827:2015 Якість ґрунту. Класифікація ґрунтів за ступенем вторинного засолення. [Чинний від 2016-07-01]. Київ, 2016. 11 с. (Інформація та документація).
13. Пилипенко О.В. Стратегічний аналіз: навчальний посібник / за заг. ред. Ковалю М.І. К.: ДП Вид. дім «Персонал», 2018. 350 с.
14. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Херсонській області у 2020 році. Херсонська обласна державна адміністрація, департамент екології та природних ресурсів. Херсон. 2020. 247 с.
15. Saranenko I.I. Application experience of agricultural lands productivity improvement methods. Polish Journal of Natural Sciences: czasopismo naukowe. UWM in Olsztyn, 2011. № 26 (4) P. 285–292.
16. Tsvetkova, N., Saranenko, I., Dubyna, A. Implementation of geoinformational systems in evaluation progression of ravine-dean erosion in the steppe zone of Ukraine. *Dnipropetrovsk university bulletin. Biology, Ecology*. DNU, 2015, (23 (2)), 197–202. URL: [http://www.dnu.dp.ua/docs/visnik/fbem/program\\_56a674dc86d60.pdf](http://www.dnu.dp.ua/docs/visnik/fbem/program_56a674dc86d60.pdf) (last accessed: 16.11.2022).
17. Вільхова Т.В. Критерії та показники ефективності використання землі. *Економіка та держава*. № 7/2014. С. 70–72. URL: [http://www.economy.in.ua/pdf/7\\_2014/17.pdf](http://www.economy.in.ua/pdf/7_2014/17.pdf) (last accessed: 10.11.2022).
18. Гордієнко В.П. Визначення ефективності використання земель сільськогосподарського призначення за багатокритеріальним підходом. *Економіка АПК*. № 21. 2009 р. URL: [http://www.agrosvit.info/pdf/21\\_2009/7.pdf](http://www.agrosvit.info/pdf/21_2009/7.pdf) (last accessed: 15.11.2022).

## ВИЗНАЧЕННЯ ЯРОВИЗАЦІЙНОЇ ПОТРЕБИ ТА ФОТОПЕРІОДИЧНОЇ ЧУТЛИВОСТІ НОВОСТВОРЕНИХ СОРТІВ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ В ПРАВОБЕРЕЖНОМУ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Юрченко Т.В., Демидов О.А., Пикало С.В., Харченко М.В.  
Миронівський інститут пшениці імені В.М. Ремесла НААН України  
с. Центральне, Обухівський р-н, Київська обл., 08853, Україна  
rykserg@ukr.net

Впродовж останніх десятиліть на планеті відбуваються досить відчутні зміни клімату, які впливають на різні життєві сфери і в Україні. Особливо актуальні такі зміни для аграрного сектора економіки, вони мають як негативні, так і позитивні наслідки, які пов'язані головним чином з потеплінням. Одним з пріоритетних напрямків сільськогосподарського виробництва є стабілізація виробництва високоякісного продовольчого зерна, що можливо забезпечити вирощуванням пшениці озимої. Сучасні сорти пшениці озимої володіють високим потенціалом продуктивності, реалізація якого значною мірою залежить від умов вирощування. Важливими показниками, що тісно пов'язані з адаптивністю сортів пшениці озимої, є тривалість яровизаційної потреби та фотоперіодична чутливість, оскільки вони визначають адаптивність рослин до умов навколишнього середовища. У представленій роботі визначено яровизаційну потребу та фотоперіодичну чутливість новостворених сортів пшениці м'якої та твердої озимої селекції Миронівського інституту пшениці імені В.М. Ремесла НААН. Встановлено, що для нормального генеративного розвитку більшості досліджуваних новостворених сортів пшениці озимої, зокрема Вежа миронівська, МІП Ювілейна, МІП Фортуна, МІП Ніка, МІП Роксолана, МІП Феєрія, МІП Відзнака, достатньо виявилась яровизаційна потреба терміном 30 діб. Сорти Аврора миронівська, МІП Лада, МІП Дарунок та МІП Лакомка потребували яровизації терміном 40 діб. До групи з середньою чутливістю до тривалості світлового дня віднесено сорти: МІП Лада, МІП Фортуна, МІП Ніка, МІП Роксолана, МІП Феєрія та МІП Відзнака. Сорти Вежа миронівська, Аврора миронівська, МІП Ювілейна та МІП Дарунок визначено як слабкочутливі, а МІП Лакомка – сильночутливий до тривалості світлового дня. Результати роботи нададуть можливість повніше реалізувати закладений селекціонерами потенціал продуктивності досліджуваних сортів, що сприятиме їх ефективнішому використанню як у рослинництві, так і в селекційній практиці. *Ключові слова:* пшениця озима, сорт, фотоперіодична чутливість, яровизаційна потреба, адаптивність.

### **Determination of vernalization requirement and photoperiod sensitivity of the newly created varieties of winter wheat in Right-Bank Ukrainian Forest-Steppe. Yurchenko T., Demydov O., Pykalo S., Kharchenko M.**

In recent decades, quite tangible climate changes have occurred on the planet, which affect various life spheres in Ukraine as well. Such changes are especially relevant for the agricultural sector of the economy, they have both negative and positive consequences, mainly associated with warming. One of the priority areas of agricultural production is the stabilization of the production of high-quality food grain, which can be achieved by growing winter wheat. Modern varieties of winter wheat have a high productivity potential, the realization of which largely depends on growing conditions. Important indicators closely related to the adaptability of winter wheat varieties are the duration of vernalization requirement and photoperiodic sensitivity, since they determine the adaptability of plants to environmental conditions. In the present work, the vernalization requirement and photoperiodic sensitivity of newly varieties of bread and hard winter wheat created in the V. M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat of NAAS of Ukraine. It has been established that for the normal generative development of most of the studied varieties of winter wheat, in particular, Vezha myronivska, MIP Yuvileina, MIP Fortuna, MIP Nika, MIP Roksolana, MIP Feieriia, MIP Vidznaka, the vernalization requirement turned out to be sufficient. The varieties Avrora myronivska, MIP Lada, MIP Darunok and MIP Lakomka needed vernalization for 40 days. The following varieties are assigned to the group with medium sensitivity to day length MIP Lada, MIP Fortuna, MIP Nika, MIP Roksolana, MIP Feieriia and MIP Vidznaka. The varieties Vezha Myronivska, Avrora Myronivska, MIP Yuvileina and MIP Darunok are defined as weakly sensitive, while variety MIP Lakomka is highly sensitive to daylight hours. The results of the work will make it possible to more fully realize the productivity potential of the studied varieties laid down by breeders, which will contribute to their more efficient use both in crop production and in breeding practice. *Key words:* winter wheat, variety, photoperiod sensitivity, vernalization requirement, adaptability.

**Постановка проблеми.** Пшениця впродовж багатьох років належить до основної продовольчої культури переважної більшості країн світу [1]. В багатьох з них серед зернових вона має пріоритетне значення. Це зумовлюється високими якістьми важливого продукту – хліба, який одержують із зерна пшениці та який впродовж тривалого історичного періоду розвитку людської спільноти залишається незамінним продуктом харчування населення всіх континен-

тів світу і завжди слугував мірою усіх цінностей [2]. Створення сортів пшениці озимої з високим рівнем стійкості до несприятливих чинників довкілля було і залишається одним із основних завдань селекційних установ України і всього світу [3].

Глобальні кліматичні зміни, що спостерігаються протягом останніх десятиліть, значною мірою впливають на валові збори пшениці озимої [4; 5]. Важливими показниками, що тісно пов'язані з адаптивністю сор-

тів пшениці, є тривалість яровизаційної потреби та фотоперіодична чутливість. Ці ознаки дають можливість оптимально підібрати строк сівби насіння для запобігання переростанню рослин восени перед входженням у зиму, оскільки це може знизити стійкість до абіотичних чинників, і, як наслідок, – урожай [6].

**Актуальність дослідження.** Терміни колосіння пшениці є однією з найважливіших агрономічно-цінних ознак, що визначає адаптивність рослинного організму до навколишнього середовища конкретного регіону, забезпечуючи проходження певної фази індивідуального розвитку за найбільш сприятливих умов і впливаючи на урожайність [7]. Потреба рослин у довготривалій дії низької температури для своєчасного зацвітання визначається їхньою чутливістю до яровизації [8]. Яровизаційна потреба – це кількість діб з низькими позитивними температурами, що необхідна рослинам для переходу до генеративного стану [9]. Вона впливає на тривалість періоду до колосіння, а також на посухо-, зимо-, морозостійкість, масу зерна з колоса, а відтак і на врожай [10; 11]. Потребу пшениці у яровизації можна розглядати як адаптивний механізм, що забезпечує затримку у переході до репродуктивної фази розвитку в зимовий період, захищаючи тим самим чутливу апікальну меристему від дії несприятливих умов [11; 12].

Фотоперіодична чутливість відіграє важливу роль у визначенні відмінностей за адаптивністю і продуктивністю у багатьох регіонах вирощування пшениці. Фотоперіодизм розглядають як реакцію живих організмів на періодичні, сезонні коливання тривалості світлового періоду доби. Зміна тривалості світлового дня є для організму сигналом, що повідомляє про зміни цілого комплексу екологічних чинників в ході зміни сезонів року [13]. Реакція рослин на фотоперіод проявляється у прискоренні або уповільненні їх росту та розвитку залежно від комплексу сезонних кліматичних умов певного регіону [13; 14]. Визначення селекційної цінності сортів пшениці за яровизаційною потребою та фотоперіодичною чутливістю набуває особливої актуальності, оскільки дасть змогу об'єктивніше характеризувати рівень їхньої адаптивності і прогнозувати поведінку у відповідних екологічних умовах.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Представлені матеріали є частиною таких науково-дослідної роботи: «Особливості формування ознак і властивостей зернових культур, які визначають стійкість до абіотичних стресових чинників, в умовах Лісостепу України з використанням біотехнологічних та фізіолого-генетичних мето-дів» (№ 0121U100435).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Яровизаційна потреба та фотоперіодична чутливість у рослин виникають в процесі еволюції як генетично детерміновані адаптивні реакції на кліматичні умови конкретного регіону, слугуючи таким чином прикладом регіональної адаптації [14]. Встановлено, що

високий рівень адаптивності до різних стресових чинників зимового періоду проявляють генотипи, які восени мають слабку диференціацію точки росту рослин, а відновлення весняної вегетації розпочинають пізніше [6; 15]. Тобто, це сорти з високою фотоперіодичною чутливістю та, переважно, тривалим періодом яровизації [16; 17]. Встановлено відмінності між сортами пшениці озимої за тривалістю яровизації, яка коливається від 15 до 60 і більше діб [8]. Тривала яровизаційна потреба є необхідною умовою для досягнення високої морозостійкості [6; 12]. З нею пов'язаний процес формування і розвиток фотосинтетичного апарату та закладка структурних новоутворень конуса наростання [9].

Як відомо, відмінності сортів пшениці озимої за тривалістю яровизації залежать від їх фотоперіодичної чутливості. Неодноразово вітчизняні науковці акцентували на важливості оцінки сортів за показником фотоперіодичної чутливості, оскільки він впливає на темпи розвитку рослин, а отже і на адаптивність сортів [9]. Чим більше виражена у генотипу фотоперіодична реакція до дії короткого дня, тим більшу тривалість часу він зберігає стійкість до дії відлиг і підтримує високий рівень морозостійкості [9]. Показано, що сорти, які володіють слабкою фотоперіодичною чутливістю виділяються скоростиглістю та стабільною високою продуктивністю [19].

Стійкість пшениці озимої до стресових умов довкілля пов'язана з швидкістю проходження та тривалістю етапів органогенезу рослин, що зумовлені значною мірою впливом генетичних систем, які контролюють тривалість періоду яровизації та фотоперіодичну чутливість [10; 13]. Триваліша потреба в яровизації зумовлює повільніший розвиток на початкових етапах, тому перехід до формування диференційованої точки росту і зачатків репродуктивних органів у таких генотипів відбувається значно пізніше [17]. Триваліша затримка переходу до репродуктивного розвитку визначає рівень стійкості рослин до негативних температур [20] та тривалість періоду до початку зниження цієї стійкості [21].

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

Вивчення чутливості до фотоперіоду та яровизаційної потреби є важливими складовими селекційного процесу пшениці. Тривалість періоду яровизації та чутливість рослин до тривалості світлового дня у формуванні морозостійкості мають велике значення, оскільки визначають темпи розвитку рослин [20]. Маючи інформацію про необхідний період яровизації та фоточутливість конкретного сорту пшениці озимої, можна скоригувати строк його сівби відповідно до зони вирощування та уникнути пошкодження рослин морозами, а відтак і зберегти врожай [12; 22].

У контексті реалізації селекційних програм учени-селекціонери Миронівського інституту пшениці

імені В.М. Ремесла НААН (МПП) створили нові перспективні сорти пшениці озимої, частина яких вже занесена до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні. Більшість із-поміж них відзначається принципово новими морфо-агробіологічними і господарсько цінними ознаками та властивостями. Результати дослідження дадуть змогу повніше реалізувати природний потенціал продуктивності та адаптивної здатності кожного конкретного сорту.

**Метою** роботи є визначення яровизаційної потреби та фотоперіодичної чутливості новостворених сортів пшениці м'якої та твердої озимої миронівської селекції.

**Новизна.** Вперше визначено фотоперіодичну чутливість та яровизаційну потребу новостворених сортів пшениці м'якої та твердої озимої, представлених у роботі.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Результати роботи сприятимуть створенню нових сортів із цінними практичними властивостями та можуть бути використані у селекційних центрах, науково-дослідних установах та агрофірмах.

**Матеріали і методи.** Дослідження проводили у 2020–2021 рр. у польових та контрольованих умовах Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла (МПП). Визначали тривалість періоду яровизації та фотоперіодичну чутливість у 11 нових сортів пшениці озимої миронівської селекції: м'якої – Вежа миронівська, Аврора миронівська, МПП Ювілейна, МПП Лада, МПП Фортуна, МПП Дарунок, МПП Ніка, МПП Роксолана, МПП Феєрія, МПП Відзнака, та твердої – МПП Лакомка. Визначення тривалості періоду яровизації та фотоперіодичної чутливості проводили за методикою, розробленою у відділі біотехнології, генетики і фізіології МПП [23; 24]. Для визначення яровизаційної потреби сорту насіння після штучної яровизації за різних термінів (30, 40, 50, 60 діб) висівали весною в полі, а для встановлення фотоперіодичної чутливості насіння піддавали штучній яровизації 60 діб та

висівали навесні у вегетаційні посудини у двох варіантах досліду. В першому варіанті рослини вирощували за природного фотоперіоду, а в другому – за скороченого, накриваючи рослини ящиком з темної плівки. Вірогідність відмінностей між показниками оцінено за критерієм Ст'юдента.

**Виклад основного матеріалу.** У весняно-літній період 2021 та 2022 рр. проведено досліді по визначенню чутливості до фотоперіоду та яровизаційної потреби 11 новостворених сортів пшениці озимої селекції МПП (рис. 1, 2).

Характеристика сортів за вищевказаними ознаками представлена у таблиці 1. Усі сорти відреагували на скорочення фотоперіоду вірогідною (за критерієм Ст'юдента) затримкою розвитку.

Слід зазначити, що оскільки дослід проводиться у природних умовах, спостерігається певна різниця у затримці розвитку рослин по роках, однак при цьому здебільшого зберігається градація сортів відносно один одного, тобто найбільш чутливі до скорочення фотоперіоду сорти залишаються такими ж і навпаки. Сильну чутливість до фотоперіоду (13,5 діб) виявив сорт МПП Лакомка. Решта сортів виявили слабку та середню чутливість до фотоперіоду.

Для визначення яровизаційної потреби зразків пшениці озимої проводили весняний висів з попередньою яровизацією пророслого насіння при температурі +1 °С протягом різних термінів (30–40–50–60 діб). Для нормального генеративного розвитку більшості зразків достатньою виявилась яровизація протягом 30 діб. За узагальненими дворічними даними сорти Вежа миронівська, МПП Ювілейна, МПП Фортуна, МПП Ніка, МПП Роксолана, МПП Феєрія, МПП Відзнака потребували яровизації терміном 30 діб, Аврора миронівська, МПП Лада, МПП Дарунок та МПП Лакомка – 40 діб. Коротша тривалість яровизаційного періоду, з одного боку, сприяє більш ранньому відновленню весняної вегетації, а відтак більш інтенсивному розвитку рослин та підвищенню їх продуктивності, а з іншого – може слугувати причиною деякого зниження їхньої стій-



Рис. 1. Рослини пшениці озимої під час вегетації для визначення потреби в яровизації за скороченого та природного світлового дня



Рис. 2. Рослини пшениці озимої для визначення тривалості періоду яровизації

**Фотоперіодична чутливість та яровизаційна потреба новостворених сортів пшениці м'якої озимої (МПП, 2021–2022 рр.)**

Походження	Подовження вегетаційного періоду на короткому дні, діб	Фотоперіодична чутливість	Яровизаційна потреба, діб
Вежа миронівська	4,5	слабка	30
Аврора миронівська	3,4	слабка	40
МПП Ювілейна	2,9	слабка	30
МПП Лада	8,1	середня	40
МПП Фортуна	4,2	слабка	30
МПП Дарунок	6,4	середня	40
МПП Ніка	6,4	середня	30
МПП Роксолана	6,0	середня	30
МПП Феєрія	6,4	середня	30
МПП Відзнака	5,2	слабка	30
МПП Лакомка	13,5	сильна	40

кості до несприятливих умов зимівлі, довша – може спричиняти уповільнення розвитку рослин навесні та зниженню продуктивності. Науковці зазначають, що краща адаптація до суворих умов зимівлі генотипів з довготривалою потребою в яровизації та сильною фотоперіодичною чутливістю позитивно впливає на кінцеву продуктивність [25].

**Головні висновки.** Таким чином, у результаті дослідження визначено яровизаційну потребу та фотоперіодичну чутливість новостворених сортів пшениці озимої миронівської селекції. Для нормального генеративного розвитку більшості досліджуваних новостворених сортів пшениці озимої, зокрема Вежа миронівська, МПП Ювілейна, МПП Фортуна, МПП Ніка, МПП Роксолана, МПП Феєрія, МПП Відзнака достатньою виявилась яровизаційна

потреба терміном 30 діб. Сорти Аврора миронівська, МПП Лада, МПП Дарунок та МПП Лакомка потребували яровизації терміном 40 діб. До групи з середньою чутливістю до тривалості світлового дня віднесено сорти: МПП Лада, МПП Фортуна, МПП Ніка, МПП Роксолана, МПП Феєрія та МПП Відзнака. Сорти Вежа миронівська, Аврора миронівська, МПП Ювілейна та МПП Дарунок визначено як слабкочутливі, а МПП Лакомка – сильночутливий до тривалості світлового дня.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Представлені результати нададуть можливість повніше реалізувати закладений селекціонерами потенціал продуктивності досліджуваних сортів пшениці, що сприятиме їх ефективнішому використанню як у рослинництві, так і в селекційній практиці.

### Література

- Siroshstan A., Kavunets V., Derhachov O., Pykalo S., Ilchenko L. Yield and sowing qualities of winter bread wheat seeds depending on the preceding crops and sowing dates in the Forest-Steppe of Ukraine. *American Journal of Agriculture and Forestry*. 2021. Vol. 9. № 2. P. 76–82.
- Гамаюнова В.В., Смірнова І.В. Економічна ефективність вирощування сортів пшениці озимої залежно від оптимізації фону живлення. *Наукові горизонти*. 2018. № 1 (64). С. 10–14.
- Demydov O., Khomenko S., Fedorenko M., Kuzmenko Ye., Pykalo S. Stability and plasticity of collection samples of durum spring wheat in the forest-steppe conditions of Ukraine. *American Journal of Agriculture and Forestry*. Vol. 9. No 2. 2021. P. 83–88.
- 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.
- Рудник-Іващенко О. І. Особливості вирощування озимих культур за умов змін клімату. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2012. № 2. С. 8–10.
- Пірич А.В., Юрченко Т.В., Гуменюк О.В. Яровизаційна потреба, фотоперіодична чутливість та врожайність сортів пшениці м'якої озимої миронівської селекції. *Миронівський вісник*. 2019. Вип. 9. С. 59–62.
- Лукашук Л.Я. Вплив зміни клімату на продуктивність пшениці озимої залежно від строків сівби. Вісник Сумського національного аграрного університету. *Серія «Агронія і біологія»*. 2012. Вип. 9 (24). С. 91–94.
- Baloch D. M., Karow R. S., Marx E., Kling J. G., Witt M. D. Vernalization studies with Pacific Northwest wheat. *Agronomy Journal*. 2003. Vol. 95. P. 1201–1208.
- Бирюков С.В., Комарова В.П. Онтогенетические аспекты продукционного процесса озимой пшеницы и его гомеостатичность. Збірник наукових праць СГІ-НЦНС (100-річчю від дня народження академіка Ф.Г. Кириченка присвячується). Одеса, 2004. Вип. 6, ч. 2. С. 153–163.
- Gorafi Y. S. A., Eltayeb A. E., Tsujimoto H. Alteration of wheat vernalization requirement by alien chromosome-mediated transposition of MITE. *Breeding Science*. 2016. Vol. 66. No. 2. P. 181–190.



11. Kosner J., Pankova K. Vernalization response of some winter wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*. 2002. Vol. 38. No. 3–4. P. 97–103.
12. Пірич А. В., Булавка Н. В., Юрченко Т. В. Фотоперіодична чутливість та яровизаційна потреба сортів пшениці м'якої озимої (*Triticum aestivum* L.) миронівської селекції. *Зернові культури*. 2018. Т. 2. № 2. С. 261–266.
13. Тоцький В.М., Мутерко О.Ф., Балашова І.А., Дьяченко Л.Ф. Генетичні механізми детермінації фотоперіодичної реакції пшениці. *Біологічні системи*. 2011. Т. 3. № 1. С. 19–25.
14. Крастина Е.Е. Влияние длины дня на скорость развития и продуктивность яровой пшеницы в условиях искусственного освещения и постоянной температуры. *Известия ТСХА*. 1977. № 1. С. 12–19.
15. Скрипчинский В.В. Фотопериодизм – его происхождение и эволюция. Ленинград : Наука, 1975. 287 с.
16. Москалец Т.З. Індикаційні механізми зимостійкості нових генотипів зернових озимих культур. *Біологічні дослідження – 2016*: Зб. наук. праць. Житомир : ПП «Рута», 2016. С. 124–125.
17. Prasil I., Prasilova P., Pankova K. Relationships among vernalization shoot apex development and frost tolerance in wheat. *Annals of Botany*. 2004. Vol. 94. № 3. P. 413–418.
18. Тищенко В., Палій Ю. Зимостійкість – основна складова адаптивного потенціалу сортів озимої пшениці. *Зерно і хліб*. 2011. № 1. С. 46–48.
19. Кошкин В. А., Матвиенко И. И., Егорова Е. М., Потокіна Е. К., Мережка А. Ф. Использование аллель-специфических маркеров гена *Ppd-D1* для анализа изогенных линий яровой мягкой пшеницы. *Тр. по прикл. ботанике, генетике и селекции*. 2009. Т. 166. С. 151–156.
20. Prasil I. T., Prasilova P., Pankova K. The relationship between vernalization requirement and frost tolerance in substitution lines of wheat. *Biologia Plantarum*. 2005. Vol. 49. No. 2. P. 195–200.
21. Mahfoozi S., Limin A. E., Fowler D. B. Influence of vernalization and photoperiod responses on cold hardiness in winter cereals. *Crop Science*. 2001. Vol. 41. No. 4. P. 1006–1011.
22. Amanov O.A., Juraev D.T., Dilmurodov S.D. Dependence of growth period, yield elements and grain quality of winter bread wheat varieties and lines on different soil and climate conditions. *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*. 2021. Vol. 25. № 6. P. 5146–5164.
23. Юрченко Т.В., Демидов О.А., Пикало С.В., Булавка Н.В., Пірич А.В., Гудзенко В.М. Модифікація методу визначення фотоперіодичної чутливості сортів пшениці м'якої озимої в умовах Центрального Лісостепу України. *Екологічні науки*. 2022. Вип. 4 (43). С. 220–223.
24. Демидов О. А., Булавка Н. В., Юрченко Т. В., Пірич А. В., Гуменюк О. В. Визначення тривалості періоду яровизації та фотоперіодичної чутливості зразків пшениці м'якої озимої (*Triticum aestivum* L.). *Методичні рекомендації / за ред. О. А. Демидова. Миронівка: [б. в.], 2019. 11 с.*
25. Стельмах А. Ф., Файт В. І. Особливості темпів початкового розвитку нових європейських сортів озимої пшениці м'якої у зв'язку з системами генів *Ppd-1* та *Vrd*. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2019. Т. 24. С. 166–171.

---

# ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ

---

УДК 502.51-049.5: [621.311.25:627.81]

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.2-47.21>

## ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ РАДІОЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ВОДОЙМ ЗА ЕКОСИСТЕМНИМ ПРИНЦИПОМ БЕЗПЕКИ

Григор'єв К.В., Алексєєва А.О., Макарова О.В., Григор'єва Л.І.

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

вул. 68 Десантників, 10, 54003, м. Миколаїв

[kossss.iop@gmail.com](mailto:kossss.iop@gmail.com), [anna.aleksyeyeva@chmnu.edu.ua](mailto:anna.aleksyeyeva@chmnu.edu.ua),

[elenamakarova79@ukr.net](mailto:elenamakarova79@ukr.net), [kafecobezpeka@ukr.net](mailto:kafecobezpeka@ukr.net)

Представлено результати дослідження із застосування теорії радіаційної ємності екосистем до встановлення нормативів вмісту радіонуклідів у поверхневих водоймах з позицій екологічного принципу безпеки, тобто захисту біоти прісноводної екосистеми. Такі нормативи є необхідною передумовою для прийняття ефективних заходів із забезпечення екологічної безпеки біоти і населення, яке використовує такі екосистеми для проживання, виробництва і рекреації. Представлено результати дослідження коефіцієнтів акумуляції радіонуклідів ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{108\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ) донними відкладеннями і водоростями п'яти водойм у районі розміщення ЮУ АЕС, які використано для оцінки стану екосистеми цих водойм за методологією радіаційної ємності екосистем. Планктонні водорості досліджених водосховищ представлено рдестами (*Potamogeton natans*), ряскою двох видів (*Lemna minor L.*, *Lemna trisulca L.*), елодеєю (*Elodea bifoliata H. St. John*, *Elodea callitrichoides (Rich.) Casp.*, *Elodea canadensis Michx.*), роголистником трьох видів (*Ceratophyllum demersum L.*, *Ceratophyllum platyacanthum Cham.*, *Ceratophyllum submersum L.*) та нитчастими водоростями – кладофорою (*Cladophora fracta*). Розраховано фактори радіаційної ємності кожної з п'яти водойм. Невисокі величини загального фактору радіоемності для ставка-охолоджувача Южно-Української АЕС дозволили вказати на зниження надійності екосистеми цієї водойми, що потребує задіяння відповідних заходів. На підставі запропонованої радіоекологами допустимої межі вмісту радіонуклідів у біоті прісноводної екосистеми розраховано допустимі концентрації радіонуклідів у водоймах та допустимі скиди радіонуклідів до водойм при не перевищенні цієї екологічної межі. Показано, що величини допустимої скиду радіонуклідів у водойму за принципом забезпечення бентоса донних відкладень від 10 до 100 разів є меншими, ніж аналогічні значення, що визначені за принципом забезпечення фітопланктону. Цим обґрунтовано розрахунок екологічних нормативів допустимих концентрацій радіонуклідів у воді водойми, виходячи з принципу забезпечення бентоса донних відкладень. *Ключові слова:* забезпечення екосистем, донні відкладення, водяна біота, радіаційна ємність водойм, гранично-допустимі концентрації.

**Assessment of indicators of the radiation – environmental condition of water according to the ecosystem principle of safety. Grygoriev K., Aleksieieva A., Makarova O., Grygorieva L.**

The article presents the results of a study on the application of the theory of ecosystems radiation capacity to the establishment of standards for the content of radionuclides in surface water bodies from the standpoint of the ecological principle of safety, i.e. protection of freshwater ecosystem biota. Such standards are a necessary prerequisite for taking effective measures to ensure the environmental safety of biota and the population using such ecosystems for living, production and recreation. The results of the research of the coefficients of accumulation of radionuclides ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{108\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ) in the bottom sediments and algae of five reservoirs in the area of the South-Ukrainian Nuclear Power Plant (SU NPP) are presented. They were used to assess the state of the ecosystem of these reservoirs according to the methodology of ecosystems' radiation capacity. The planktonic algae of the studied reservoirs are represented by pondweed (*Potamogeton natans*), duckweed of two species (*Lemna minor L.*, *Lemna trisulca L.*), elodea (*Elodea bifoliata H. St. John*, *Elodea callitrichoides (Rich.) Casp.*, *Elodea canadensis Michx.*), three species of cattail (*Ceratophyllum demersum L.*, *Ceratophyllum platyacanthum Cham.*, *Ceratophyllum submersum L.*) and filamentous algae – *Cladophora fracta*. The radiation capacity factors of each of the five reservoirs were calculated. The low values of the total radiocapacity factor for the cooling pond of the SU NPP made it possible to indicate a decrease in the reliability of this reservoir ecosystem, which requires the use of appropriate measures. Based on the permissible limit of radionuclide content in the biota of a freshwater ecosystem proposed by radiologists, the permissible concentrations of radionuclides in water bodies and the permissible discharge of radionuclides into water bodies were calculated without exceeding this ecological limit. It is shown that the values of the permissible discharge of radionuclides into the water body are based on the principle of ensuring the benthos of bottom sediments are 10 to 100 times smaller than the similar values determined according to the principle of providing phytoplankton. This substantiates the calculation of environmental standards for permissible concentrations of radionuclides in the water of the reservoir, based on the principle of ensuring the benthos of bottom sediments. *Key words:* protection of ecosystems, bottom sediments, water biota, radiation capacity of water bodies, maximum permissible concentrations.

**Постановка проблеми.** Широкомасштабне використання водних ресурсів для промислових, сільськогосподарських та комунальних потреб нашої країни призводить до їх виснаження та забруднення,

у тому числі – радіонуклідного. Потенційними джерелами радіонуклідного забруднення прісних водойм на Україні можуть виступати скиди Південно-Української (далі – ПУ АЕС), Запорізької

АЕС та розташованих у безпосередній близькості АЕС Болгарії, Румунії, скиди гірничодобувних і гірничо-переробних комбінатів Кіровоградської та Миколаївської областей, підприємств Криворізького гірничопромислового басейну тощо. Скидання вод є практично єдиною можливістю виходу істотних матеріальних мас за територію АЕС, і, внаслідок цього, існує ймовірність потрапляння радіоактивних речовин у поверхневі води і розповсюджуватися в екосистемах водойм [1].

Це визначає необхідність установлення допустимих рівнів радіонуклідного забруднення водойм за принципом забезпечення їх екосистем.

**Аналіз літературних даних і постановка проблеми.** На сьогодні діють нормативи допустимих рівнів радіонуклідів у питній воді [2], є дослідження щодо визначення допустимих рівнів радіонуклідного забруднення поверхневих водойм, як джерел зрошування [3]. Ці нормативи засновані на радіаційно-гігієнічному принципі безпеки. Однак цікавість представляють дослідження із визначення допустимих рівнів радіонуклідів у поверхневих водоймах, як типових прісноводних екосистем України [4]. Такі нормативи мають бути засновані на екологічному принципі безпеки, тобто на захисті біоти прісноводної екосистеми, і є необхідною передумовою для прийняття ефективних заходів із забезпечення екологічної безпеки біоти і населення, яке використовує такі екосистеми для проживання, виробництва і рекреації.

Радіоекологами запропоновано допустимі межі вмісту радіонуклідів у біотичній складовій прісноводної екосистеми. Такою межею пропонується величина 370 кБк/кг [4], як мінімальний вміст радіонуклідів у біоті прісноводної екосистеми, починаючи з якої відбувається пригнічення росту популяції фітопланктону та інших біосистем. Цей рівень є орієнтовною границею забруднення біоти, тому може виступати нормативом забезпечення екосистеми водойми. Виникає необхідність вирішення науково-практичної задачі визначення допустимих рівнів радіонуклідного забруднення водойм на предмет не перевищення цих екологічних меж. Знаючи допустиму активність радіонуклідів в елементах екосистеми можна визначити допустимі скиди радіонуклідів до останньої.

Вирішення цієї задачі здійснювали на прикладі водної системи у районі розміщення ЮУ АЕС. Ця водна система утворена річкою Південний Буг і створеними в її руслі водосховищами (Ташлицьке, Олександрівське) – з одного боку, і річками Арбузинка і Мертвовід з русловими водосховищами (Трикратьське, Таборівське) – з іншого (рис. 1) [5]. Ташлицьке водосховище є технологічною водоймою, виступає ставком-охолоджувачем АЕС, має площу дзеркала близько  $8,6 \cdot 10^6$  м<sup>2</sup>, із середньою глибиною 10 м, а максимальною – 44,5 м. Технологічними водоймами також виступають пов'язані у каскад три ставки біологічного очищення промислово-комунальної каналізації (ПКК) (рис. 1).



Рис. 1. Схема водної системи в районі ЮУ АЕС

АЕС, в яких після механічного і хімічного очищення здійснюється поетапне осадження радіоактивності природним шляхом. Олександрівське водосховище, яке використовується в гідроенергетиці (при забезпеченні роботи Олександрівської ГЕС і Ташлицької ГАЕС), має площу дзеркала води  $13,1 \cdot 10^6 \text{ м}^2$ , із середньою глибиною 9,1 м. Таборівське водосховище є іригаційно-господарським об'єктом з площею дзеркала води  $1,0 \cdot 10^7 \text{ м}^2$ . Гідрологічно з ним пов'язано Трикратьське водосховище з площею дзеркала води  $1,0 \cdot 10^3 \text{ м}^2$ .

Ціль роботи – визначення допустимих рівнів радіонуклідного забруднення водойм на предмет не перевищення екологічних меж. Задачі дослідження полягали у: 1) визначення коефіцієнтів акумуляції донними відкладеннями і фітопланктоном радіонуклідів, які потрапляють у довкілля з рідкими скидами ЮУ АЕС; 2) розрахунок факторів радіаційної ємності водойм; 3) розрахунок допустимих концентрацій радіонуклідів ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{108\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^3\text{H}$ ) у воді водойм пониззя р. Південний Буг за принципом забезпечення екосистеми водойм.

#### Матеріали експериментальних досліджень.

Матеріалами дослідження виступали:

– дані про вміст радіонуклідів у компонентах водойм за період 1982–2017 рр. [6, 7, 8, 9];

– дані досліджень вмісту радіонуклідів у воді та водяних компонентах водосховищ у районі ЮУ АЕС, проведених вченими наукового інституту радіаційної і техногенно-екологічної безпеки ЧНУ ім. Петра Могили за 1982–2010 рр. [10, 11, 12].

Під час розрахунку допустимих концентрацій радіонуклідів у воді за принципом безпеки екосистеми водойм використано відомі підходи до екологічного нормування вмісту радіонуклідів у компонентах екосистем [4, 13].

#### Результати експериментальних досліджень.

Водяну біоту прісноводної водойми представляють бентос донних відкладень, планктон водоростей та інших водяних рослин, нейстон. Планктонні водорості досліджених водосховищ представлено рдестами (*Potamogeton natans*), ряскою двох

видів (*Lemna minor L.*, *Lemna trisulca L.*), елодеєю (*Elodea bifoliata H. St. John*, *Elodea callitrichoides (Rich.) Casp.*, *Elodea canadensis Michx.*), роголистником трьох видів (*Ceratophyllum demersum L.*, *Ceratophyllum platyacanthum Cham.*, *Ceratophyllum submersum L.*) та нитчастими водоростями, які представлено кладофорою (*Cladophora fracta*) [4].

Блок-схему стаціонарної камерної моделі екосистеми водойми, у котру потрапляють радіонукліди, можна представити у вигляді, який представлено на рис. 2.

Узагальнені результати розрахунку коефіцієнтів акумуляції радіонуклідів ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{108\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^3\text{H}$ ) донними відкладеннями водойм та планктонними водоростями представлено у таблиці 1. Також там представлено розраховані середні за водоймами величини відповідних коефіцієнтів для кожного радіонукліду. Розрахунок коефіцієнтів акумуляції радіонуклідів здійснено за відомими формулами:

$$k_{\text{bottom}}^i = \frac{C_{\text{bottom}}^i \left( \frac{\text{Бк}}{\text{кг}} \right)}{C_{\text{water}}^i \left( \frac{\text{Бк}}{\text{л}} \right)},$$

$$k_{\text{algae}}^i = \frac{C_{\text{algae}}^i \left( \frac{\text{Бк}}{\text{кг}} \right)}{C_{\text{water}}^i \left( \frac{\text{Бк}}{\text{л}} \right)},$$

де  $k_{\text{bottom}}^i$  – коефіцієнт акумуляції радіонукліду  $i$  донними відкладеннями водойми,  $\frac{\text{Бк}/\text{кг}}{\text{Бк}/\text{л}}$ ;

$k_{\text{algae}}^i$  – коефіцієнт акумуляції радіонукліду  $i$  водоростями водойми,  $\frac{\text{Бк}/\text{кг}}{\text{Бк}/\text{л}}$ ;

$C_{\text{bottom}}^i$  – питома активність радіонукліду  $i$  у донних відкладеннях водойми,  $\left( \frac{\text{Бк}}{\text{кг}} \right)$ ;

$C_{\text{algae}}^i$  – питома активність радіонукліду  $i$  у водоростях водойми,  $\left( \frac{\text{Бк}}{\text{кг}} \right)$ ;

$C_{\text{water}}^i$  – питома активність радіонукліду  $i$  у воді водойми,  $\left( \frac{\text{Бк}}{\text{л}} \right)$ .

Ці результати виступили вихідними величинами при обчисленні радіаційної ємності  $A^i$  і факторів

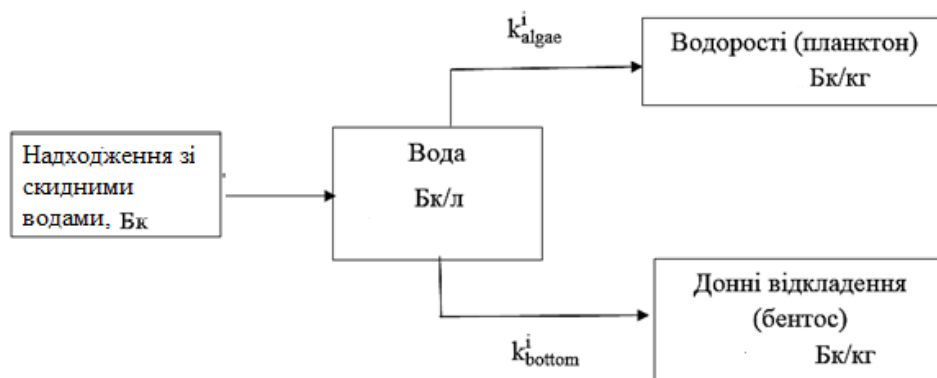


Рис. 2. Блок-схема камерної моделі міграції радіонуклідів в екосистемі водойми

радіємності цих водойм: фактора радіємності донних відкладень водойми  $F^i_{bottom}$ , фактора радіємності водяної біоти водойми  $F^i_{algae}$ , загального фактора радіємності  $F^i$  цих водойм (табл. 2) за формулами [14]:

$$A^i = C^i_{water} \times S \times (H + k^i_{bottom} \times h + k^i_{algae} \times P \times H),$$

$$F^i_{bottom} = \frac{k^i_{bottom} \times h}{H + k^i_{bottom} \times h},$$

$$F^i_{algae} = \frac{P \times k^i_{algae} \times H}{(H + P \times k^i_{algae} \times H)},$$

$$F^i = \frac{(k^i_{bottom} \times h + P \times k^i_{algae} \times H)}{(H + k^i_{bottom} \times h + P \times k^i_{algae} \times H)}$$

де  $S$  – площа поверхні водойми,  $m^2$ ;  $H$  – глибина водойми,  $m$ ;  $h$  – товщина ефективного шару донних відкладень (шару, в якому накопичуються радіонукліди, прийнято  $h=0,1 m$ );  $P$  – вміст біоти в одиниці

об'ємі води,  $г/м^3$  (значення  $P$  прийнято за результатами визначення для кожної водойми).

Середні значення визначених коефіцієнтів акумуляції і значення визначених загальних факторів радіємності екосистеми цих водойм використано при розрахунку допустимого скиду радіонукліду до екосистеми водойми [4] (табл. 3) за формулами:

$$N^i_{L,bottom} = L \times h \times S / (k^i_{bottom} \times F^i)$$

$$N^i_{L,algae} = L \times H \times S / (k^i_{algae} \times (1 - F^i))$$

де  $N^i_{bottom}$  – допустимий скид радіонукліду  $i$  до екосистеми водойми, який визначено для донних відкладень водойми, Бк;  $N^i_{algae}$  – допустимий скид радіонукліду  $i$  до екосистеми водойми, який визначено для планктонних водоростей водойми, Бк;  $L$  – ліміт вмісту радіонуклідів у водяній біоті – 370 кБк/кг.

З результатів розрахунку, наведених у таблиці 1, маємо, що коефіцієнти акумуляції радіонуклідів донними відкладеннями варіювали у межах від 120

Таблиця 1

Усереднені за період 1982–2018 рр. значення показників радіоекологічного стану водойм

Водойма	Показник	<sup>137</sup> Cs, <sup>134</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>54</sup> Mn	<sup>108m</sup> Ag, <sup>110m</sup> Ag	<sup>103</sup> Ru, <sup>106</sup> Ru	<sup>57</sup> Co, <sup>60</sup> Co	<sup>3</sup> H
	$k^i_{bottom} \frac{Бк/кг}{Бк/л}$	700	150	250	580	430	420	—*
	$k^i_{algae} \frac{Бк/кг}{Бк/л}$	1200	1500	2500	3800	4300	4200	—*
	$k^i_{bottom} \frac{Бк/кг}{Бк/л}$	650	120	350	620	420	400	—*
	$k^i_{algae} \frac{Бк/кг}{Бк/л}$	1250	1200	3500	6200	5200	4000	—*
	$k^i_{bottom} \frac{Бк/кг}{Бк/л}$	500	120	—	—	—	—	—*
	$k^i_{algae} \frac{Бк/кг}{Бк/л}$	980	120	—	—	—	—	—*
Трикратське водосховище	$C^i_{water} \frac{Бк/л}{Бк/л}$	0,20	0,10	—	—	—	—	670
	$k^i_{bottom} \frac{Бк/кг}{Бк/л}$	580	70	—	—	—	—	—*
	$k^i_{algae} \frac{Бк/кг}{Бк/л}$	1100	70	—	—	—	—	—*
Таборівське водосховище	$C^i_{water} \frac{Бк/л}{Бк/л}$	0,20	0,10	—	—	—	—	110
	$k^i_{bottom} \frac{Бк/кг}{Бк/л}$	570	70	—	—	—	—	—*
	$k^i_{algae} \frac{Бк/кг}{Бк/л}$	1100	70	—	—	—	—	—*
Середнє значення за водосховищами	$C^i_{water} \frac{Бк/л}{Бк/л}$	0,20	0,10	0,98**	1,20**	0,60**	0,15**	—
	$k^i_{bottom} \frac{Бк/кг}{Бк/л}$	600**	265**	300**	600**	425**	410**	—*
	$k^i_{algae} \frac{Бк/кг}{Бк/л}$	1126**	592**	3000**	5000**	5300**	4100**	—*

\* для <sup>3</sup>H не визначали, бо він не затримується водяною біотою

\*\* середнє значення розраховане тільки для технологічних водойм (ставок-охолоджувач, 3<sup>ї</sup> ставок біоочищення ПКК)

Таблиця 2

## Радіаційна ємність та фактори радіаційної ємності водойм

Водойма	Показник	$^{137}\text{Cs}, ^{134}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{54}\text{Mn}$	$^{108\text{m}}\text{Ag}, ^{110\text{m}}\text{Ag}$	$^{103}\text{Ru}, ^{106}\text{Ru}$	$^{57}\text{Co}, ^{60}\text{Co}$
Ташликське водосховище	$A^i(\text{Бк})$	$1,2 \cdot 10^{11}$	$8,1 \cdot 10^{11}$	$2,34 \cdot 10^{10}$	$2,98 \cdot 10^{10}$	$1,98 \cdot 10^{10}$	$1,08 \cdot 10^{10}$
	$F^i_{\text{bottom}}$	0,60	0,60	0,68	0,68	0,60	0,66
	$F^i_{\text{algae}}$	0,99	0,97	0,72	0,68	0,60	0,68
	$F^i$	0,71	0,62	0,72	0,68	0,60	0,68
3-й ставок біоочищення ОС	$A^i(\text{Бк})$	$2,8 \cdot 10^{11}$	$9,1 \cdot 10^{11}$	$2,68 \cdot 10^{10}$	$3,39 \cdot 10^{10}$	$2,34 \cdot 10^{10}$	$1,74 \cdot 10^{10}$
	$F^i_{\text{bottom}}$	0,89	0,80	0,72	0,76	0,79	0,79
	$F^i_{\text{algae}}$	0,97	0,89	0,78	0,80	0,82	0,88
	$F^i$	0,97	0,78	0,80	0,82	0,88	0,78
Олександрівське водосховище	$A^i(\text{Бк})$	$3,2 \cdot 10^{11}$	$8,9 \cdot 10^{11}$	–	–	–	–
	$F^i_{\text{bottom}}$	0,90	0,90	–	–	–	–
	$F^i_{\text{algae}}$	0,98	0,98	–	–	–	–
	$F^i$	0,98	–	–	–	–	–
Трикратське водосховище	A	$2,8 \cdot 10^{11}$	$8,0 \cdot 10^{11}$	–	–	–	–
	$F^i_{\text{bottom}}$	0,84	0,90	–	–	–	–
	$F^i_{\text{algae}}$	0,89	0,90	–	–	–	–
	$F^i$	0,89	–	–	–	–	–
Таборівське водосховище	$A^i(\text{Бк})$	$2,9 \cdot 10^{11}$	–	–	–	–	–
	$F^i_{\text{bottom}}$	0,84	0,90	–	–	–	–
	$F^i_{\text{algae}}$	0,92	0,92	–	–	–	–
	$F^i$	0,92	–	–	–	–	–

Таблиця 3

## Гранично-допустимий скид радіонуклідів у прісноводну водойму за принципом забезпечення екосистеми водойми

Водойма	Показник	$^{137}\text{Cs}, ^{134}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{54}\text{Mn}$	$^{108\text{m}}\text{Ag}, ^{110\text{m}}\text{Ag}$	$^{103}\text{Ru}, ^{106}\text{Ru}$	$^{57}\text{Co}, ^{60}\text{Co}$
Ставок-охолоджувач	$N^i_{\text{L,bottom}}$ ТБк	2,59	9,63	6,52	5,61	5,01	4,91
	$N^i_{\text{L,algae}}$ , ГБк	20,59	96,63	65,22	56,10	55,01	49,91
3-й ставок біоочищення ОС	$N^i_{\text{L,bottom}}$ ТБк	0,004	0,014	0,001	0,006	0,005	0,005
	$N^i_{\text{L,algae}}$ , ГБк	0,04	0,014	0,01	0,06	0,05	0,05
Олександрівське водосховище	$N^i_{\text{L,bottom}}$ ТБк	36,62	149,90	–	–	–	–
	$N^i_{\text{L,algae}}$ , ГБк	366,62	1499,90	–	–	–	–
Трикратське водосховище	$N^i_{\text{L,bottom}}$ ТБк	0,034	0,137	–	–	–	–
Таборівське водосховище	$N^i_{\text{L,bottom}}$ ТБк	$3,58 \cdot 10^6$	$14,07 \cdot 10^6$	–	–	–	–

до  $700 \frac{\text{Бк}}{\text{кг}}$ , водоростями – до  $6200 \frac{\text{Бк}}{\text{кг}}$ . Між радіонуклідами найбільші значення коефіцієнтів акумуляції становили для радіоізотопів рутенію (для донних відкладень  $k^i_{\text{bottom}}$  в середньому дорівнював  $425 \frac{\text{Бк}}{\text{кг}}$ , для водоростей  $5300 \frac{\text{Бк}}{\text{кг}}$ ). Між водоймами значних розходжень в акумулятивних властивостях донних відкладень і планктонних водоростей не було виявлено.

З результатів розрахунку, наведених у таблиці 2, радіоемність усіх водойм складала величини  $n \times 10^{10} \div n \times 10^{11}$  Бк. Результати розрахунку факторів радіоемності окремих складових екосистеми водойм свідчили, що для усіх радіонуклідів величина факторів радіоемності біотичної складової  $F^i_{\text{algae}}$  водойми, що була представлена вищими водними рослинами, є більшою понад відповідні значення для факторів радіоемності донних відкладень  $F^i_{\text{bottom}}$ , що підкреслює факт провідної ролі водної біоти до утримання

радіоактивності всередині екосистеми. Особливої уваги заслуговують результати розрахунку факторів радіємності  $F_{bottom}^i, F_{algae}^i$  для ставка-охолоджувача ЮУ АЕС: низькими виявилися фактори радіємності  $F_{bottom}^i$  майже для всіх радіонуклідів. Це свідчить про те, що біота цієї водойми не характеризується високою здатністю утримувати радіонукліди.

Загальні фактори радіємності різнилися за водоймищами: найменші величини (0,68 ÷ 0,71) визначено для ставка-охолоджувача. Для іншої технологічної водойми – III ставка біоочищення ОС ГФК ЮУАЕС – загальний фактор радіємності був більш високим (0,89 ÷ 0,97). Для інших водойм фактори радіємності характеризувалися високим рівнем (0,89 ÷ 0,98). Це свідчить про добру здатність екосистеми цих водойм акумулювати і утримувати в біомасі радіонукліди, що потрапили до неї, без помітних наслідків для самої екосистеми. Невисокі величини фактора радіємності для ставка-охолоджувача ЮУ АЕС за усіма радіонуклідами може свідчити про порушення надійності екосистеми цієї водойми.

З таблиці 3 видно, що для кожного радіонукліду виконується наступне:

$$N_{L,bottom}^i < N_{L,algae}^i$$

Тобто величина допустимого скиду радіонуклідів у водойму, яка визначається за можливим впливом на стан бентоса донних відкладень, значно (від 10 разів) є нижчою за величину допустимого скиду радіонуклідів у водойму, яка визначається за можливим впливом на стан водяної біоти. Останнє твердження також підтверджується обчисленням відношення оцінок допустимих скидів у водойму за формулою [4]:

$$\frac{N_{bottom}^i}{N_{algae}^i} = \frac{h * k_{bottom}^i * (1 - F^i)}{H * k_{bottom}^i * F^i}$$

Маємо, що значення допустимого скиду радіонуклідів у водойму за принципом забезпечення бентоса донних відкладень значно (від 10 до 100 разів) є меншими, ніж аналогічні значення, що визначені за принципом забезпечення водяної біоти. Через це саме ці значення мають виступати нормативом забезпечення екосистеми водойми, а розрахунок допустимої концентрації  $CC_{L,eco}^i$  радіонукліду  $i$  у воді водойми за принципом забезпечення екосистеми водойми можна здійснити за формулою:

$$CC_{L,eco}^i = \frac{L}{k_{bottom}^i}$$

Результати розрахунку представлено у таблиці 4.

За принципом забезпечення екосистеми водойм при скиді суміші радіонуклідів, на наш погляд, має виконуватися вираз:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_{water}^i}{CC_{L,eco}^i} < 1$$

де  $C_{water}^i$  – питома активність радіонукліду  $i$  у водосховищі, Бк/л;  $n$  – кількість радіонуклідів у суміші радіонуклідів,  $n=11$  ( $^{137}Cs, ^{134}Cs, ^{89}Sr, ^{90}Sr, ^{54}Mn, ^{108m}Ag, ^{110m}Ag, ^{103}Ru, ^{106}Ru, ^{58}Co, ^{60}Co$ ).

Враховуючи той факт, що для усіх водойм найменше значення  $N_{L,bottom}^i$  зафіксовано для  $^{137}Cs$  (табл. 3), радіоекологічний моніторинг за станом екосистеми водойм, в які існує можливість надходження суміші радіонуклідів ( $^{137}Cs, ^{134}Cs, ^{90}Sr, ^{54}Mn, ^{108m}Ag, ^{110m}Ag, ^{103}Ru, ^{106}Ru, ^{57}Co, ^{60}Co$ ), на наш погляд, можна здійснювати за цим індикатором.

**Висновки.** Коефіцієнти акумуляції радіонуклідів донними відкладами водойм варіювали у межах від 120 до 700  $\frac{Bk/kg}{Bk/l}$ , водоростями – до 6200  $\frac{Bk/kg}{Bk/l}$ .

Розраховані величини загального фактору радіаційної ємності обстежених водойм пониззя р. Південний Буг різнилися за водоймами: найменші значення (0,68 ÷ 0,71) – для ставка-охолоджувача, для інших водойм фактори радіємності були на високому рівні (0,89 ÷ 0,98). Невисокі величини загального фактору радіємності для ставка-охолоджувача ЮУ АЕС можуть вказувати на зниження надійності екосистеми цієї водойми, що потребує задіяння відповідних заходів (наприклад, налагодження більшої врожайності водяних рослин, які можуть виступати біологічними дезактиваторами водойм).

Визначено гранично-допустимий скид радіонуклідів ( $^{137}Cs, ^{134}Cs, ^{90}Sr, ^{54}Mn, ^{108m}Ag, ^{110m}Ag, ^{103}Ru, ^{106}Ru, ^{57}Co, ^{60}Co$ ) у кожному з п'яти прісноводних водойм пониззя р. Південний Буг за принципом забезпечення екосистеми водойми. Найменші величини зафіксовано при забезпеченні бентоса донних відкладень водойм.

Підхід, заснований на принципі забезпечення екосистеми водойми, може стати у нагоді при оцінці екологічного стану водойм, оцінку якості води яких не здійснюють за радіаційно-гігієнічними нормативами.

Таблиця 4

**Значення допустимих концентрацій радіонуклідів  $CC_{L,eco}^i$  у воді водойм, які визначені за принципом забезпечення екосистеми водойми [3, 15]**

Радіонуклід	Бк/л	Радіонуклід	Бк/л
$^{137}Cs, ^{134}Cs$	617	$^{106}Ru, ^{103}Ru$	870
$^{89}Sr, ^{90}Sr$	1396	$^{58}Co, ^{60}Co$	902
$^{110m}Ag, ^{108m}Ag$	620	$^{54}Mn$	1233

## Література

1. Grygorieva, L.I., Aleksieieva, A.O., Makarova, O.V. Tritium in the hydro-ecosystem of the South-Ukrainian Nuclear Power Plant. *Nuclear Physics and Atomic Energy*, 2021, 22(3), pp. 263–271. DOI: <https://doi.org/10.15407/jnpae2021.03.263>
2. Про якість води, призначеної для споживання людиною : Директива Ради 98/83/ЄС від 3.11.1998 р. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994\\_963](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_963). (дата звернення: 01.06.2020).
3. Grygorieva, L.I., Alekseeva, A.O., Koval, A.V. Calculation of the acceptable radionuclide level in irrigation water during irrigation by the method of rain. *Nuclear Physics and Atomic Energy*, 2020, 21(1), pp. 86–94. DOI: <https://doi.org/10.15407/jnpae2020.01.086>.
4. Кутлахмедов Ю. О. Дорога до теоретичної радіоекології. Київ : Фитосоціоцентр, 2015. 360 с.
5. Радіаційна обстановка в районі розташування ЮУАЕС за 2014–2018 рр. : звіти лабораторії зовнішньої дозиметрії ЮУАЕС. 2019. 124 с.
6. Висновок екологічного аудиту енергоблоків ЮУ АЕС. Київ, 2012. 32 с. URL: [https://www.sunpp.mk.ua/sites/default/files/life-time-extention-docs/vyvody\\_ekologicheskogo\\_audita.pdf](https://www.sunpp.mk.ua/sites/default/files/life-time-extention-docs/vyvody_ekologicheskogo_audita.pdf). (дата звернення: 05.01.2019).
7. Вычисление допустимых сбросов ЮУ АЭС : отчет о НИР (заключ.) / Институт биофизики МЗ СССР – ВНИИАЭС зак. № 0352. 1987. 24 с.
8. Інформація про діяльність НАЕК «Енергоатом». URL: [http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art\\_id=244916068&cat\\_id=244916056](http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=244916068&cat_id=244916056). (дата звернення: 02.10.2020).
9. Обоснование расстановки постов автоматизированного контроля регистрации МЭД в окружающей среде и на площадке ЮУАЭС. Разработка раздела отчёта по анализу безопасности системы : отчет по НИР ГНТЦ ЯРБ. Этап 1. Киев, 2004. 86 с.
10. Южно-Українська АЕС. Енергоблок №3 : звіт з періодичної переоцінки безпеки. Фактор безпеки №14. Вплив на навколишнє середовище. Київ, 2019. 158 с.
11. Використання моделей оцінки радіоекологічного ризику та моделей біодозиметричної оцінки для оптимізації еколого-дозиметричного моніторингу територій при аваріях на ядерних об'єктах : звіт з НДР (заключ. за 2013 р.) / НІнРТЕБ ЧДУ імені Петра Могили. 2013. 90 с.
12. Використання моделей оцінки радіоекологічного ризику та моделей біодозиметричної оцінки для оптимізації еколого-дозиметричного моніторингу територій при аваріях на ядерних об'єктах : звіт з НДР (проміж. за 2013 р.) / НІнРТЕБ ЧДУ імені Петра Могили. 2013. 46 с.
13. Картирование территории Николаевской области по суммарной дозовой нагрузке на население : отчет о НИР (закл.) / Никол. науч.-исслед. лабор. по проблемам радиационной безопасности населения «Ларани» № 5197/1. 1997. 246 с.
14. Григор'єва Л. І., Алексєєва А. О. Радіаційна ємність технологічних водойм АЕС. *Наукові праці. Серія : Техногенна безпека*. Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2019. Т. 328. Вип. 316. С. 78–82.
15. Алексєєва А. О. Екологічна оцінка способів зрошення сільськогосподарських культур. *Екологічні науки*. 2020. № 1(28). С. 130–134.



## ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ЗА ІНДИКАТИВНИМИ ВИМІРЮВАННЯМИ

Григор'єва Л.І., Алексєєва А.О., Макарова О.В., Буровицька Ю.М., Григор'єв К.В.  
Чорноморський національний університет імені Петра Могили  
вул. 68 Десантників, 10, 54003, м. Миколаїв  
kafecobezpeka@ukr.net, anna.aleksyeyeva@chmnu.edu.ua,  
elenamakarova79@ukr.net, kosses.iop@gmail.com

Стаття присвячена питанню вдосконалення екологічного моніторингу атмосферного повітря шляхом розширення фіксованих вимірювань за допомогою індикативних вимірювань показників якості повітря відповідно до положень Директиви 2008/50/ЄС. Представлено результати дослідження стану атмосферного повітря за системою індикативних вимірювань  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$ ,  $CH_2O$  та за системою фіксованих вимірювань  $CO$ , пиле,  $CH_2O$ ,  $HF$ ,  $NO$  на чотирьох стаціонарних постах спостережень м. Миколаєва у 2021 р. Робота спрямована на визначення можливості й обґрунтування необхідності запровадження індикативних вимірювань показників якості атмосферного повітря у м. Миколаєві – місті, де у довоєнні часи спостерігали високі рівні забруднення атмосферного повітря через інтенсивні потоки вантажного транспорту. Представлені у роботі результати індикативних вимірювань отримано за допомогою розгорнутою у 2021 р. у м. Миколаєві першою ланки системи індикативних вимірювань на базі універсальних станцій Oxygen Air Fresh Max. Визначено, що у повітряному просторі м. Миколаєва наявне хронічне перевищення гранично-допустимих концентрацій  $CH_2O$ ,  $HF$ . Встановлено, що найбільша кратність перевищення ГДКс.д. (до 10 разів і вище) характерна для формальдегіду. Концентрації пилових частинок  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$  в атмосферному повітрі відповідали нормам. Визначено, що результати індикативних вимірювань вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі перевищують у 1,5–1,6 рази відповідні величини при фіксованих вимірюваннях, а максимальні значення при фіксованих вимірюваннях перевищують у 1,6–1,8 разів максимальні значення при індикативних вимірюваннях. Цей підтверджує, що при референтному рівні забруднення (наприклад, формальдегідом) екологічний моніторинг атмосферного повітря має бути організований за фіксованими вимірюваннями і доповнений індикативними вимірюваннями за допомогою комплексних компактних станцій, які призначені для здійснення індикативних вимірювань якості повітря. *Ключові слова*: атмосферне повітря, забруднення, екологічний моніторинг, індикативні вимірювання, фіксовані вимірювання, формальдегід, пил.

**Environmental monitoring of the atmospheric air by indicative measurements. Grygorieva L., Alekseeva A., Makarova O., Burovytska Yu., Grygoriev K.**

The article is devoted to the issue of improving environmental monitoring of atmospheric air by expanding fixed measurements with indicative measurements of air quality indicators in accordance with the provisions of Directive 2008/50/EC. The results of the state of atmospheric air according study to the system of indicative measurements of  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ ,  $CH_2O$  and the system of fixed measurements of  $CO$ , dust,  $CH_2O$ ,  $HF$ ,  $NO$  at four stationary observation posts in Mykolaiv in 2021 are presented. The work is aimed at determining the possibility and justification of the need to introduce indicative measurements of atmospheric air quality indicators in the city of Mykolaiv – a town with high levels of atmospheric air pollution in pre-war times were observed due to intensive flows of freight transport. The results of indicative measurements presented in the work were obtained using the first link of the system of indicative measurements deployed in Mykolaiv in 2021 on the basis of universal Oxygen Air Fresh Max stations. It was determined in the air space of Mykolaiv there is a chronic excess of the maximum allowable concentrations of  $CH_2O$ ,  $HF$ . It was established that the greatest multiplicity of exceeding norms (up to 10 times and higher) is characteristic of formaldehyde. Concentrations of  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$  dust particles in atmospheric air corresponded to norms. It was determined the results of indicative measurements of the content of formaldehyde in atmospheric air exceed 1.5–1.6 times the corresponding values in fixed measurements, and the maximum values in fixed measurements exceed 1.6–1.8 times the maximum values in indicative measurements. This confirms at a reference level of pollution (for example, formaldehyde), environmental monitoring of atmospheric air should be organized according to fixed measurements and supplemented with indicative measurements using complex compact stations, which are designed to carry out indicative measurements of air quality. *Key words*: atmospheric air, pollution, environmental monitoring, indicative measurements, fixed measurements, formaldehyde, dust.

**Постановка проблеми.** Чисте та безпечне атмосферне повітря є суспільною цінністю та останнім безкоштовним природним ресурсом, що для більшості населення не має альтернативи споживання. У вересні 2021 р. Всесвітня організація охорони здоров'я ООН оприлюднила нові рекомендації до якості повітря, що надають чіткі докази шкоди, яку забруднене повітря завдає здоров'ю людей, навіть у менших концентраціях, ніж вважалося раніше. За оцінками експертів ВООЗ, щороку забруднення повітря обумовлює до 7 мільйонів передчасних

смертей і призводить до втрати мільйонів здорових років життя.

У рамках імплементації положень Директиви 2008/50/ЄС [2] у національне законодавство України у містах нашої країни законодавчо закріплено запровадження розширення фіксованих вимірювань при екологічному моніторингу атмосферного повітря за допомогою індикативних вимірювань показників якості повітря з врахуванням регіональних проблем територій [4]. Така система екологічного моніторингу атмосферного повітря розгорталася й на

Миколаївщині. Але вона залишила багато питань щодо співставлення результатів вимірювань показників якості атмосферного повітря за фіксованими і за індикативними вимірюваннями показників якості атмосферного повітря.

Тому дослідження ефективності екологічного моніторингу атмосферного повітря через індикативні вимірювання є актуальними. Адже поєднання системи фіксованих і індикативних вимірювань при організації екологічного моніторингу атмосферного повітря на Миколаївщині будуть особливо актуальними у повоєнні часи.

**Аналіз літературних даних.** На стаціонарних постах спостереження за програмою державного моніторингу якості атмосферного повітря в Україні здійснюються фіксовані вимірювання речовин: суспендовані пилові частинки,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ , формальдегід, свинець, бенз(а)пірен. Деякі станції контролюють наявність додаткових забруднюючих речовин залежно від регіональних або місцевих викидів та наявності технічного потенціалу. У країнах ЄС одним з небезпечних видів забруднення атмосферного повітря, що вимагають систематичного контролю, є дрібнодисперсні частинки діаметром менше 10 мкм ( $\text{PM}_{10}$ ) і 2,5 мкм ( $\text{PM}_{2.5}$ ) [1].

В Україні гігієнічне нормування  $\text{PM}_{10}$  і  $\text{PM}_{2.5}$  прийняте у 2014 році (у результаті підписання угоди про асоціацію між Україною та ЄС), в той час як в США та Європейському Союзі таке нормування існує вже багато років і супроводжується великою кількістю спостережень, досліджень, методичних розробок, які стосуються, зокрема, і діяльності автомобільного транспорту. Велику увагу гігієнічному значенню дрібнодисперсних частинок приділяє Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ). Зіставлення існуючих на сьогодні норма-

тивних вимог вмісту  $\text{PM}_{10}$  і  $\text{PM}_{2.5}$ , а також загального вмісту завислих речовин (TSP) в повітрі представлено у таблиці 1 [1].

На даний час в Україні робляться лише перші кроки із систематичного моніторингу концентрацій  $\text{PM}_{10}$  і  $\text{PM}_{2.5}$ , а також формальдегіду в атмосферному повітрі. З'являються методики і розпочато організацію моніторингу  $\text{PM}_{10}$  і  $\text{PM}_{2.5}$  у великих містах країни [5, 6]. Водночас на сьогодні відсутні затверджені методики розрахунку викидів  $\text{PM}_{10}$  і  $\text{PM}_{2.5}$  для основних видів діяльності, які є причиною значного пилоутворення, в тому числі і для руху транспорту автомобільними дорогами. Щодо викидів формальдегіду у повітря при руху автотранспорту, особливо вантажного, ситуація вкрай гостра у довоєнні часи була у м. Миколаєві [3].

**Матеріали експериментальних досліджень.** Матеріалами для дослідження виступали:

– результати вимірювання показників якості атмосферного повітря на 4 стаціонарних постах м. Миколаєва, проведених Комплексною лабораторією Миколаївського обласного центру з гідрометеорології та представлених на сайті Миколаївської міської ради [6, 8];

– результати визначення показників якості атмосферного повітря за 6 станціями індикативних вимірювань Oxygen Air Fresh Max в м. Миколаєві («Департамент ЖКГ», «MryDiy 2», «Північний», «Спортивний Дім Sport House», «Solar Service Mykolaiv», «Космонавтів», «Залізнична») та станцією Oxygen ECO-ROZUM, яка встановлена на одному з корпусів ЧНУ імені Петра Могили.

Спостереження, в рамках постійного екологічного моніторингу, здійснювалися за поллютантами: окис вуглецю ( $\text{CO}$ ), пил, формальдегід ( $\text{CH}_2\text{O}$ ), фтористий водень ( $\text{HF}$ ), двоокис азоту ( $\text{NO}_2$ ), окис азоту

Таблиця 1

**Гранично допустимі концентрації  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$  в атмосферному повітрі в Україні, США, ЄС і за рекомендаціями ВООЗ,  $\text{мг/м}^3$**

Речовина	Час усереднення	Україна	ВООЗ	США	ЄС
Завислі речовини (TSP)	20 хвил.	0,50	–	–	–
	24 год.	0,15	–	0,26	–
	1 рік	–	–	0,075	–
Завислі речовини $\text{PM}_{10}$	20 хвил.	–	–	–	–
	24 год.	–	0,050	0,150 (не повинна бути перевищена більше 1 разу на 3 роки)	0,050 (концентрація не повинна бути перевищена більше 35 разів протягом року)
	1 рік	–	0,020	–	0,040
Завислі речовини $\text{PM}_{2.5}$	20 хвил.	–	–	–	–
	24 год.	–	0,025	0,035 (98% на 3 роки)	–
	1 рік	–	0,010	0,015 (середня на 3 роки)	0,025

(NO), двоокис сірки (SO<sub>2</sub>) здійснювалися в 4-х контрольних пунктах спостереження.

Індикативні вимірювання за допомогою універсальної станції моніторингу якості повітря Oxygen здійснювалися у період: липень 2021 р. – січень 2022 р.

#### Результати експериментальних досліджень.

Аналіз отриманих результатів вмісту поллютантів в атмосферному повітрі м. Миколаєва, за результатами вимірів на 4 стаціонарних постах, свідчив, що вміст пилу, діоксиду азоту не перевищував існуючих граничних норм. Останні досягалися і, навіть, були перевищені, для формальдегіду і для фтористого водню. Так, середньомісячний вміст формальдегіду по місту коливався в межах 0,0085–0,0155 мг/м<sup>3</sup> (0,003 ГДКс.д.), концентрація фтористого водню в середньому по місту була рівна 0,0018 мг/м<sup>3</sup> (0,005 ГДКс.д.), концентрація діоксиду азоту в середньому по місту дорівнювала 0,037мг/м<sup>3</sup> (0,04 ГДКс.д.) та вміст пилу по місту в середньому дорівнював 0,075 мг/м<sup>3</sup> (0,09 ГДКс.д.). Індекс забруднення атмосфери у м. Миколаєві за 2021 рік склав 8,44.

Результати індикативних вимірювань вмісту PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, CH<sub>2</sub>O у повітрі за допомогою універсальної станції Oxygen ECO-ROZUM ЧНУ імені Петра Могили за період липень 2021 р. – січень 2022 р. представлено у таблиці 2.

З таблиці видно, що концентрації дрібнодисперсного пилу не перевищували нормативного значення, а за формальдегідом спостерігалися перевищення ГДК<sub>с.д.</sub> до 7 разів.

Аналіз результатів індикативних вимірювань стану атмосферного повітря у м. Миколаєві за іншими 6 станціями Oxygen Air Fresh Max свідчив, що середньомісячний вміст формальдегіду коливався в межах 8,08–19,20 мкг/м<sup>3</sup> (ГДКс.д. – 3 мкг/м<sup>3</sup>), концентрація PM<sub>2,5</sub> по місту в середньому дорівнювала 12,66 мкг/м<sup>3</sup> (ГДКс.д. – 25,00 мкг/м<sup>3</sup>) та концентрація PM<sub>10</sub> у місті в середньому дорівнювала 22,12 мкг/м<sup>3</sup> (ГДКс.д. – 50,00 мкг/м<sup>3</sup>).

Порівняння результатів всіх спостережень представлено у таблиці 3.

На стовбчикових діаграмах (рис. 1, 2) відображено результати (середні значення та максимальні значення відповідно) фіксованих вимірювань та результатів індикативних вимірювань вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва за липень 2021 р. – січень 2022 р.

Як можна бачити з рисунків, за усередненими величинами результати індикативних вимірювань перевищують у 1,5–1,6 рази відповідні величини фіксованих вимірювань, а за максимальними значеннями навпаки: максимальні значення фіксованих вимірювань перевищують в 1,6–1,8 разів максимальні значення, які зафіксовано при індикативних вимірюваннях.

Цей факт ще раз підтверджує, що при референтному рівні забруднення (наприклад, формальдегідом) екологічний моніторинг атмосферного повітря має бути організований не тільки за допомогою організації фіксованих вимірювань, а має бути доповнений індикативними вимірюваннями за допомогою комплексних компактних станцій, які призначені для

Таблиця 2

Середні значення вмісту PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, CH<sub>2</sub>O у повітрі за станцією Oxygen ECO-ROZUM ЧНУ імені Петра Могили за липень 2021 р. – січень 2022 р.

Дата	Середні значення кожні 10 днів, мкг/м <sup>3</sup>		
	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>	CH <sub>2</sub> O
01.07–10.07.2021	11,66	25,30	11,94
11.07–20.07.2021	15,42	35,18	32,02
21.07–31.07.2021	8,88	14,26	14,94
01.08–10.08.2021	11,28	23,32	18,60
11.08–20.08.2021	22,23	44,82	11,74
21.08–31.08.2021	8,09	17,72	12,26
01.09–10.09.2021	3,35	11,30	29,88
11.09–20.09.2021	7,70	17,77	19,92
21.09–30.09.2021	9,36	12,87	30,93
01.10–10.10.2021	12,04	25,88	31,96
11.10–20.10.2021	11,58	24,13	31,25
21.10–31.10.2021	16,89	38,92	32,46
01.11–10.11.2021	14,56	34,55	34,13
11.11–20.11.2021	15,58	37,62	33,10
21.11–31.11.2021	19,91	42,21	11,23
01.12–10.12.2021	20,13	27,42	11,14
11.12–20.12.2021	13,97	28,33	11,18
22.12–31.12.2021	4,28	8,52	11,21

Таблиця 3

Порівняння результатів фіксованих вимірювань та результатів індикативних вимірювань вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва за липень 2021 р. – січень 2022 р., мг/м<sup>3</sup>

Місяць спостережень	Фіксовані вимірювання*		Індикативні вимірювання**		Фонові індикативні вимірювання***	
	$\bar{X} \pm \sigma_X$ , мг/м <sup>3</sup>	max, мг/м <sup>3</sup>	$\bar{X} \pm \sigma_X$ , мг/м <sup>3</sup>	max, мг/м <sup>3</sup>	$\bar{X} \pm \sigma_X$ , мг/м <sup>3</sup>	max, мг/м <sup>3</sup>
Липень 2021 р.	0,073±0,007	0,010	0,015±0,004	0,034	0,014±0,010	0,031
Серпень 2021 р.	0,093±0,010	0,014	0,017±0,010	0,030	0,016±0,010	0,019
Вересень 2021 р.	0,008±0,011	0,010	0,015±0,006	0,029	0,014±0,010	0,017
Жовтень 2021 р.	0,005±0,009	0,011	0,015±0,005	0,019	0,015±0,010	0,014
Листопад 2021 р.	0,005±0,007	0,010	0,013±0,003	0,018	0,012±0,004	0,011
Грудень 2021 р.	0,0050±0,008	0,010	0,012±0,006	0,017	0,010±0,006	0,011
Січень 2021 р.	0,0052±0,009	0,010	0,012±0,004	0,015	0,011±0,005	0,011

\* – за 4 стаціонарними постами спостережень МОЦ з гідрометеорології

\*\* – за 7 стаціонарними постами спостережень індикативних вимірювань («Департамент ЖКГ», «MriyDiy 2», «Північний», «Solar Service Mykolaiv», «Космонавтів», «Залізнична»)

\*\*\* – за стаціонарним постом спостережень індикативних вимірювань («EcoRozum»)



Рис. 1. Середньомісячні значення результатів фіксованих вимірювань та результатів індикативних вимірювань вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва за липень 2021 р. – січень 2022 р.



Рис. 2. Максимальні значення результатів фіксованих вимірювань та результатів індикативних вимірювань вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва за липень 2021 р. – січень 2022 р.

здійснення індикативних вимірювань якості повітря. Тому у наступному підрозділі нами проаналізовано наявні на ринку станції індикативних вимірювань показників якості атмосферного повітря.

Отримані близькі результати показників якості атмосферного повітря за усіма 7 станціями індикативних вимірювань вказують, що при виборі місця розташування такої станції у місті з великими транспортними потоками для здійснення фонових вимірювань показників якості атмосферного повітря така станція має розташована на великій відстані від дороги.

#### Висновки

1. Показано, що у м. Миколаєві у довечні часи була розгорнута система індикативних вимірювань, за якою експлуатувалися 7 компактних станцій («EcoRozum», «Департамент ЖКГ», «MiyDiy 2», «Північний», «Solar Service Mykolaiv», «Космонавтів», «Залізнична»), результати вимірювань яких відображувалися у поточному режимі на онлайн-карті <https://eco-city.org.ua/>.

2. Визначено, що у повітряному просторі м. Миколаєва наявне хронічне перевищення гранично-допустимих концентрацій формальдегіду і фтористого водню. Найбільша кратність перевищення ГДКс.д. (до 10 разів і вище) характерна для формальдегіду. Концентрації пилових частинок  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$  в атмосферному повітрі відповідали нормам.

3. Визначено, що результати індикативних вимірювань вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі перевищують у 1,5–1,6 рази відповідні величини при фіксованих вимірюваннях, а максимальні значення при фіксованих вимірюваннях перевищують в 1,6–1,8 разів максимальні значення при індикативних вимірюваннях. Цей підтверджує, що при референтному рівні забруднення (наприклад, формальдегідом) екологічний моніторинг атмосферного повітря має бути організований за фіксованими вимірюваннями і доповнений індикативними вимірюваннями за допомогою комплексних компактних станцій, які призначені для здійснення індикативних вимірювань якості повітря.

#### Література

1. Air quality plan for nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) in UK (2017). Department for Environment, Food & Rural Affairs and Department for Transport, 2017 Air Quality Zones, European Commission, 2017.
2. Про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи: Директива Ради 2008/50/ЄС від 21.05.2008. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994\\_950#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_950#Text)
3. Григор'єва, Л.І., Томілін, Ю.А., Суха, Н.О. Комплексна оцінка забруднення атмосферного повітря в місті Миколаєві. Екологічні науки, 4 2018 (23). С. 19–24.
4. Деякі питання здійснення державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря: Постанова КМУ № 827 від 14.08.2019.
5. Дмитрієва, О. О., Варламов, Є. М., Квасов, В. А., Палагута, О. А., Нестеренко Л. М., Нестеренко У. Ю. Стан мережі спостереження за атмосферним повітрям в Україні та її відповідність вимогам Директиви 2008/50/ЄС. Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки. 2016. № 38. С. 99–110.
6. Моніторинг якості повітря у розумному місті. URL: <https://www.kyivsmartcity.com/news/ecology/>

## КОНЦЕПЦІЯ КОМПЛЕКСНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ

Михайлов С.С., Квасов В.А.

Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем» (УКРНДІЕП)  
вул. Бакуліна, 6, 61166, м. Харків  
mss220797@gmail.com, kvasovva34@gmail.com

Стаття спрямована на розробку концепції комплексної системи моніторингу довкілля регіонів України. Метою екологічного моніторингу є отримання об'єктивної інформації про природне середовище та характер антропогенних впливів на нього. Цей процес вимагає постійного спостереження та контролю за станом усіх об'єктів довкілля. Це можливо реалізувати на практиці лише шляхом застосування комплексного підходу до екологічного моніторингу. Комплексний екологічний моніторинг – це циклічно організована система збору, обробки та використання інформації про зміни факторів і умов стійкості, складу, властивостей, структури та функціонування геосистем за різноманітних антропогенних впливів, що має контрольні, прогностично-діагностичні та управлінські цілі. Загальна класифікація систем моніторингу може бути заснована на об'єктах спостереження, факторах впливу, методах спостереження тощо. За аналогічними ознаками також можна класифікувати комплексність систем моніторингу довкілля: за об'єктами довкілля, суб'єктами моніторингу довкілля, ступенями автоматизації та «ручного моніторингу», сукупністю засобів автоматичного моніторингу, ступенем уніфікації з єдиним інформаційним центром. Як наслідок, комплексний підхід до моніторингу довкілля сприятиме покращенню стану навколишнього природного середовища шляхом підвищення ефективності використання та зміцнення існуючого потенціалу служб спостереження, суб'єктів системи моніторингу на основі використання нормативних, економічних, фінансових, науково-експертних, інформаційно-освітніх та інших чинників, впровадження сучасних технологій, застосування засобів виміральної техніки, уніфікованих методів вимірювання, оптимізація показників спостережень і створення на їх основі єдиної мережі спостережень.

*Ключові слова:* комплексність, моніторинг довкілля, системи моніторингу довкілля.

### Concept of comprehensive environmental monitoring system. Mykhailov S., Kvasov V.

The article is aimed at the develop the concept of a comprehensive system of monitoring the environment of the regions of Ukraine. The purpose of environmental monitoring is to obtain objective information about the natural environment and the nature of anthropogenic influences on it. This process requires constant observation and control of the state of all environmental objects. This can be implemented in practice only by applying a comprehensive approach to environmental monitoring. Complex environmental monitoring is a cyclically organized system of collecting, processing and using the information about changes in factors and conditions of stability, composition, properties, structure and functioning of geosystems under various anthropogenic influences, having control, prognostic-diagnostic and management purposes. The general classification of monitoring systems can be based on the objects of observation, influencing factors, methods of observation, etc. On similar grounds, it is also possible to classify the complexity of environmental monitoring systems: by environmental objects, environmental monitoring subjects, degrees of automation and «manual monitoring», a set of automatic monitoring tools, by the degree of unification with a single information center. As a result, a comprehensive approach to environmental monitoring will contribute to the improvement of the state of the natural environment by increasing the efficiency of use and strengthening the existing potential of observation services, subjects of the monitoring system based on the use of regulatory, economic, financial, scientific and expert, informational and educational and other means, implementation modern technologies, application of measuring equipment, unified measurement methods, optimization of observation indicators and creation of a single network of observations based on them. *Key words:* complexity, environmental monitoring, environmental monitoring systems.

**Постановка проблеми.** Екологічна ситуація в Україні залишається вкрай складною, навантаження на навколишнє природне середовище залишається ще високою. Забруднення і виснаження природних ресурсів продовжує загрожувати здоров'ю населення, екологічній безпеці та економічній стабільності держави.

Недостатньо уваги приділяється охороні земельних ресурсів, скорочуються площі зелених насаджень у населених пунктах, не здійснюються належні заходи щодо забезпечення науково обґрунтованого відтворення і невиснажливого використання тваринного світу, нераціонально використовуються водні ресурси, триває їх забруднення та виснаження. Стан атмосферного повітря в багатьох регіонах України за

окремими показниками не відповідає встановленим нормативам. Залишається нерозв'язаною проблема збирання, оброблення, знешкодження та видалення відходів.

**Актуальність дослідження.** Така екологічна ситуація зумовлена рядом факторів, у тому числі незадовільним функціонуванням по регіонах державної системи моніторингу довкілля, створеної для збирання та аналізу інформації про стан довкілля, прогнозування його змін і розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень з питань запобігання негативним змінам довкілля та дотримання вимог екологічної безпеки [1]. Отже можна сказати, що створення та забезпечення функціонування комплексної системи моніторингу

довкілля є актуальним напрямом дослідження для підвищення екологічної безпеки регіонів України.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями** полягає у необхідності комплексного підходу до моніторингу довкілля на основі сучасних досягнень науки і техніки на всіх рівнях.

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

Останнім часом з'явилося чимало наукових досліджень щодо вдосконалення механізмів управління, аналізу та ефективності функціонування існуючої системи моніторингу довкілля, оптимізації її роботи та обґрунтуванню потреб щодо загального переоснащення системи.

Але аналіз попередніх досліджень дає змогу констатувати недостатню вивченість та узагальненість саме поняття «комплексність» щодо системи моніторингу довкілля.

Саме тому **наукова новизна статті** полягає у тому, що вперше на основі аналізу та теоретичних узагальнень розроблено інформаційно-логічну концепцію комплексної системи моніторингу довкілля.

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

Результати представлені у статті дозволяють систематизувати наукові уявлення щодо концепції комплексної систем моніторингу довкілля, що дозволить підвищити оперативність прийняття управлінських рішень та поліпшити ефективність роботи ДСМД на усіх рівнях.

**Викладення основного матеріалу.** Жодна екосистема не є замкнутою екологічною системою, оскільки вона обмінюється матеріалами та енергією зі своїм оточенням. У зв'язку з цим існує необхідність істотно розширити рамки оцінки якості довкілля з метою вивчення зв'язків та взаємодії в рамках екосистем. Завдання полягає в отриманні об'єктивної інформації про природне середовище і характер антропогенних впливів на нього, що вимагає постійного спостереження й контролю за станом всіх об'єктів довкілля. Це можливо реалізувати на практиці тільки шляхом застосування комплексного підходу до моніторингу довкілля.

Комплексний підхід передбачає також відмову від використання застосовуваного раніше підходу, в рамках якого основна увага приділялася локалізованому об'єкту впливу та ізольованому управлінню окремими компонентами довкілля. Оцінки слід засновувати в максимально можливій мірі на комплексних кількісних і якісних показниках, а також характеристиках флори і фауни. Щоб забезпечити основу для таких оцінок, слід систематично аналізувати якість довкілля, а також джерела і еволюцію забруднювачів. Найбільш універсальним для цього є комплексний екологічний моніторинг довкілля.

Комплексний моніторинг довкілля – це циклічно організована система збору, обробки та використання інформації про зміну факторів і умов стійкості, складу, властивостей, структури та функ-

ціонування геосистем при різних антропогенних впливах, що має контрольні, прогнозно-діагностичні та управлінські цілі.

Комплексний моніторинг – вищий ієрархічний рівень серед інших видів моніторингу і спрямований на вирішення проблем екологічного характеру (оцінка забруднення природного середовища, раціональне природокористування, попередження надзвичайних ситуацій природного характеру та ін.).

Основні цілі комплексного екологічного моніторингу полягають у тому, щоб на підставі отриманої інформації:

1) оцінити показники стану та функціональної цілісності екосистем і місця існування людини (тобто провести оцінку дотримання екологічних нормативів);

2) виявити причини зміни цих показників та оцінити наслідки таких змін, а також визначити коригувальні заходи в тих випадках, коли цільові показники екологічних умов не досягаються (тобто провести діагностику стану екосистем та місця існування);

3) створити передумови для визначення заходів щодо виправлення негативних ситуацій, що виникають до того, як буде завдано збитків, тобто забезпечити завчасне попередження негативних ситуацій [2].

Але у чому саме полягає комплексність цієї системи?

Термін «комплексність» походить від слова complex і складається з двох латинських коренів com («разом») і plex («сплетений»). Комплексність – повнота, системність, взаємозв'язок аналізу, планування, управління. Комплексні системи характеризуються своїми взаємозалежностями, а складні системи шарами та рівнями. Поняття комплексність використовується для опису систем з багатьох елементів, які у різний спосіб взаємодіючи призводять до виникнення чогось, що є більшим ніж сума окремих частин [3].

Комплексність щодо моніторингу довкілля полягає у створенні єдиної геоінформаційної системи оцінки, моделювання та прогнозування стану довкілля, яка базується на основі єдиної системи координат, баз даних, що мають єдину організацію, структуру та є сховищем всієї інформації про аналізовані об'єкти, на наборі програмних модулів для отримання оцінок по раніше розробленим алгоритмам.

Загальна класифікація систем моніторингу може ґрунтуватися на об'єктах спостереження, чинниках впливу, методах спостереження тощо.

За схожими ознаками можна класифікувати комплексність систем моніторингу довкілля по: об'єктах довкілля, суб'єктами моніторингу довкілля, ступеню автоматизації та «ручного моніторингу», сукупності автоматичних приладів спостереження, по ступеню об'єднання з єдиним інформаційним центром.

**Об'єктах довкілля:**

1) атмосферного повітря – система спостереження за якістю атмосферного повітря, кількістю і складом шкідливих речовин, що містяться в ньому і надаються на нього антропогенним впливом шляхом викидів від стаціонарних та пересувних джерел;

2) водних ресурсів – спостереження за якістю поверхневих вод, складом забруднюючих речовин, що містяться в них, складом та кількістю зворотних вод, що потрапляють у водні об'єкти, здійснюється хімічними і біологічними (по водній флорі та фауні) методами за допомогою проб, що відбираються періодично;

3) землі (грунтів) – система базових, періодичних та оперативних спостережень за станом всіх земель України з метою виявлення змін, їх оцінки, прогнозу й вироблення рекомендацій щодо запобігання та усунення наслідків негативних процесів, інформаційного забезпечення органів управління земельними ресурсами, а також власників земельних ділянок;

4) біорізноманіття – державна система регулярних спостережень за поширеністю, чисельністю, видовим складом об'єктів тваринного та рослинного світу, станом середовища їх існування, в тому числі за міграційними шляхами, іншими факторами з метою збереження біорізноманіття, науково обґрунтованого використання та охорони тваринного світу, запобігання епізоотії (поширення інфекційної хвороби тварин, що значно перевищує звичайний рівень захворюваності на даній території) та інших негативних наслідків;

5) радіаційний моніторинг для визначення рівнів радіоактивності об'єктів довкілля іонізуючого випромінювання, кількості і складу радіоактивних опадів;

6) До групи об'єктів довкілля можливо додати небезпечних відходів з метою визначення та прогнозування впливу відходів на довкілля, своєчасного виявлення негативних наслідків, їх відвернення та подолання виробниками відходів, їх власники, а також центральний орган виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері охорони довкілля, здійснюють моніторинг місць утворення, зберігання і видалення відходів [4].

Створені на основі цієї концепції комплексні системи екологічного моніторингу повинні мати єдину систему показників, єдине районування територій, єдність в періодичності відстежуючи тощо, що зробить можливим прийняття адекватних заходів при управлінні розвитком та екологічним станом територій.

**Суб'єктах моніторингу довкілля:**

Міндовкілля – грунтів на природоохоронних територіях (вміст ЗР, у тому числі радіонуклідів); державного екологічного картування території України для оцінки його стану та його змін під впливом господарської діяльності; наземних екосистем (фонова кількість ЗР, у тому числі радіонуклідів);

видів рослинного і тваринного світу, що перебувають під загрозою зникнення, та видів, що перебувають під особливою охороною;

ДСНС (на пунктах державної системи гідрометеорологічних спостережень) – вмісту радіонуклідів в атмосферному повітрі, транскордонного перенесення забруднювальних речовин; снігового покриву; ґрунтів різного призначення (вміст залишкової кількості пестицидів та важких металів); радіаційної обстановки (визначення експозиційної дози гамма-випромінювання); повеней, паводків, снігових лавин, селів;

ДАЗВ (у зоні відчуження і відселеній частині зони безумовного (обов'язкового) відселення) – вмісту радіонуклідів в атмосферному повітрі; наземних екосистем (біоіндикаторні визначення); ґрунтів і ландшафтів (вміст ЗР, радіонуклідів, просторове поширення); джерел викидів в атмосферу (вміст ЗР, обсяги викидів); об'єктів зберігання та/або захоронення радіоактивних відходів (вміст радіонуклідів, радіаційна обстановка);

Мінагрополітики – ґрунтів сільськогосподарського використання (радіологічні, агрохімічні та токсикологічні визначення, залишкова кількість пестицидів, агрохімікатів і важких металів); сільськогосподарських рослин і продуктів з них (токсикологічні та радіологічні визначення, залишкова кількість пестицидів, агрохімікатів і важких металів); сільськогосподарських тварин і продуктів з них (зоотехнічні, токсикологічні та радіологічні визначення, залишкова кількість пестицидів, агрохімікатів і важких металів)

Держлісагентство – ґрунтів земель лісового фонду (радіологічні визначення, залишкова кількість пестицидів, агрохімікатів і важких металів); лісової рослинності (стан, продуктивність, пошкодження біотичними та абіотичними чинниками, біорізноманіття, радіологічні визначення); мисливської фауни (видові, кількісні та просторові характеристики);

Держводагентство – якості вод водогосподарських систем міжгалузевого та сільськогосподарського водопостачання; водних об'єктів за радіологічними показниками на територіях, що зазнали радіоактивного забруднення; на транскордонних ділянках водотоків, визначених відповідно до міждержавних угод про співробітництво на транскордонних водних об'єктах; зрошуваних та осушуваних земель (глибина залягання та мінералізація ґрунтових вод, ступінь засоленості та солонцюватості ґрунтів); підтоплення сільських, селищних населених пунктів, прибережних зон водосховищ (переформування берегів і підтоплення територій);

Держгеокадастр – ґрунтів і ландшафтів (вміст ЗР, прояви ерозійних та інших екзогенних процесів, просторове забруднення земель об'єктами промислового і сільськогосподарського виробництва); зрошуваних і осушених земель (вторинне підтоплення і засолення тощо); берегових ліній річок, морів, озер,



водосховищ, лиманів, заток, гідротехнічних споруд (динаміка змін, ушкодження земельних ресурсів);

Мінрегіон – питної води централізованих систем водопостачання (вміст ЗР, обсяги споживання); стічних вод міської каналізаційної мережі та очисних споруд (вміст ЗР, обсяги надходження); зелених насаджень у містах і селищах міського типу (ступінь пошкодження ентомошкідниками, фітозахворюваннями тощо); підтоплення міст і селищ міського типу (небезпечне підняття рівня ґрунтових вод);

Держгеонадра – підземних вод (ресурси та використання); ендегенних та екзогенних процесів (видові і просторові характеристики, активність прояву); геофізичних полів (фонові та аномальні визначення); геохімічного стану ландшафтів (вміст і поширення природних і техногенних хімічних елементів і сполук);

ДКА – стану територій за даними дистанційного зондування Землі (відстеження теплових аномалій, паводкової та повеневої обстановки, льодової обстановки); сейсмічної обстановки та інших геофізичних явищ на території України та всієї Земної кулі; радіаційної обстановки в пунктах дислокації підрозділів спеціального контролю; космічної обстановки в навколосезонному просторі (визначення місця падіння космічних апаратів, ракетноносіїв та їх частин) [5].

Кожний із суб'єктів ДСМД здійснює моніторинг тих об'єктів довкілля, що визначаються Положенням про державну систему моніторингу довкілля та порядками і положеннями про державний моніторинг окремих складових довкілля [6].

#### **Ступеню автоматизації та «ручного моніторингу»**

Залежно від ступеня автоматизації процесів спостереження системи моніторингу довкілля визначаються як ручні, автоматизовані, автоматичні. Ручні СМ характеризуються практично відсутністю сучасних технічних засобів отримання та переробки інформації й виконанням всіх операцій людиною. Автоматизовані СМ припускають участь в процесі отримання та обробки необхідної інформації і людини, і технічних засобів, причому головна роль відводиться саме технічним засобам збору та обробки інформації. Автоматизовані СМ, враховуючи їх широке використання в організації моніторингу довкілля, мають різні модифікації і можуть бути класифіковані, наприклад, за характером використання інформації і за сферою застосування. Автоматичні СМ виконують всі операції по переробці інформації без участі людини, за допомогою сучасних досягнень науки та техніки [7].

Сьогодні створено безліч технологій та приладів, що дозволяють проводити моніторинг об'єктів довкілля з високою точністю в реальному часі для попередження негативних наслідків антропогенної діяльності. Ці технології засновані на зборі даних від вимірвальних приладів (сенсорів). Відомості

від всіх сенсорів передаються в єдину базу даних й спільно обробляються. Працюючи в автоматичному режимі система дозволяє виконувати цикли вимірювань з високою швидкістю та виключати помилки, пов'язані з людським фактором. Проміжки між циклами вимірів можуть становити від декількох хвилин або годин до місяців і років. У списку завдань, які вирішує людина, залишаються якісний аналіз зібраних результатів, вибір необхідних засобів спостережень, їх розташування та з'єднання в загальну мережу. Маючи постійно оновлювані параметри об'єкта, що спостерігається, люди вже можуть з високим ступенем вірогідності прогнозувати стан об'єкта, запобігати негативних наслідків або розраховувати економічні показники наслідків подій.

#### **Сукупності приладів спостереження**

Прилади екологічного контролю призначені для виявлення зміни забруднюючих речовин в природі. Розрізняють декілька типів приладів спостереження:

1) Вимірвальні – призначені для реєстрації концентрацій забруднюючих речовин з необхідною точністю і метеорологічних параметрів за встановленою програмою або регулярного відбору проб для подальшого аналізу. Використовуються для отримання інформації про середньомісячну, сезонну, річну, максимально разові концентрації, ймовірність виникнення концентрацій, що перевищують ГДК, та ін. Дані таких спостережень використовуються для розрахунку параметрів, що характеризують ступінь забруднення природного середовища, та інтерпретації їх динаміки. Разом з тим вони також є самостійними характеристиками стану природного середовища.

Вимірвальні-індикативні – виконують ті ж завдання, що і вимірвальні, але з меншою точністю.

2) Індикативні – засоби вимірювань з ненормованими характеристиками, які використовуються для спостереження за зміною характеристик довкілля без оцінки їх значень в одиницях виміру з нормованою точністю. При екологічному моніторингу індикативні прилади часто дають більш цінну інформацію, ніж пряма оцінка забруднення іншими приладами, бо вони реагують відразу на весь комплекс забруднень. Індикатори можуть входити до складу більш складних аналітичних приладів, що забезпечують аналіз складних багатокомпонентних сумішей. Особливу увагу приділяють також біологічними індикаторам. Біологічні індикатори – організми, які реагують на зміни навколишнього середовища своєю присутністю або відсутністю, зміною зовнішнього вигляду, хімічного складу, поведінки. Застосування індикаторів для контролю якості довкілля заощаджує час та прискорює процес моніторингу, але дозволяє лише сигналізувати про зміни, кількісні ж характеристики цих змін визначаються за допомогою інших приладів.

3) Переносні – призначені для регулярного відбору проб в тому випадку, коли неможливо (недо-

цільно) встановити пост або необхідно більш детально вивчити стан забруднення довкілля в окремих районах. Використовуються в місцях, обраних з урахуванням обов'язкового попереднього дослідження забруднення повітряного середовища, а також з урахуванням вивчення метеорологічних умов розсіювання ЗР шляхом епізодичних спостережень та розрахунків полів максимальних концентрацій ЗР. Моніторинг за допомогою переносних приладів має ряд переваг, він завжди надійний і точний у своїх результатах, майже не допускає помилок, оперативний у своїй роботі.

Спостереження за рівнем забруднення довкілля виробляються за допомогою постів спостереження за станом довкілля, що представляє собою заздалегідь вибране для цієї мети місце (точку місцевості), на якому розміщується павільйон або автомобіль, обладнаний відповідними приладами й правильна комбінація приладів різного призначення у складі таких постів дозволить проводити комплексні спостереження найкращим чином.

#### Ступеню об'єднання з єдиним інформаційним центром

На даний момент загальноприйняте предметне визначення багаторівневої системи моніторингу. В залежності від охоплення території, деталізації спостереження виділяють та ступеню об'єднання з єдиним інформаційним центром виділяють системи:

1) Глобального моніторингу – здійснюється відповідно до міжнародних угод системою станцій спостереження, розташованих в різних точках Землі, шляхом обміну отриманих різними державами даних з метою спостереження за станом навколишнього середовища, що відбуваються в ній змінами, в тому числі змінами клімату, створення системи даних, їх поширення, прогнозу розвитку властивостей навколишнього середовища та їх впливу на людину.

2) Національного (державний) моніторингу – здійснюється на державному рівні, при цьому не проводяться самостійні спостереження, а використовується відомча інформація та інформація систем регіонального моніторингу, яка зберігається у спеціальних базах даних і регулюється єдиним державним інформаційним центром. Національний моніторинг призначений для контролю національних зобов'язань по охороні навколишнього середовища та реалізації програми збереження навколишнього середовища на національному рівні.

3) Регіонального моніторингу – організовується на території окремої області та передбачає організацію міжвідомчого контролю за станом навколишнього середовища, але залишається частиною державного моніторингу. З цією метою вся його територія розбивається на полігони, на яких відбираються проби повітря, води, ґрунту тощо та проводиться оцінка зміни забруднення (динаміка забруднення) навколишнього середовища в часі.

Крім того, регіональний моніторинг використовує дані локального моніторингу. Результати зазвичай використовуються для обґрунтування розміщення промислових підприємств на відповідних територіях. Інформаційне забезпечення цього виду моніторингу ґрунтується на створенні відповідних баз даних для кожного регіону й з інформації представленої в них складаються вже загальнодержавні бази даних.

4) Локального моніторингу – це система спостережень за параметрами навколишнього середовища в зоні дії конкретного промислового чи іншого господарчого об'єкта. Локальний моніторинг є найпоширенішим видом екологічного спостереження. Звіти про результати таких спостережень направляються до регіональних відомчих органів відповідно до прийнятої форми звітності та подачі документів і після цього стають частиною інформації регіональної системи моніторингу.

Для організації комплексної системи моніторингу довкілля необхідно:

– виявлення масиву параметрів, здатних об'єктивно відобразити поточний стан геосистем;

– розробка стратегії і тактики отримання, передачі, оперативної обробки і зберігання отриманої інформації режимних спостережень;

– формування масиву вихідної інформації згідно з цілями використання отриманих даних (обґрунтування і рекомендації по управляючим впливам на геосистему, карти ризику та ін.).

Основні завдання комплексного моніторингу щодо:

1) джерел забруднення – контроль, оцінка та прогноз наслідків антропогенних впливів шляхом встановлення кількості і складу викидів (відходів), що дозволяє визначати їх структуру за певний часовий інтервал.

2) природного середовища – оцінка та прогноз трансформацій природного середовища, акумуляції і трансгресії природних, антропогенних гео- і гідрохімічних характеристик в кліматичних, геоструктурних регіонах, областях, зонах, природно-територіальних комплексах тощо. Необхідною умовою є виділення просторових меж однорідних за комплексом ознак.

3) Для оцінки сталого функціонування територій з певним типом організації і характером техногенних трансформацій.

4) Для біологічного середовища – стеження за станом і зміною біологічних об'єктів в певній геосистемі (тварини, рослини, люди) і окремих біосистем.

Результати комплексного моніторингу – базові документи для розробки екологічних програм, проєктів комплексного господарського розвитку територій, проведення процедур екологічного аудиту, схем і проєктів інженерного захисту територій.

Комплексний моніторинг – інструмент отримання і обробки інформації екологічного характеру,

що дозволяє обґрунтувати ефективні рішення щодо забезпечення безпеки територій, об'єктів та населення від надзвичайних ситуацій природного характеру [8].

**Висновки.** Для розробки заходів, спрямованих на усунення негативних наслідків втручання людини у навколишнє природне середовище і поліпшення екологічної ситуації, застосування методів оптимізації природокористування при одночасному збереженні довкілля необхідне постійне удосконалення екологічного моніторингу. Актуальність і невідкладність вирішення проблем моніторингових досліджень полягають у створенні систем екологічного моніторингу, які базуються на принципах комплексного підходу та на основі яких можна буде приймати ефективні рішення щодо зменшення забруднення на усіх рівнях, що в свою чергу матиме відповідні результати на загальнодержавному рівні.

Комплексність системи моніторингу довкілля складається з:

- комплексності моніторингу об'єктів довкілля;
- комплексності суб'єктів моніторингу довкілля;

- комплексності автоматизованого та ручного моніторингу;
- сукупності приладів спостереження;
- комплексності за ступенем об'єднання з єдиним інформаційним центром.

Комплексний підхід до моніторингу довкілля сприятиме поліпшенню стану навколишнього природного середовища шляхом підвищення ефективності використання та зміцнення існуючого потенціалу служб спостережень, суб'єктів системи моніторингу на основі задіяння нормативно-правових, економічних, фінансових, науково-експертних, інформаційно-освітніх та інших засобів, впровадження сучасних технологій, застосування засобів вимірювальної техніки, уніфікованих методик вимірювання, оптимізації показників спостережень і створення на їх основі єдиної мережі спостережень.

**Перспективи використання результатів дослідження.** На засаді розроблених принципів, формалізації та систематизації даних планується створити базову структуру комплексної системи моніторингу довкілля для регіонів України.

### Література

1. Концепція Державної програми проведення моніторингу навколишнього природного середовища: Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України № 992-р від 31 грудня 2004 р. *Єдиний веб портал органів виконавчої влади України*. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/10717911> (дата звернення: 23.09.2022).
2. Комплексний екологічний моніторинг. *Файловий архів студентів*. URL: <https://studfile.net/preview/5060816/page:4/> (дата звернення: 13.10.2022).
3. Комплексність. *Онлайн енциклопедія*. URL: <https://www.wikiwand.com/uk/Комплексність> (дата звернення: 19.10.2022)
4. Класифікація екологічного моніторингу. *Навчальні матеріали для студентів*. URL: [https://studme.org/270682/ekologiya/klassifikatsiya\\_ekologicheskogo\\_monitoringa](https://studme.org/270682/ekologiya/klassifikatsiya_ekologicheskogo_monitoringa) (дата звернення: 11.11.2022).
5. Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля. *Постанова Кабінету Міністрів України № 391 від 30.03.1998*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/391-98-%D0%BF#Text> (дата звернення: 21.11.2022).
6. Становлення моніторингу довкілля в Україні. *Миколаївський національний аграрний університет*. URL: [http://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/7058/1/ychast\\_conf\\_2020-28.pdf](http://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/7058/1/ychast_conf_2020-28.pdf) (дата звернення: 29.11.2022).
7. Класифікація інформаційних систем. *Навчально-науковий центр інформаційного права та правових питань інформаційних технологій ФСП НТУУ "КПІ"*. URL: <http://ippi.org.ua/sites/default/files/yudkova.pdf> (дата звернення: 01.12.2022).
8. Принципи та методи геосистемного моніторингу. М., 1989; Комплексний моніторинг та практика. М., 1991.

## ПОШИРЕНІСТЬ ХІТИНАЗ GH19 У СТРЕПТОМІЦЕТІВ З *STREPTOMYCES GRISEUS* КЛАДИ ТА ВІДМІННОСТІ ЇХ ОРГАНІЗАЦІЙ

Поліщук Л.В.

Інститут мікробіології і вірусології НАН України

вул. Заболотного, 154, 03143, м. Київ

LVPolishchuk@ukr.net

Хітин – одна з найбільш поширених органічних сполук в природі. Однак не спостерігається значного його накопичення, завдяки деструкції хітиназами головним чином. Хітинолітичні ферменти вважають можливою заміною синтетичним пестицидами, гербіцидами, інсектицидами і фунгіцидами. Наприклад хітинази стрептоміцетів з родини GH19 є перспективними фунгіцидами. Штам *Streptomyces griseus* HUT 6037 є першим стрептоміцетом, у якого виявлено хітиназу GH19. Метою нашої роботи було визначити поширеність в геномах стрептоміцетів з *S. griseus* клади генів, що детермінують хітинази GH19 та визначити відмінності молекулярної організації вказаних ензимів. Встановлено, що в геномах стрептоміцетів з *S. griseus* групи здебільше присутні по 2 *chi*-гени, що детермінують хітинази з родини GH19. Як правило, хітинази стрептоміцетів з *S. griseus* групи містять домен зв'язування хітину. Показано, що в хітиназах GH19 стрептоміцети з *S. griseus* групи присутні ChtBD3 трьох різних моделей. Встановлено, що у організмів з досліджуваної вибірки стрептоміцетів хітинази з доменами моделей CDD:213175 та CDD:213178 значно поширеніші ніж ферменти з доменами моделей CDD:444668. Встановлено, що будова доменів зв'язування хітиназ може слугувати додатковим показником визначення генетичної спорідненості стрептоміцетів. Показники ідентичності більшості 16S рРНК генів штамів стрептоміцетів досліджуваної вибірки були вищими потрібного мінімуму – 98,7%. Однак показники ідентичності нижчі мінімального значення були виявлені у ряду штамів виду *S. griseus* (NCTC7807 (I=96,6), WC 3645 (I=97,4%), NRRL B-2621 (I=97,6%)). Як повідомлено вище, у цих стрептоміцетів було виявлено певні відмінності в наявності чи будові хітиназ (зокрема доменів зв'язування). Показано, що штами стрептоміцетів *S. griseus* групи є перспективними джерелами хітинолітичних ензимів з різною організацією молекул. *Ключові слова:* стрептоміцет, *chi*-ген, ідентичність, хітиназа, ідентичність.

**Prevalence of chitinases GH19 in streptomycetes from *Streptomyces griseus* clades and differences in their organizations. Polishchuk L.**

Chitin is one of the most common organic compounds in nature. However, no significant accumulation of it is observed, mainly due to destruction by chitinases. Chitinolytic enzymes are considered a possible replacement for synthetic pesticides, herbicides, insecticides and fungicides. For example, streptomycete chitinases from the GH19 family are promising fungicides. The strain *Streptomyces griseus* HUT 6037 is the first streptomycete in which GH19 chitinase was identified. The aim of our work was to determine the prevalence in the genomes of streptomycetes from *S. griseus* of the clade of genes that determine GH19 chitinases and to determine differences in the molecular organization of these enzymes. It was established that in the genomes of streptomycetes from the *S. griseus* group there are mostly 2 *chi*-genes that determine chitinases from the GH19 family. As a rule, chitinases of streptomycetes from the *S. griseus* group contain a chitin-binding domain. It was shown that ChtBD3 of three different models are present in GH19 chitinases of streptomycetes from the *S. griseus* group. It was established that chitinases with domains of models CDD:213175 and CDD:213178 are much more common in organisms from the studied sample of streptomycetes than enzymes with domains of model CDD:444668. It was established that the structure of chitinases binding domains can serve as an additional indicator for determining the genetic kinship of streptomycetes. Indicators of identity of the majority of 16S rRNA genes of streptomycete of the studied set off strains were higher than the required minimum – 98.7%. However, identity values lower than the minimum value were found in a number of strains of the *S. griseus* species (NCTC7807 (I=96.6), WC 3645 (I=97.4%), NRRL B-2621 (I=97.6%)). As reported above, certain differences in the presence or structure of chitinases (in particular binding domains) were revealed in these streptomycetes. It is shown that strains of streptomycetes of the *S. griseus* group are promising sources of chitinolytic enzymes with different molecular organization. *Key words:* streptomycete, *chi*-gene, identity, chitinase.

**Постановка проблеми.** Хітин – другий за поширеністю (після целюлози) природний полісахарид. Він є основним компонентом екзоскелету членистоногих, міститься в клітинних стінках грибів. Також хітин утворюється в організмах багатьох інших тварин — різноманітних безхребетних, кишковопорожнинних та ін тварин. Хітин синтезується більш ніж по 10 гігатон у рік. Однак, завдяки його ефективній

деградації, не спостерігається катастрофічного накопичення хітину в природі. Ензими, що ферментують хітин виявлені у організмів, як синтезуючих сполуку, так і у мікроорганізмів, рослин та тварин, які не синтезують хітин [1]. Однак вважають, що основними деструкторами хітину в природі є бактерії – встановлено, що у ґрунтах активність гідролізу хітинів корелює з чисельністю в них бактерій [1, 2].

Мікробні хітинази руйнують стінки клітин багатьох шкідників і патогенів, тим самим проявляють антибактеріальну, антифунгальну, інсектицидну та антигельмінтну активність [3]. Хітинолітичні ферменти – це можливе рішення подолання небезпеки для навколишнього середовища та здоров'я людей, що є результатом застосування синтетичних пестицидів, гербіцидів, інсектицидів і фунгіцидів [4]. Доведено, що препарати хітиназ *S. grimosus* та *S. viridificans* мають протигрибкову властивість *in vitro* проти фітопатогенів *Alternaria*, *Rhizoctonia*, *Colletotrichum*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Sclerotinia*, *Curvularia* та *Pythium* [5,6].

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Хітиназа C (ChiC) *Streptomyces griseus* HUT6037, яка описана в 1996 році, є першою з родини GH19 хітиназ зі знайдених в організмі, відмінному від вищих рослин [7]. Вивчена не тільки первинна та третинна структури молекули хітинази ChiC *S. griseus* HUT6037 (BAA23739.1, 294 а.к.), її каталітична активність, так і нуклеотидна послідовність та організація chiC-гену (посилання AV009289.1, 264 п.н – 1148 п.н.).

Вид *S. griseus* відносять до *S. griseus* клади (таксономічної групи найнижчої ієрархії стрептоміцетів), яка є найчисельнішою та найкраще вивченою групою стрептоміцетів. Метою нашої роботи було визначити поширеність в геномах стрептоміцетів з *S. griseus* клади генів, що детермінують хітинази GH19 та визначити відмінності молекулярної організації вказаних ферментів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Хітинолітичні ферменти належать до різних підродин 2 родин глікозил гідролаз (GH18 і GH19) і відрізняються не тільки амінокислотною послідовністю, але й третинною структурою. Оскільки ферменти з родин GH18 і GH19 не мають схожості амінокислотних послідовностей, 3D-структур або механізмів дії, вважають що вони виникли та еволюціонували незалежно [8]. Повідомляється, що низка актиноміцетів містять хітинази з обох родин [9, 10]

одночасно. Однак повідомляють, що саме хітинази родини GH19 мають більшу, ніж хітинази родини GH18, мають антифунгальну активність [9].

Базуючись на результатах аналізу первинних структур, доведено, що хітинази родини GH19 в актинобактеріях подібні хітиназам IV класу GH рослин. Як вважають, вони виникли як рослинні хітинази, а бактерії отримали їх в наслідок горизонтальної передачі генів [11]. Встановлено, що початково предок *Streptomyces* отримав хітиназу від рослин, а надалі став джерелом генів для інших мікроорганізмів [12, 13]. Однак хітинолітичні ензими представників роду *Streptomyces* вивчені найбільше. Була продемонстрована загальна поширеність хітиназ родини GH19 у низки видів стрептоміцетів (*S. griseus* HUT 6073, *S. coelicolor* A3(2), *S. lividans* 66, *S. scabies* MAFF4018, *S. plicatus* ATCC 2548 та багатьох інших) [13]. Хітинази штаму *S. coelicolor* A3(2) (особливо *chiG* та *chiF* з родини GH19) є найбільш ретельно вивченими хітиназами стрептоміцетів. Встановлено, що організація молекул (схема А) хітиназ *ChiC S. griseus* HUT 6073 та *ChiF S. coelicolor* A3(2) тотожні (рис. 1).

Новизна. Визначалася поширеність в геномах стрептоміцетів з *S. griseus* групи генів, що кодують хітинази GH19 та встановлена відмінність організації молекул ферментів. Показана, що в молекулах хітиназ GH19 стрептоміцетів з *S. griseus* групи присутні ChtBD3 різних моделей (CDD:444668, CDD:213175, CDD:213178). На прикладі мікроорганізмів членів *S. griseus* групи показано, що

що будова доменів зв'язування хітиназ може слугувати додатковим показником визначення генетичної спорідненості стрептоміцетів.

Методологічне або загальнонаукове значення. В результаті аналізу отриманих даних було виявлено ряд тенденцій, що мають загальнонаукове значення. Встановлено, що хітинази GH19 досліджених стрептоміцетів з *S. griseus* групи в переважній більшості мають однакову організацію молекул – схема А (рис. 1). Доведено, що в хітиназах GH19 стрептоміцетів з *S. griseus* групи присутні ChtBD3 трьох різ-

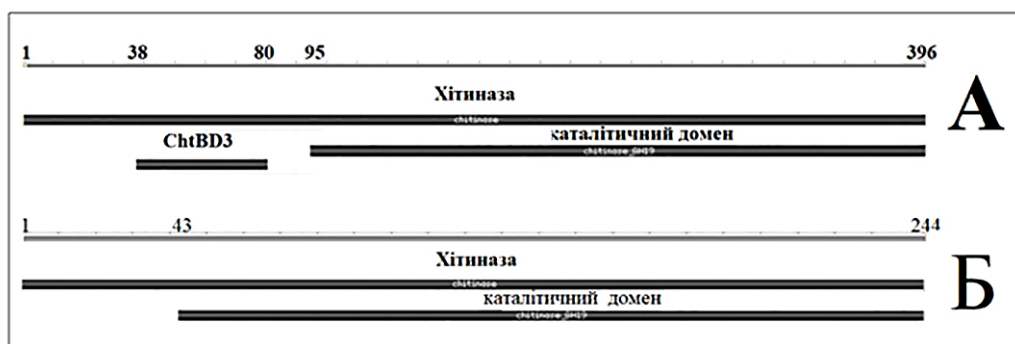


Рис. 1. Організація хітиназ GH19 стрептоміцетів. Схема А – хітинази ChiC та ChiF, схема Б – хітиназа ChiG. Домени: ChtBD3 – N-кінцевий домен зв'язування з хітином, каталітичний домен – C-кінцевий домен, що здійснює деградацію хітину

них моделей. Встановлено, що у організмів з досліджуваної вибірки хітинази з доменами моделей CDD:213175 та CDD:213178 значно поширеніші ніж ферменти з доменами моделей CDD:444668.

**Викладення основного матеріалу.** Найбільш відомими та дослідженими хітиназами з родини GH19 є хітинази ChiC (*S. griseus* HUT 6037), ChiF і ChiG (*S. coelicolor* A3(2)) (Таблиця 1). Хітинази ChiC (BAA23739.1, GenBank) та ChiF (WP\_011031550.1) складаються з N-кінцевого домену, що зв'язується з хітином надродини хітин/целюлозо зв'язуючих доменів хітиназ та пов'язаних ферментів (ChtBD3 – Chitin-binding domain type 3) та C-кінцевого каталітичного домену, що здійснює деградацію хітину (схема А – рис. 1). В ензимі ChiG (WP\_011027151.1) відсутній домен ChtBD3 (схема Б – рис. 1). Як відомо, наявність ChtBD3 в будові хітиназ не є обов'язковим для проходження гідролізу хітину. Однак його присутність покращує та оптимізує приєднання субстрату і, таким чином, сприяє його ферментації [12]. Для аналізу подібності та відмінності організації хітиназ необхідно було визначити подібність первинних структур не тільки ферментів, але й їх окремих доменів (табл. 1).

Було виявлено, що амінокислотні послідовності хітиназ ChiF та ChiC мають високі показники подібності (Qc – покриття (Query coverage), I – ідентичність (Identity), P – допустимість (Positive)). Однак не виявлено подібності послідовностей доменів зв'язування цих хітиназ.

Відповідно анотаціям ферментів а базі даних GenBank, домен зв'язування хітинази відрізняються моделями будови – хітиназа ChiF має ідентифікатор (модель) CDD:444668, а домен хітинази ChiC – модель CDD:213175. В зв'язку з тим, що головну відмінність хітиназних генів становить саме послідовність ChtBD3, було вирішено встановити моделі доменів зв'язування генетично споріднених стрептоміцетів з повністю секвенованими геномами на прикладі стрептоміцетів *S. griseus* групи.

В базу даних RefGenome\_Database внесено майже 1,5 мільйона нуклеотидних послідовностей стрептоміцетів 23049 видів з родини *Streptomycetaceae*. Депоновано послідовності як цілих хромосом і плазмід, так і контигів, генів, фрагментів окре-

мих генів. Наприклад внесена як послідовність хромосоми *Streptomyces* sp. G1 (14,2 М.п.н. – NZ\_JAMOZA0000000.1), плазміди p1 *Streptomyces* sp. BHT-5-2 (2,8 М.п.н. – NZ\_CP081497.1), так і структура термінального повтору плазміди SCP1 *S. coelicolor* A3(2) (60 п.н. – S38797.1).

Як відомо, *S. griseus* клади є однією з найчисленніших груп та найбільш всебічно досліджених груп стрептоміцетів. Стрептоміцети цієї класифікації розподіляються на 5 субгруп. В базі даних представлено секвенси майже сотні штамів з *S. griseus* групи. В базах даних GenBank представлено інформацію про первинну структуру цілих геномів стрептоміцетів цієї класифікації, хромосом, плазмід, контигів, скафолдів, генів та інших фрагментів – загалом понад 33 тисячі послідовностей. Однак тільки незначна частина секвенованих геномів визначена повністю (complete genome, chromosome) – *S. griseus* ATCC13273 (NZ\_CP032543.1), *S. griseus* NBRC13350 (NC\_010572.1), *S. anulatus* VUW1 (NZ\_CP080029.1), *S. anulatus* ATCC11523 (NZ\_CM003601.1), *S. anulatus* YINM00001 (NZ\_CP086102.1), *S. microflavus* DSM40593 (NC\_021177.1), *S. microflavus* DF (NZ\_CP068598.1), *S. microflavus* NA06532 (NZ\_CP054926.1), *S. globisporus* C-1027 (NZ\_CP013738.1), *S. globisporus* TFH56 (NZ\_CP029361.1), *S. bacillaris* ATCC15855 (NZ\_CP029378.1), *Streptomyces* sp. M54 (NZ\_CP059898.1), *Streptomyces* sp. ACT-1 (NZ\_GL877172.1), *S. griseus* HUT 6037 (AB009289.1)

Було проаналізовано генетичні карти хромосом 13 штамів стрептоміцетів, послідовності яких просеквеновані повністю та визначено наявність генів, які детермінують хітинази з родини GH19 (таблиця 2). Також було визначено моделі доменів зв'язування детермінованих ферментів (таблиця 2).

Завдяки проведеним дослідженням як анотацій геномів мікроорганізмів, так і BLASTN-аналізу їх нуклеотидних послідовностей встановлено, що в хромосомах досліджених стрептоміцетів *S. griseus* класифікації міститься тільки *chi*-гени, що кодуєть глікозидази з родини GH19, які організовані за схемою А (рис. 1).

Крім того, більшість з геномів досліджених стрептоміцетів вибірки містять по 2 *chi*-гени. Винятком є хромосоми 2 штамів виду *S. globisporus*, в яких

Таблиця 1

## Подібність амінокислотних послідовностей гідролаз ChiC і ChiF та кремих їх доменів

Хітиназа (Query Sequence)	Показники подібності послідовностей		
	загальних секвенсів ензимів	окремих їх доменів	
		зв'язування	каталітичних
ChiC, BAA23739.1 * 294 а.к.	ChiF	(Subject Sequences)	
	Qc=99%, I=66%, P=76%	–	Qc=100%, I=80%, P=88%
ChiF, WP_011031550.1 * 296 а.к./	ChiC	(Subject Sequences)	
	Qc=98%, I=66%, P=76%	–	Qc=100%, I=80%, P=87%

Хітиназні гени в геномах стрептоміцетів *S. griseus* клади та їх продукти

Штами стрептоміцетів (Subject Sequence)	Номери посилань у базах даних NCB протейнів та генів, що їх кодують		Моделі доменів зв'язування хітиназ
	chiC гени штаму	Хітинази GH19	
<i>S. griseus</i> ATCC13273	D6270_RS15515, D6270_RS02090	WP_109164876.1 WP_109167043.1	CDD:213178 CDD:213178
<i>S. griseus</i> NBRC13350	SGR_RS16840, SGR_RS16835	WP_003967542.1 WP_003967541.1	CDD:213178 CDD:213175
<i>S. anulatus</i> VUW1	KZO11_RS19420, KZO11_RS19415	WP_219611284.1 WP_219611283.1	CDD:213175 CDD:213178
<i>S. anulatus</i> ATCC11523	J176_RS19770, J176_RS19765	WP_050358467.1 WP_056701873.1	CDD:213175 CDD:213178
<i>S. anulatus</i> YINM00001	LK895_RS17335, LK895_RS17340	WP_047177829.1 WP_275672771.1	CDD:213175 CDD:213178
<i>S. microflavus</i> NAO06532	HUT09_RS15670 HUT09_RS00440	WP_031125405.1 WP_015606590.1	CDD:213178 CDD:213178
<i>S. microflavus</i> DF	IFE09_16055, IFE09_00430	WP_031125405.1 QQZ58031.1	CDD:213178 CDD:213178
<i>S. microflavus</i> DSM40593	SFUL_RS16105, SFLU_RS01090	WP_015609542.1 WP_015606590.1	CDD:213178 CDD:213178
<i>S. globisporus</i> C-1027	WQO_RS18700, WQO_RS31255, WQO_RS18695	WP_010063227.1 WP_010064642.1 WP_010063226.1	CDD:213175 CDD:444668 CDD:213178
<i>S. globisporus</i> TFH56	DIJ69_RS15165, DIJ69_RS02395, DIJ69_RS213170	WP_030812869.1 WP_044369170.1 WP_044374610.1	CDD:213175 CDD:444668 CDD:213175
<i>S. bacillaris</i> ATCC15855	DJ476_RS18720, DJ476_RS00675	WP_112491090.1 WP_103420217.1	CDD:213175 Не досліджено
<i>Streptomyces</i> sp. M54	H3V_RS15275, H3V_RS15280	WP_030113441.1 WP_050493520.1	CDD:213175 CDD:213178
<i>Streptomyces</i> sp. ACT_1	SACT1_RS18020, SACT1_RS18025	WP_003967541.1 WP_003967542.1	CDD:213175 CDD:213178
<i>S. griseus</i> HUT 6037	chiC	BAA23739.1	CDD:213175
<i>S. coelicolor</i> A3(2)	chiF (SCO7263) chiG (SCO0482)	WP_011031550.1 WP_011027151.1	CDD:444668

містяться 3 *chi*-гени. Загалом хітинази стрептоміцетів *S. griseus* клади містять домени зв'язування трьох моделей (CDD:444668, CDD:213175, CDD:213178). Показано, що у стрептоміцетів з досліджуваної вибірки хітинази з доменами моделей CDD:213175 та CDD:213178 значно поширеніші ніж ферменти з доменами моделей CDD:444668.

Проведено визначення подібності амінокислотної структури ChtBD3 хітиназ однієї моделі одного стрептоміцета штамів виду *S. microflavus*. Встановлено, що показники подібності секвенсу ChtBD3 хітиназ штаму *S. microflavus* NAO06522 становлять  $Q_c=95\%$   $I=56\%$   $P=73\%$ , а штаму *S. microflavus* DSM40543 –  $Q_c=99\%$   $I=53\%$   $P=73\%$ . Первинні структури ChtBD3 хітиназ однієї моделі (CDD:444668) різних штамів (*S. coelicolor* A3(2), *S. globisporus* C-1027 та *S. globisporus* TFH56) є майже такими подібними ( $Q_c=97\%$   $I=62\%$   $P=71\%$ ), як і домени моделі CDD:213178 двох хітиназ одного стрептоміцету (штами виду *S. microflavus*).

Як повідомлено вище, тільки для 2 штамів *S. griseus* структура хромосоми визначена повністю

та побудовано генетичні карти/проведено анотацію хромосоми. Крім того, послідовності низки інших штамів представлені у вигляді фрагментів (contig, scaffold) від 3 до 3,5 тисяч. Дослідженням анотацій та первинної послідовності 21 штаму *S. griseus* з неповністю визначеними послідовностями хромосом (whole genome shotgun sequence) встановлено, що в їх хромосомах здебільш присутні одночасно гени, що детермінують хітинази з доменами зв'язування моделей CDD:213175 та CDD:213178 – 18 штамів (як приклади DSM 40236, NCTC 13033, NRRL WC\_3480, 50b). Один штам (S4-7) містить гени, що детермінують хітинази з 3 моделями доменів CDD:213175, CDD:444668 та CDD:213178. У штаму 30 виявлено 2 *chi*-гени, що детермінують хітинази з доменами моделі CDD:213178. У штаму NCTC7807 виявлено 2 хітиназні гени, ензими кодовані якими організовані за різними схемами: один з яких кодує хітиназу з доменом моделі CDD:213178 (схема А), а інший хітиназу без домену зв'язування (схема Б). Однак необхідно зазначити, що в послідовності *S. griseus* NRRL WC\_3645 (9,89 М.п.н) не виявлено *chi*-генів

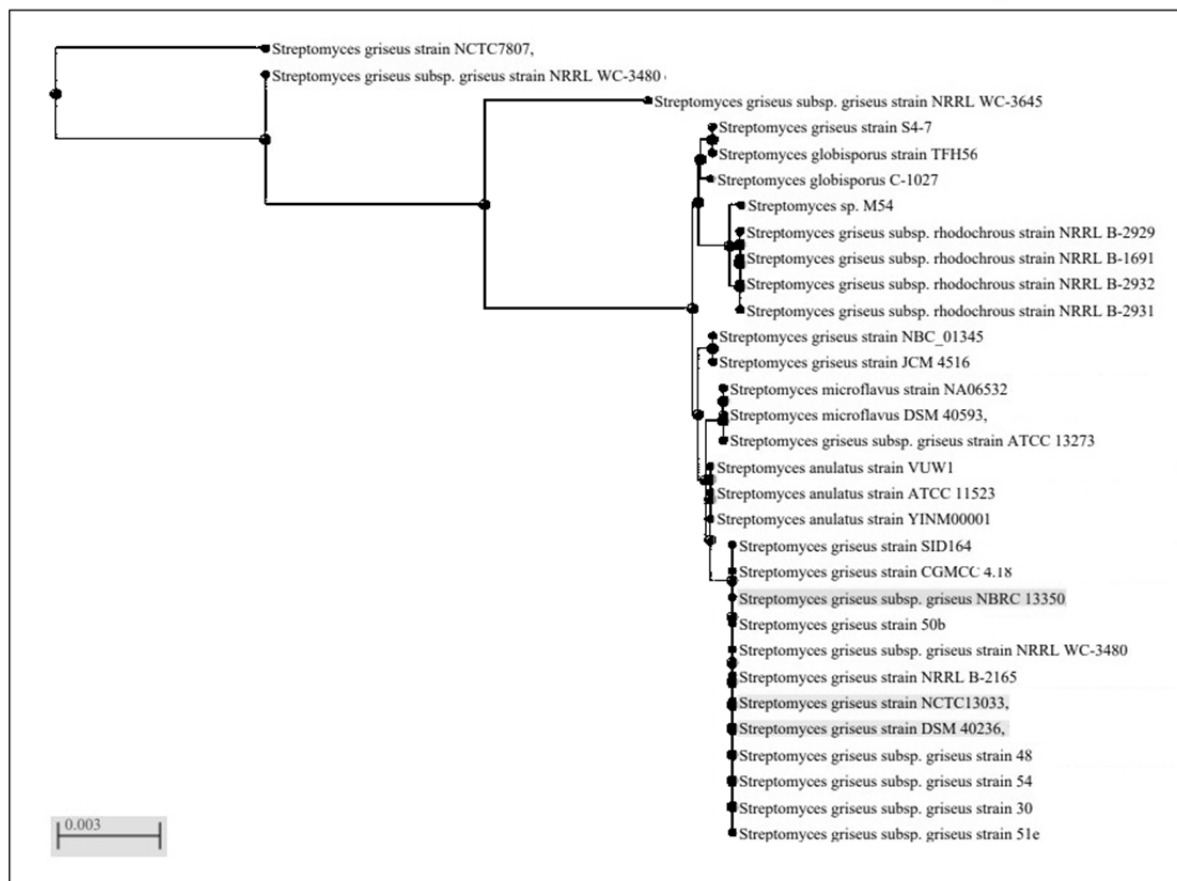


Рис. 2. Дендрограма спорідненості штамів стрептоміцетів, що базується на подібності сіквенсів 16S рРНК генів. Секвенс 16S рРНК *S. griseus* NRRC 12250 – Query Sequence

чи його окремих доменів. Можливо при подальшому секвенуванні генома штаму буде виявлені гени, що детермінують хітинази GH19.

Було побудовано дендрограму спорідненості штамів, що базуються на подібності структур 16S рРНК генів досліджуваних штамів (рис. 2). Як відомо, послідовність цих генів вважається «золотим стандартом спорідненості» стрептоміцетів. Штами стрептоміцетів з однієї класифікації мають показники ідентичності їх 16S рРНК генів понад 98,7% [12, 13]. В якості референсу використовували послідовність гена (SGR\_RS19390) *S. griseus* NRRC 13350.

Показники ідентичності більшості генів штамів стрептоміцетів досліджуваної вибірки були вищими потрібного мінімуму – 98,7%. Однак показники ідентичності нижчі мінімального значення були виявлені у ряду штамів виду *S. griseus* (NCTC7807 (I=96,6), WC 3645 (I=97,4%), NRRL B-2621 (97,6%)). Як повідомлено вище, у цих стрептоміцетів було виявлено певні відмінності в наявності чи будові хітиназ (зокрема доменів зв'язування). Цікаво, що штами *S. griseus* S4-7, *S. globisporus* TFH56 та *S. globisporus* C-1027, в геномах яких виявлено по 3 *chi*-гени утворюють окремий кластер штамів.

**Головні висновки.** В геномах стрептоміцетів з *S. griseus* групи здебільше присутні по 2 *chi*-гени, що детермінують хітинази з родини GH19. Як правило, хітинази стрептоміцетів з *S. griseus* групи містять домен зв'язування хітину. Показано, що в хітиназах GH19 стрептоміцети з *S. griseus* групи присутні ChtBD3 трьох різних моделей. Встановлено, що у організмів з досліджуваної вибірки стрептоміцетів хітинази з доменами моделей CDD:213175 та CDD:213178 значно поширеніші ніж ферменти з доменами моделей CDD:444668. Встановлено, що будова доменів зв'язування хітиназ може слугувати додатковим показником визначення генетичної спорідненості стрептоміцетів.

Перспективи використання результатів дослідження. Показано можливість використання аналізу послідовностей *chi*-генів для класифікації стрептоміцетів (на ряду з традиційними генетичними та фенотиповими характеристиками) завдяки виявленню кореляції їх кількості в геномі та змін організації, детермінованих ними хітиназ. Показано, що штами стрептоміцетів *S. griseus* групи є перспективними джерелами хітинолітичних ензимів з різною організацією молекул.



## Література

1. Veliz E.A, Martínez-Hidalgo P, Hirsch A.M. Chitinase-producing bacteria and their role in biocontrol. *AIMS Microbiology*. 2017. Vol 3, № 3. P. 689–705. DOI: 10.3934/microbiol.2017.3.689
2. Kielak A. M., Cretoiu M. S., Semenov A. V., Sorensen S. J., van Elsas J. D. Bacterial chitinolytic communities respond to chitin and pH alteration in soil. *Applied and Environmental Microbiology*. 2013. Vol. 79, № 1. P. 263–272. DOI:10.1128/AEM.02546\_12
3. Edreva A. Pathogenesis related proteins: research progress in the last 15 years. *General and Applied Plant Physiology*. 2005. Vol. 31. № 1–2. P. 105–124.
4. Esteban A. Veliz E.V., Martínez-Hidalgo P, Hirsch A.M. Chitinase-producing bacteria and their role in biocontrol. *AIMS Microbiology*. 2017, Vol. 3, № 3. P. 689–705. DOI: 10.3934/microbiol.2017.3.689
5. Brzezinska M.S., Jankiewicz U., Walczak M. Biodegradation of chitinous substances and chitinase production by the soil actinomycete *S. rimosus* *International Biodeterioration and Biodegradation*. 2013. № 84. P. 104–110. <http://doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.05.038>
6. Gupta R., Saxena R.K., Chaturvedi P., Viridi J.S. Chitinase production by *S. viridificans*: its potential in fungal cell wall lysis. *The Journal of applied bacteriology*. 1995. Vol. 78. № 4. P. 378–383. DOI: 10.1111/j.1365-2672.1995.tb03421.x
7. Ohno T., Armand S., Hata T., Nikaidou N., Henrissat B., Mitsutomi M., Watanabe T.J. A modular family 19 chitinase found in the prokaryotic organism *Streptomyces griseus* HUT 6037. *Bacteriology*. 1996. Vol. 178. № 17. P. 5065–5070. DOI: 10.1128/jb.178.17.5065-5070.1996
8. Dahiya N., Tewari R., Hoondal G.S. Biotechnological aspects of chitinolytic enzymes: a review. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2006. Vol. 71, № 6. P. 773–782. DOI: 10.1007/s00253-005-0183-7
9. Kawase T., Yokokawa S., Saito A., Fujii T., Nikaidou N., Miyashita K., Watanabe T. Comparison of enzymatic and antifungal properties between family 18 and 19 chitinases from *S. coelicolor* A3(2). *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 2006. Vol. 70. № 4. P. 988–998. DOI: 10.1271/bbb.70.988
10. Watanabe T., Kanai R., Kawase T., Tanabe T., Mitsutomi M, Sakuda S., Miyashita K. Family 19 chitinases of *Streptomyces species*: characterization and distribution. *Micobiology*. 1999. Vol. 145, № 12. P. 3353–3363. DOI: 10.1099/00221287-145-12-3353
11. Prakash N.A.U., Jayanthi M., Sabarinathan R., Kanguane P., Mathew L., Sekar K. Evolution, homology conservation, and identification of unique sequence signatures in GH19 family chitinases. *Journal of Molecular Evolution*. 2010. Vol. 70, № 5. P. 466–478. DOI: 10.1007/s00239\_010\_9345\_z
12. Monson A.M., Bradley S.G., Enquist L.W., Cruces G.J. Genetic homologies among *S. violaceoruber* strains. *Bacteriology*. 1969. Vol. 99, № 3. P. 702–706. DOI: 10.1128/jb.99.3.702-706.1969
13. Anderson A.S., Wellington E.W. The taxonomy of *Streptomyces* and related genera. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 2001. № 51, № 3. P. 797–814. DOI: 10.1099/00207713-51-3-797

---

# ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО І ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ

---

УДК 504.05:504.06

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.2-47.25>

## ІНВАЗІЙНА ФЛОРА АНТРОПОГЕННО ТРАНСФОРМОВАНИХ ЕКОСИСТЕМ КАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ

Гафіяк О.В., Симочко Л.Ю.

Ужгородський національний університет

вул. Волошина, 32, м. Ужгород

[gafiakolga@gmail.com](mailto:gafiakolga@gmail.com), [lyudmilassem@gmail.com](mailto:lyudmilassem@gmail.com)

У даній статті представлено результати моніторингу трансформації флори на ділянках несанкціонованих сміттєзвалищ, розглянуто явище поширення фітоінвазій в околицях Карпатського біосферного заповідника, що є однією з глобальних проблем біологічного забруднення довкілля. Поширення агресивних чужорідних видів рослин є частиною глобальних змін у біосфері, які супроводжуються втратою біорізноманіття. Широкомасштабні інвазії розглядаються як ознака екологічної кризи певної території, оскільки інші рослини вже не можуть існувати на докорінно змінених екоотопах. Інвазійні види трансформують цілі екосистеми та роблять їх бідними на біорізноманіття, витісняючи природні види, вони не просто витісняють один чи два природні конкуренти, а й своєю життєдіяльністю змінюють умови довкілля (наприклад, деякі рослини мають здатність змінювати хімічний склад ґрунту). Нові умови приваблюють інші нехарактерні види, і в результаті змінюється вся екосистема. Нами виявлено поширення таких інвазійних видів як Мишій сизий (*Setaria pumila*), Золотушник канадський (*Solidago canadensis* L.) та Золотушник гігантський (*Solidago gigantea*), Щириця звичайна (*Amaranthus retroflexus*), Розрив-трава залозиста (*Impatiens glandulifera*), Розрив-трава дрібноцвіта (*Impatiens parviflora*), Амброзія полинолиста (*Ambrosia artemisiifolia* L.) та ін.

На території з вищими показниками фітотоксичності ґрунтів, спостерігається значне поширення перерахованих видів рослин, що вказує на високий рівень забруднення ґрунтів та посилення екологічних ризиків у зоні несанкціонованого накопичення побутових відходів. Забруднення ґрунту стає причиною трансформації флори, що зумовлює порушення фізичних і мікробіологічних процесів у ґрунтах. Нині негативний вплив чужорідних організмів на флору набув глобального характеру. Важливо не допустити незворотних екологічних змін, спричиняючих втрату не лише рідкісних та реліктових видів, а й типових представників природної флори, оскільки широкомасштабні інвазії призводять до незворотних втрат біорізноманіття та зниження потенціалу самовідновлення екосистем. *Ключові слова:* інвазійні види рослин, оцінка впливу, трансформація флори, природні екосистеми.

### **Invasive flora of anthropogenically transformed ecosystems in Carpathian region. Hafiak O., Symochko L.**

This article presents the results of monitoring the transformation of flora on the sites of unauthorized landfills, the phenomenon of the spread of phytovasions in the vicinity of the Carpathian Biosphere Reserve, which is one of the global problems of biological environmental pollution. The spread of invasive alien plant species is a part of global changes in the biosphere, which are accompanied by the loss of biodiversity. Large-scale invasions are considered as a sign of an ecological crisis in a certain area since other plants can no longer exist in fundamentally changed ecotopes. Invasive species transform whole ecosystems and make them poor in biodiversity, displacing natural species, they not only displace one or two natural competitors, but also change environmental conditions with their vital activity (for example, some plants have the ability to change the chemical composition of the soil). New conditions attract other unusual species, and as a result, the entire ecosystem changes. We discovered the spread of such invasive species as: *Setaria pumila*, *Solidago canadensis* L., *Solidago gigantea*, *Amaranthus retroflexus*, *Impatiens glandulifera*, *Impatiens parviflora*, *Ambrosia artemisiifolia* L., etc.

In the territory with a higher level of soil phytotoxicity, there is a significant spread of the above-listed plant species, which indicates contamination of soil and increased environmental risks in the area of unauthorized accumulation of household waste. Soils determine the basis of any functional terrestrial system, soil pollution becomes the factor of flora transformation, and causes disruption of physical and microbiological processes in soils. Nowadays the negative impact of alien organisms has a global character. It is important to prevent irreversible ecological changes that cause the loss of rare and relict species, and also typical representatives of the natural flora since large-scale invasions lead to irreversible losses of biodiversity and a decrease in the self-recovery potential of ecosystems. *Key words:* invasive plant species, impact assessment, flora transformation, natural ecosystems.

**Постановка проблеми.** Втрата біорізноманіття та забруднення, деградація і зникнення природних екосистем – одна з найбільших загроз, з якими зіштовхнулось людство та буде вимушене боротися в наступному десятилітті. Це також є загрозою для основ світової економіки, на теперішній

час збитки від чужорідних видів та витрати щодо їхнього контролю складають близько 5% світової економіки (Протопопова, Мосякін, Шевера, 2003; Васенко, Міланіч, Козловська, 2016). За даними Global Invasive Species Programme (GISP) боротьба з найбільш небезпечними чужорідними видами

рослин коштує світові 1,4 трлн. доларів щорічно. Небезпечним є явище поширення інвазивних видів та як наслідок трансформація флори на значних площах [1, 2].

Поширення агресивних чужорідних видів рослин є частиною глобальних змін у біосфері, які супроводжуються втратою біорізноманіття. Інвазійні види призводять до глибоких екологічних наслідків, спричиняючи втрату не лише рідкісних та реліктових видів, а й типових представників природної флори. Нині доведено, що інвазії рослин можуть перешкоджати sukcesивним процесам на певних територіях, блокуючи наступність фаз їх розвитку та спричиняючи зникнення просторово домінуючих рослинних угруповань та трансформацію природних ландшафтів, створюючи моно- домінантні насадження [2, 3].

**Актуальність дослідження.** Наприкінці ХХ ст. негативний вплив неаборигенних організмів на флору, фауну і навіть на суспільство настільки посилювався, що набув глобального характеру і привернув увагу не лише фахівців, а й державних та міжнародних інституцій. Про актуальність цієї проблеми свідчить її обговорення на міжнародних форумах, присвячених збереженню біологічного різноманіття, зокрема на конференції ООН з проблем сталого розвитку (Ріо-де-Жанейро, 1992) та конференції ООН з проблеми неаборигенних видів (Трондхейм, 1996), численних спеціальних наукових форумах з проблем неаборигенних організмів [1, 3, 4].

На початку 21 століття було опубліковано глобальний звіт із оцінки екосистем світу (Millennium ecosystem assessment) у якому наведено, що 60% природних екосистем нашої планети вже є деградованими. Це вражаюча статистика, яка свідчить про те, що природа зникає з невблаганною швидкістю, і вже більшої частини її просто немає. Було визначено основні причини деградації екосистем та зниження рівня біорізноманіття, а саме:

- зміна природних місць існування;
- зміна клімату;
- інвазійні види;
- переексплуатація;
- забруднення (азотом, фосфором).

Тобто, інвазійні види визнані одним із п'яти ключових чинників того, що в нас збереглося лише 40% природних екосистем планети [4, 5].

У травні 2020 року Європейська Комісія презентувала «Стратегію біорізноманіття ЄС до 2030 року: Повернення природи у наше життя» Стратегія містить конкретні зобов'язання та дії, які мають бути виконані на території ЄС до 2030 року. Документ покликаний досягнути глобальних цілей, поставлених Європейською Зеленою Угодою та Рамковою конвенцією ООН з охорони біорізноманіття. Країни ЄС прагнуть не лише зберегти на існуючому рівні біорізноманіття та сукупність екосистемних послуг, що надаються природними комплексами, а й стати

протягом найближчого десятиліття світовим лідером зі збереження та відновлення природи, подаючи приклад іншим країнам. Україна має певні зобов'язання щодо біорізноманіття в рамках Угоди про асоціацію з Європейським Союзом, підписаної 2014 року. Проте, в світлі новоприйнятої Стратегії, навіть цілковите виконання всіх поставлених Угодою завдань буде вже недостатнім для досягнення Україною індикаторів, актуальних в ЄС після затвердження Стратегії [1, 6, 7].

19 грудня 2022 року у Монреалі, Канада, було підписано Куньмінсько-Монреальську Глобальну Рамкову програму у сфері біорізноманіття, яка зобов'язує світ зупинити та подолати втрату біорізноманіття до 2030 року.

Завдання, які домовились поставити перед собою 196 країн-учасниць (серед них і Україна) Конвенції про охорону біологічного різноманіття – зберегти не менше 30% наземних, прісноводних та морських екосистем у всьому світі.

Глобальна Рамкова програма стане логічним продовженням всіх наукових та політичних процесів, як відбувалися протягом останнього десятиліття. Вона змінює настанови та підходи до збереження біорізноманіття та встановлює 4 глобальні цілі, які потрібно досягти до 2050 року:

- зупинити вимирання видів і зберегти природу;
- стало використовувати все, що дає нам природа;
- запровадити відповідне управління природними ресурсами;
- здійснити грошову та негрошову оцінку матеріальної та нематеріальної користі від природи; працювати разом для залучення коштів і розвитку знань стосовно того, як зберегти природу на користь теперішньому і майбутньому поколінням [8].

Збереження біорізноманіття як аспекту охорони природи на державному рівні в Україні регламентують відповідні Закони: «Про природно-заповідний фонд» (1992), «Про рослинний світ» (1999), «Про тваринний світ» (2002), «Про Червону книгу» (2002), «Про екологічну мережу України» (2004), «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року» (2011), «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» (2019) а також розробляються нові, як то Закон України «Про території Смарагдової мережі» та ряд інших нормативно-правових актів.

**Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями.** Дослідження виконувались у межах науково-дослідних тематик: «Еколого-мікробіологічний моніторинг різних типів екосистем Карпатського регіону», НДР № 0116U003331, (2015–2018); «Біомоніторинг наземних і водних екосистем в умовах змін клімату» НДР № 0119U102623, (2020–2023).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Неаборигенні види рослин, зокрема інвазійні, ста-

новлять глобальну загрозу для довкілля, тому дослідження цих видів у зв'язку з їх негативним впливом на екологічну, економічну та соціально-політичну ситуації у світовому масштабі актуальні (Бурда та ін., 2011, 2015; Зав'ялова, 2012, 2015; Протопопова та ін., 2002, 2009, 2012; Blackburn et al., 2011, 2014;

Foxcroft et al., 2013, 2017; Global Strategy..., 2001; Lockwood et al., 2007; Protopopova et al., 2006; Pyšek et al., 1995 та ін.). Десятою нарадою

Конференції Сторін Конвенції про біологічне різноманіття визначено стратегічні завдання з його охорони на 2011–2020 рр. (A Comparative

Assessment..., 2011). Одне з них – зменшення безпосереднього тиску, що передбачає виявлення інвазій, шляхів їх поширення, контроль або знищення особливо небезпечних видів інвазійних рослин, запобігання їх розповсюдженню, укоріненню тощо. Дослідження фітоінвазій інтенсивно розвиваються в Україні (Абдулосєва та ін., 2009; Багрикова, 2013; Багрикова и др., 2014а, 2014б, 2015; Бурда та ін., 2011, 2015; Вихор, 2015; Зав'ялова, 2012, 2016; Зав'ялова та ін., 2014; 2015; Панченко, 2005а; Протопопова та ін., 2002, 2009, 2012 та ін.) і в країнах Європи, де створено розгалужену мережу не лише комплексного вивчення, але і картування, прогнозування ризиків, управління цінними природними територіями з урахуванням можливих інвазій неаборигенних видів на різних рівнях, численні проекти та бази даних (Blackburn et al., 2011, Foxcroft et al., 2013, 2017 та ін.). Історія світових комплексних наукових досліджень проблем фітоінвазій на заповідних територіях не тривала і налічує всього кілька десятиліть, однак за цей час розвиток напрямку не лише надзвичайно активізувався, але і набув нових ознак, таких як багатоаспектність, глобалізація та інші що, зокрема, відображено у нещодавній узагальненій роботі провідних світових фахівців (Foxcroft et al., 2016) [9, 10, 11].

Досліджуючи проблему забруднення навколишнього середовища останнім часом часто зустрічається значний науковий доробок українських вчених у дослідженні синантропізації рослинного покриву неаборигенних рослин, фітоінвазій та інших пов'язаних із ними аспектів досить різноплановий та об'ємний [11, 12].

Актуальність проблеми фітоінвазій вкотре було підтверджено на III Всеукраїнській науковій конференції «Синантропізація рослинного покриву України», яка відбулася 26–27 вересня 2019 року у Києві [6]. Вчені А. І. Токарюк, І. І. Чорней, В. В. Буджак, В. В. Протопопова, М. В. Шевера, К. В. Коржан, О. Д. Волуца [12, 13].

В монографії Інвазійні рослини в Буковинському Передкарпатті наводять оцінку сучасної ситуації щодо поширення видів адвентивних рослин на території Буковинського Передкарпаття та доводять негативний вплив інвазійних рослин на рослинний покрив регіону в якому адвентивна фракція флори

дослідженого регіону представлена 301 видом судинних рослин. Здійснено структурний аналіз та виявлено регіональні особливості цієї групи рослин. У складі адвентивної фракції флори регіону виділено 29 видів, які перебувають у стані активного розповсюдження, а 6 належать до видів-трансформерів. Наведено комплексну оцінку, складено карти поширення, представлено синтаксономічну схему рослинних угруповань за участю інвазійних видів, яка нараховує 11 класів, з яких 6 об'єднують синантропні рослинні угруповання [14].

**Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Стічні води сміттєзвалищ токсичні і забруднюють ґрунтові води та ріки. Відбувається забруднення атмосфери газоподібними речовинами, що утворюються при розкладанні звалених матеріалів. Шкідливі речовини всмоктуються кореневою системою рослин. В забруднених ділянках спостерігаються зміни в фітоценозах, а саме поява інвазійних видів рослин та бур'янів. Інвазійні види призводять до глибоких екологічних наслідків, спричиняючи втрату не лише рідкісних та реліктових видів, а й типових представників природної флори. Доведено, що інвазії рослин можуть перешкоджати сукцесивним процесам на певних територіях, блокуючи наступність фаз їх розвитку та спричиняючи зникнення просторово домінуючих рослинних угруповань та трансформацію природних ландшафтів, створюючи моно-домінантні насадження.

**Новизна.** Ґрунт як середовище існування багатьох живих організмів містить дуже складні біоценози, що зумовлює складні процеси на біофізичному, біохімічному рівнях і на рівні міжпопуляційної взаємодії. Тому не завжди можна передбачити реакцію біотичної складової на забруднення. Часто забруднення ґрунту стає причиною синантропізації флори. У роботі вперше наведений перелік інвазійних видів рослин, які поширені навколо несанкціонованих сміттєзвалищ. Окремо виділено види інвазійних чужорідних рослин, які характеризуються різноманітним ступенем впливу на видовий склад фітоценозів та здатні утворювати монодомінантні угруповання, витісняючи інші види рослин. Описано ступінь трансформації флори в залежності від фітотоксичної активності ґрунту відібраного в ділянках сміттєзвалищ [13].

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Об'єктом досліджень стали інвазійні види рослин, які зростають на забруднених сміттях територіях та підлягають комплексним заходам, щодо обліку і обмеження їх поширення. Дослідження проводилися маршрутно-польовим методом, здійснено описи, фотографування та популяційні дослідження. За основу визначення інвазійності видів взято список чужорідних видів України з високою інвазійною спроможністю та перелік інвазійних видів рослин Закарпатської області.

Об'єкт дослідження – види інвазійних рослин у складі антропогеннотрансформованих флорокомплексів та рослинних угруповань рослинного покриву. Предмет – диференціація видів інвазійних рослин за визначеними критеріями. Під час вивчення видової різноманітності флорокомплексів застосовувався порівняльний морфолого-еколого-географічний метод [11, 15, 19].

**Викладення основного матеріалу.** Втрата біорізноманіття в усьому світі відбувається швидкими темпами і з минулого століття це питання все частіше постає не тільки як констатація факту і його підтвердження, але також розробляються різні підходи, інструменти і методи його вирішення, як у наукових працях, так і у багатьох політичних рішеннях. Господарська діяльність людини протягом тисячоліть впливає на природу і ландшафт, руйнуючи і змінюючи його, але саме в ХХ столітті, особливо на рубежі третього тисячоліття, антропогенна дія різко зростає. Практично усі зміни рослинності, що відбуваються в сучасний період, носять синантропний характер. Сьогодні процес синантропізації набув масштабу, коли є усі підстави говорити про антропогенну еволюцію екосистем. Синантропізація є одним із найбільш чітко виражених наслідків впливу людського фактору на природну флору взагалі та на регіональну зокрема. Внаслідок синантропізації відбувається поступова деаборигенізація місцевої флори й втрата нею своїх специфічних особливостей [16, 17, 18].

Серед адвентивних видів виділяють групу рослин, які володіють надзвичайно інтенсивними способами розмноження у вторинному ареалі і високим ступенем натуралізації. Їх називають інвазійними видами. Серед них розрізняють рослини-трансформери, які на значних площах можуть змінювати особливості екосистеми. Вхідження (інвазії) агресивних чужорідних видів рослин є частиною глобальних змін у біосфері, які супроводжуються втратою біорізноманіття. Інвазійні види призводять до глибоких екологічних наслідків, спричиняючи втрату не лише рідкісних та реліктових видів, а й типових представників природної флори [16].

В ділянках несанкціонованих сміттєзвалищ, провівши дослідження маршрутним методом, спостерігаємо поширення таких інвазивних видів рослин як Рудбекія роздільнолиста (*Rudbeckia laciniata* L.), Мишій сизий (*Setaria pumila*), Золотушник канадський (*Solidago canadensis* L.) та Золотушник гігантський (*Solidago gigantea*), Щириця звичайна (*Amaranthus retroflexus*), Розрив-трава залозиста (*Impatiens glandulifera*), Розрив-трава дрібноцвіта (*Impatiens parviflora*) Амброзія полинолиста (*Ambrosia artemisiifolia* L.). Окрім інвазійних видів, навколо таких локальних сміттєзвалищ також аборигенну флору змінюють бур'яни, такі як Лопух звичайний (*Arctium lappa*), Жабрій ладаний (*Galeopsis ladanum* L.), Капуста польова (*Brassica campestris*), Щириця біла (*Amaranthus albus* L.), Перстач гусячий

(*Argentina anserina* L.), Березка польова *Convolvulus arvensis* L.. Якірці сланкі (*Tribulus terrestris*), Лобода біла (*Chenopodium album*), Гірчак почечуйний (*Polygonum persicaria* L.) Пирій повзучий (*Elymus repens*), Дикий багаторічний люпин (*Lupinus perennis*) та інші.

Обстеження території, прилеглої до Карпатського біосферного заповідника, показало наявність значної кількості, різних за розміром сміттєзвалищ, які утворилися внаслідок несанкціонованого складування ТПВ, серед яких виявлено чотири осередки сміття з найбільшою площею (0,15–1,50 га) і значною небезпекою для природних екосистем в урочищах Підгірна, Станислав, Стерешори та Фересок. Більшість відходів підлягають сортуванню та переробці. Також у теплий період року внаслідок процесів розкладання органічних відходів відмічено виділення неприємного запаху. Спостерігали на сміттєзвалищах скупчення комах, гризунів та плазунів, які є потенційними переносниками збудників різноманітних інфекційних захворювань, що особливо небезпечно для людини і свійських тварин. Дослідження мікробіологічного стану ґрунтів сміттєзвалищ показало зміну у структурі мікробіому ґрунту і перерозподілу основних еколого-трофічних і таксономічних груп мікроорганізмів. Довкола звалищ фітоценози змінені і представлені переважно бур'янами.

За часом занесення антропофіти поділяють на археофіти – занесені в Україну до ХV ст.; кенофіти – потрапили до України з ХV до ХХ ст.; евкенофіти – занесені у ХХ ст., після Першої світової війни.

За ступенем натуралізації серед антропофітів відмічені такі категорії: Агріоепекофіт та агріофіти – натуралізувалися в напівприродних та природних екосистемах, здатні витримувати в них конкуренцію з місцевими видами; епекофіти – стійко поширені в антропогенних екосистемах; колонофіти – здатні утворювати колонії або первинні популяції, починають поширюватися за рахунок діаспор, сформованих в нових умовах.

За походженням поділяють на: види північноамериканського походження, середземно-морського, малоазійського, східно-азійського, центрально-азійського. За походженням поділяють на: види північноамериканського походження, середземно-морського, малоазійського, східно-азійського, центрально-азійського [16, 17].

В умовах збільшення антропогенного впливу на довкілля підвищується рівень адвентивізації рослинного покриву природоохоронних і рекреаційних зон саме через інтенсивне збільшення чисельності чужорідних видів та активне поширення інвазійних [16, 24]. У результаті проведених досліджень виявлено 16 інвазійних видів рослин, які поширюються в околицях несанкціонованих сміттєзвалищ, та здатні місцями заселятися на великих площах (табл. 1).

## Характеристика чужорідних інвазійних видів рослин

№ п/п	Українська та латинські наукові назви виду	Походження	Загальний ареал	Ступінь натуралізації	За часом занесення	Частота трапляння
1.	<b>Щириця запрокинута</b> ( <i>Amaranthus retroflexus</i> L.)	Північно-американське	Голарктичний	Агріоепекофіт	Кенофіт	спорадично
2.	<b>Амброзія полинолиста</b> ( <i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.)	Північно-американське	Космополіт	Епекофіт	Кенофіт	звичайно
3.	<b>Череда листяна</b> ( <i>Bidens frondosa</i> L.)	Північно-американське	Голарктичний	Агріоепекофіт	Кенофіт	часто
4.	<b>Злинка канадська</b> ( <i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronq.)	Північно-американське	Космополіт	Епекофіт	Кенофіт	спорадично
5.	<b>Елодея канадська або водяна чума</b> ( <i>Elodea canadensis</i> Michx.)	Північно-американське	Голарктичний	Агріофіт	Кенофіт	спорадично
6.	<b>Галінсога дрібноцвіта</b> ( <i>Galinsoga parviflora</i> Cav.)	Північно-американське	Плюрирегіон.	Агріоепекофіт	Кенофіт	часто
7.	<b>Розрив трава залозиста</b> ( <i>Impatiens glandulifera</i> Royle)	Південно-Східноазійське	Європ.-Сх. Азій.	Агріоепекофіт	Кенофіт	часто
8.	<b>Розрив трава дрібноквіткова</b> ( <i>Impatiens parviflora</i> DC.)	Центральноазійське	Голарктичний	Агріоепекофіт	Кенофіт	часто
9.	<b>Дикий виноград прикріплений</b> ( <i>Parthenocissus inserta</i> (A. Kern.) Fritsch)	Північноамериканське	Європ.-Пн. Амер.	Колонофіт	Кенофіт	зрідка
10.	<b>Тонкомірник однорічний</b> ( <i>Phalacrolooma annuum</i> (L.) Desf.)	Північноамериканське	Європ.-Кавказ.-Пн. Амер.	Агріоепекофіт	Кенофіт	звичайно
11.	<b>Рейнунтрія сахалінська</b> ( <i>Reynoutria sachalinensis</i> )	Східноазійське	Плюрирегіон.	Епекофіт	Кенофіт	зрідка
12.	<b>Рубекія роздільнолиста</b> ( <i>Rudbeckia laciniata</i> L.)	Північно-американське	Голарктичний	Агріоепекофіт	Кенофіт	зрідка
13.	<b>Верба ламка</b> ( <i>Salix fragilis</i> L.)	Малоазійське	Європ. Середномор.-Передньоазій	Агріофіт	Археофіт	часто
14.	<b>Мишій карликовий</b> ( <i>Setaria pumila</i> (Poir.) Roem. & Schult.)	Середземно-морське	Не з'ясовано	Епекофіт	Археофіт	часто
15.	<b>Золотушник канадський</b> ( <i>Solidago canadensis</i> L.)	Північно-американське	Плюрирегіон.	Агріоепекофіт	Кенофіт	спорадично
16.	<b>Золотушник гігантський</b> ( <i>Solidago gigantea</i> Aiton.)	Північно-американське	Голарктичний	Агріоепекофіт	Кенофіт	зрідка

Основними екологічними чинниками, які впливають на розподіл видів адвентивних рослин є відношення до вологи, ступінь освітлення, рельєф місцевості.

Серед них за часом заносу за переважають кенофіти – 14 видів, які складають 87,5% від загальної чисельності інвазійних видів і є характерними для флори України, що свідчить про активізацію процесів занесення у нинішній період і високу інвазійну спроможність. Археофіти нараховують 2 види 12,5% (рис. 1).

За ступенем натуралізації найбільш чисельними є агріо-епекофіти (9 видів; 56,25%). Менше за чисельністю видів зустрічаються епекофіти (4 види; 25%). Агріофітів – 2 види (12,5%), колонофіти – 1 вид (6,25%) (рис. 2).

За походженням переважають види північноамериканського – 12 видів (75%), середземно-морського 1 вид (6,25%), малоазійського 1 вид (6,25%), східно-азійського 1 вид (6,25%), центрально-азійського 1 вид (6,25%) (рис. 3).

Інвазійні види поселяються в першу чергу в техногенно трансформованих екотопах: уздовж доріг, на сміттєзвалищах, карерах, будівельних майданчиках тощо, а згодом поширюються в ділянки природних екосистем. Якщо там не проводити робіт по інвентаризації та контролю поширення цих видів, вони неконтрольовано поширюються витісняючи аборигенну флору, створюючи монодомінантні угруповання (рис. 4).

Серед інвазивних рослин поширених в околицях сміттєзвалищ, можна виділити групу рослин, яких

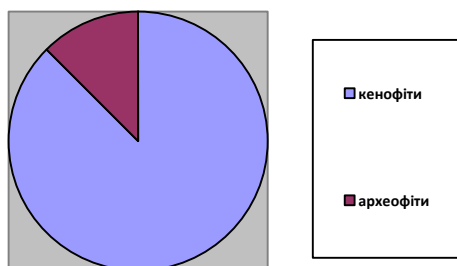


Рис. 1. Розподіл інвазивних видів рослин за часом занесення

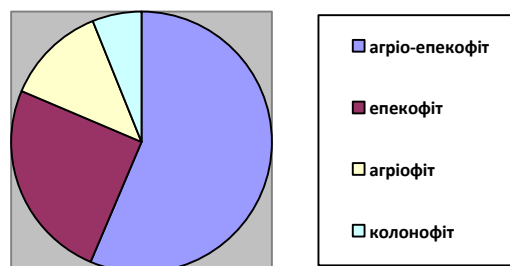


Рис. 2. Розподіл інвазивних видів рослин за ступенем натуралізації

ще називають трансформерами, тобто ті, рослини, які втрутившись у нове середовище, істотно змінюють характер, умови, форму або природу екосистем на значній території, приналежній певній екосистемі.

З 2018 по 2022 рік нами зафіксовано такі види, які тривалий час ростуть в околицях КБЗ і поширення яких важко контролювати, серед них: Галінсога дрібноцвіта (*Galinsoga parviflora* Cav.), Розрив трава залозиста (*Impatiens glandulifera* Royle) Тонкомірник однорічний (*Phalacrolooma annuut* (L.) Desf.) Золотушник гігантський (*Solidago gigantea* Aiton.) Активно поширюються впродовж останніх років Рейнутрія сахалінська (*Reynoutria sachalinensis*) Верба ламка (*Salix fragilis* L.) Амброзія полинолиста (*Ambrosia artemisiifolia* L.) та інші.

Спостерігається взаємозв'язок між ступенем фітотоксичної активності ґрунтів та ступенем трансформації флори. На території з вищими показниками фітотоксичності, що вказує на високий рівень



Рис. 3. Розподіл інвазивних видів рослин за походженням

забруднення ґрунтової екосистеми, та посилення екологічних ризиків у зоні несанкціонованого накопичення, спостерігається значне поширення вище перерахованих видів рослин. Це може бути зумовлено безпосереднім забрудненням ґрунту фільтратом та накопиченням фітотоксичних речовин – продуктів метаболізму ґрунтових мікроорганізмів, як наслідок



Рис. 4. Приклади монодомінантних угруповань інвазивних видів рослин (Фото Гафіяк О.В.)

таке середовище стає менш сприятливим для аборигенних видів та його швидко заселяють види-трансформери [13, 21].

Саме з цих причин працівниками КБЗ організовано спостереження за інвазивними видами рослин, насамперед *Heracleumsosnowskyi* Manden., *Reynoutria sachalinensis* (F.Schmidt) Nakai, *Ambrosia artemisiifolia* L. та затверджено Програму щодо методів боротьби з чужорідними видами рослин на території КБЗ і прилеглих до заповідника територіях ще з 2014 року [15, 24].

**Головні висновки.** Карпатський біосферний заповідник відіграє важливу роль у збереженні фітогенотипу природної флори. За результатами власних досліджень, критичного перегляду наукового гербарію КБЗ і літературних джерел, на території заповідних масивів відмічено 211 рідкісних видів рослин і грибів, що включені до національних і міжнародних червоних списків. З 826 рідкісних видів рослин і грибів Червоної книги України, у КБЗ охороняються 205 видів – майже четверта частина (24,8%). Припинення помірної традиційної господарювання (випасання, сінокосіння), безпосередній збір рослин, як лікарської сировини, інтенсивне лісове господарювання, зміна гідрологічного режиму, зростання рекреації – одні з основних факторів негативного впливу на рідкісні види рослин і грибів. Знаходження нових місцезростань інвазивних видів рослин, дослідження динаміки їх поширення, виявлення факторів негативного впливу на рідкісні види рослин, аборигенну флору та розробка плану природоохоронних заходів для їх усунення є першочерговими завданнями для збереження біорізноманіття.

Серед інвазивних видів виділяють рослини-трансформери, які здатні витіснити види аборигенної флори, зумовлюючи значну перебудову рослинних угруповань у природних і напівприродних екотопах. Вхідження (інвазії) агресивних чужорідних видів рослин є частиною глобальних змін у біосфері, які супроводжуються втратою біорізноманіття. Важливо не допустити незворотних екологічних змін, спричиняючих втрату не лише рідкісних та реліктових видів, а й типових представників природної флори. Доведено, що широкомасштабні інвазії призводять до зниження потенціалу самовідновлення екосистем.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Проведені спостереження за інвазивними видами рослин дозволять спрогнозувати їх поширення на значних територіях та розробити план заходів, щодо попередження трансформації флори на території заповідної зони. Вчасно проведений моніторинг дозволить обрати методи боротьби з чужорідними видами рослин, на території КБЗ і прилеглих до заповідника територіях. Оскільки рослини-трансформери – це адвентивні види, поява яких на конкретній території не пов'язана з процесами природного флорогенезу, виступаючи едификаторами та віолентами, утворюють моно-домінантні угруповання, вони змінюють характер вихідного фітоценозу, змінюють сукцесивний ряд, перешкоджають відновленню видів вихідних угруповань, що несе загрозу аборигенній флорі в тому числі і представникам рослинного світу, які потребують охорони, є небезпечними для природного біорізноманіття заповідних територій, а деякі містять лише потенційну загрозу.

### Література

1. Стратегія біорізноманіття ЄС до 2030 року: Повернення природи у наше життя. Звернення Комісії до Європейського Парламенту, Ради, Європейського Економічно-Соціального Комітету та Комітету Регіонів (неофіційний адаптований переклад українською) / пер. з англ. О. Осипенко; ред. та адапт. А. Куземко та ін. Чернівці : Друк Арт, 2020. 36 с.
2. Protopopova V.V., Mosyakin S.L., Shevera M.V. Influence of non-aboriginal plant species on the biota of Ukraine. In: Dudkin O. (ed.). Assessment and directions of reduction of threats to biodiversity (Kyiv: Khimdggest, 2003).
3. Global Strategy on Invasive Alien Species. Convention of Biological Diversity, SBSTTA Sixth Meeting. Montreal, 2001. 52 p.
4. Scalera R., Genovesi P. Guidance for governments concerning invasive alien species pathways action plans. Strasbourg, 2016
5. Екологія право людини. Веб-сайт. URL: <http://epl.org.ua/human-posts/shho-take-invajzni-vydy-i-yak-vony-vplyvayut-na-bioriznomanittya/>
6. Федорончук М.М., Зав'ялова Л.В., Кучер О.О., Коломійчук В.П., Конякін С.М., Лисогор Л.П., Прядко О.І. Синантропізація флори та рослинності – серйозна загроза біорізноманіттю. III Всеукраїнська наукова конференція «Синантропізація рослинного покриву України». Вісник НАН України. 2020, № 1. С. 62–67.
7. Синантропізація рослинного покриву України. III Всеукраїнська наукова конференція, 26–27 вересня 2019 року, м. Київ. Збірник наукових статей. Київ : Наш формат, 2019. 184 с.
8. WWF – Україна. Веб-сайт. URL: <https://wwf.ua/?8550941/cop15-and-ukraine>
9. The first official regional list of invasive species of Transcarpathia in Ukraine / M. V. Shevera et al. Visnik Nacional'noi' akademii' nauk Ukraini. 2017. Vol. 10. P. 53–61. URL: <https://doi.org/10.15407/visn2017.10.053> (date of access: 30.01.2023).
10. Zavalova L. The most harmful invasive plant species for native phytodiversity of protected areas of Ukraine. Biologichni systemy. 2017. T. 9, № 1. С. 87–107. URL: <https://doi.org/10.31861/biosystems2017.01.087> (дата звернення: 30.01.2023).
11. Протопопова В.В., Мосякін С.Л., Шевера М.В. Фітоінвазії в Україні як загроза біорізноманіттю: сучасний стан і завдання на майбутнє. Київ : Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України. 2002. 32 с.
12. Protopopova V.V., Mosyakin S.L., Shevera M.V. Influence of non-aboriginal plant species on the biota of Ukraine. In: Dudkin O. (ed.). Assessment and directions of reduction of threats to biodiversity. (Kyiv: Khimdggest, 2003). [Протопопова В.В., Мосякін С.Л., Шевера М.В. Вплив неаборигенних видів рослин на біоту України. В кн.: Оцінка і напрямки зменшення загроз біорізноманіття. (Відп. ред. О. Дудкін). К.: Хімджест, 2003.]



13. Symochko L., Hafiyyak O., Demyanyuk O. Bioindication of soil of unauthorized landfills in the Carpathian region. *Agroecological journal*. 2021. No. 2. URL: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2021.234453>
14. Токарюк А. І. Чорней І. І. Буджак В. В. Протопопова В. В. Шевера М. В. Коржан К. В. Волюца О. Д. Інвазійні рослини в Буковинському Передкарпатті : монографія. Чернівці : «Друк Арт», 2018. 176 с.
15. Антосяк Т.М., Козурак А.В., Волощук М.І. Історія вивчення флори вищих судинних рослин Карпатського біосферного заповідника. – *Природа Карпат: науковий щорічник Карпатського біосферного заповідника та Інституту екології Карпат НАН України*. 2018. № 1. С. 4–15.
16. Коцун Л.О., Кузьмішина І.І. Синантропні зміни флори та фітоіндикація: методичні рекомендації до лабораторних робіт для магістрів біологічного факультету. Видання 2-е, доп. і перероб. / Укл.: Л. О. Коцун, І. І. Кузьмішина. Луцьк : Вежа-Друк, 2018. 31 с.
17. Бороніна Г.Г. Екологічні проблеми Закарпатської області та шляхи їх розв'язання на засадах сталого розвитку. *Економіка та суспільство*. 2017. Вип. 13. С. 905–909.
18. Комендар В. І., Манівчук Ю. В. Медоноси Карпат. Ужгород : Карпати, 1975. 175 с.
19. Про оцінку впливу на довкілля : Закон України від 23.05.2017 № 2059-VIII (Редакція станом на 13.05.2022) Верховна Рада України; URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text>.
20. Клименко М.О., Прищепя А.М., Вознюк Н.М. Моніторинг довкілля: Підручник К.: Вид-ий центр «Академія», 2006. 360 с.
21. Ольхович О.П., Мусієнко М.М. Фітоіндикація та фітомоніторинг К.: Фітосоціоцентр, 2005. 64 с.
22. Гродзинський Д.М., Шиліна Ю.В., Куцоконь Н.К. Застосування рослинних тест-систем для оцінки комбінованої дії факторів різної природи К.: Фітосоціоцентр, 2006. 60 с.
23. Горова А.І., Скворцова Т.В. Цитогенетичний моніторинг довкілля та здоров'я людини. II Вісн. Укр. тов-ва генетиків і селекціонерів. 2005. Т. 3, № 1–2. С. 36–47.
24. Дідух Я.П., Плюта П.Г. Фітоіндикація екологічних факторів К., 1994. 279 с.

## ВПЛИВ ТРЕМАТОДНОЇ ІНВАЗІЇ ТА НИЗЬКИХ КОНЦЕНТРАЦІЙ ІОНІВ ЦИНКУ НА ВМІСТ ОКРЕМИХ ГРУП ЛІПІДІВ В ОРГАНІЗМІ *LYMNAEA STAGNALIS*

Киричук Г.Є., Музика Л.В., Кушнір Л.С., Гордієнко М.В.  
Житомирський державний університет імені Івана Франка  
вул. В. Бердичівська, 40, 10008, Житомир  
[lidiya.muzyka@ukr.net](mailto:lidiya.muzyka@ukr.net)

Розглянуто особливості вмісту загальних ліпідів (ЗЛ) та їх окремих неполярних груп (триацилгліцеролів (ТАГ), диацилгліцеролів (ДАГ), моноацилгліцеролів (МАГ), холестеролу (ХС), неестерифікованих жирних кислот (НЕЖК)) у гемолімфі, гепатопанкреасі, мантиї та нозі *Lymnaea stagnalis* в нормі й за дії біотичних (трематодна інвазія) та абіотичних чинників (іони цинку).

Показано, що у гемолімфі, гепатопанкреасі й нозі неінвазованих *L.stagnalis* дія іонів  $Zn^{2+}$  в допороговій концентрації (0,5 ГДК<sub>рибогосп.</sub>) викликає зменшення вмісту загальних ліпідів (на 30,09–64,91% ( $p < 0,05$ )), а у мантиї тварин зафіксовано збільшення показників на 67,05% відносно контролю.

Встановлено, що в середовищі без додавання токсиканту трематодна інвазія обумовлює зменшення вмісту загальних ліпідів у гепатопанкреасі та нозі *L. stagnalis* на 47,33–62,42% ( $p < 0,01–0,001$ ). Разом з цим, у мантиї вміст ЗЛ збільшувався в 2,02 раза ( $p < 0,05$ ), а у гемолімфі показники контрольної та дослідної груп знаходились в одному діапазоні величин.

За сумісної дії трематодної інвазії та іонів  $Zn^{2+}$  встановлено зменшення вмісту ЗЛ на 47,37% у гемолімфі *L. stagnalis* та його збільшення на 34,56–62,36% ( $p \leq 0,01–0,05$ ) у нозі й мантиї. У гепатопанкреасі не відмічено статистично достовірних відмінностей обговорюваних показників.

Встановлено, що кількісний вміст та якісний склад неполярних ліпідів в організмі *L. stagnalis* є тканинно-специфічним і варіює залежно від дії трематодної інвазії та іонів цинку.

Отже, ліпідна система тканин та органів *Lymnaea stagnalis* швидко реагує на зміну біотичних (трематодна інвазія) та абіотичних чинників (іони цинку), що носить адаптивний характер, проявляється в певних межах навантаження і спрямовано на підтримку гомеостазу досліджуваних тварин. **Ключові слова:** триацилгліцероли, диацилгліцероли, неестерифіковані жирні кислоти, моноацилгліцероли, холестерол, важкі метали, прісноводні моллюски.

### The influence of trematode invasion and low zinc ion concentration on the content of certain lipid groups in *Lymnaea stagnalis*. Kyrychuk G., Muzyka L., Kushnir L., Gordienko M.

The peculiarities of general lipid concentration and their separate nonpolar groups (triacylglycerols (TAG), diacylglycerols (DAG), monoacylglycerols (MAG), cholesterol, non-esterified fatty acids (NEFA)) in hemolymph, hepatopancreas, mantle and leg of *Lymnaea stagnalis* were researched in normal conditions and under the influence of biotic (trematode invasion) and abiotic factors (zinc ions).

The research shows that in hemolymph, hepatopancreas and leg of uninfested *L.stagnalis*, the effect of  $Zn^{2+}$  ions in a subthreshold concentration (0.5 MAC<sub>fish farming</sub>) causes a decrease in the content of total lipids (by 30.09–64.91% ( $p < 0.05$ )), and in the mantle of animals, an increase in indicators was recorded by 67.05% depending on conditions.

In the course of the research, it was established that in the environment without the addition of a toxicant, trematode invasion causes a decrease in the content of total lipids in the hepatopancreas and leg of *L. stagnalis* by 47.33–62.42% ( $p < 0.01–0.001$ ). At the same time, in the mantle, the content of total lipids increased by 2.02 times ( $p < 0.05$ ), and in the hemolymph, the indicators of the control and experimental groups were in the same range of values.

Due to the combined effect of trematode invasion and  $Zn^{2+}$  ions, a 47.37% decrease in the content of general lipids in the hemolymph of *L.stagnalis* and its increase by 34.56–62.36% ( $p \leq 0.01–0.05$ ) in the leg and mantle was recorded. In the hepatopancreas, no statistically significant differences in the discussed indicators were noted.

It was established that the quantitative content and qualitative composition of nonpolar lipids in the body of *L. stagnalis* is tissue-specific and varies depending on the effect of trematode infestation and zinc ions.

Hence, the lipid system of tissues and organs of *Lymnaea stagnalis* quickly reacts to changes in biotic (trematode invasion) and abiotic factors (zinc ions), which has an adaptive nature, manifests itself within certain load limits and is aimed at maintaining the homeostasis of the studied animals. **Key words:** triacylglycerols, diacylglycerols, non-esterified fatty acids, monoacylglycerols, cholesterol, heavy metals, freshwater clams.

**Постановка проблеми та актуальність дослідження.** Серйозною екологічною проблемою на сьогодні є забруднення природних вод іонами важких металів, що призводить до формування якісно нових умов середовища існування гідробіонтів та впливає на життя не лише окремих видів, популяцій, але і екосистеми загалом. Одним із пріоритетних забруднювачів гідроекосистем є цинк, який потрапляє

в природні води переважно в результаті антропогенної діяльності, в значних кількостях переноситься та випадає з атмосферними опадами, а також надходить в екосистему в результаті руйнування і розчинення гірських порід та мінералів [1, 3, 4, 5]. Цинк – есенціальний елемент для живих організмів, є кофактором ряду ферментів, бере участь в забезпеченні низки біологічних функцій, відіграє важливу роль

у біосинтезі нуклеїнових кислот, стабілізації клітинних мембран та захисті клітини від окислювального пошкодження [12]. Однак, при надходженні у водне середовище у концентраціях, що перевищують фізіологічно необхідні, цинк стає токсичним для гідробіонтів, проявляє гонадотоксичні й мутагенні властивості, пригнічує фотосинтез фітопланктону, знижуючи первинну продукцію водою і, відповідно, кормову базу водних тварин [5, 11]. Токсичність цинку для водних організмів, як відомо, визначається його концентрацією та тривалістю дії, може модулюватися залежно від дії чинників середовища, зокрема температури, рН водного середовища, вмісту розчиненого кисню та вуглекислого газу, присутності хелатувальних агентів, а також значною мірою обумовлюється антагонізмом іону металу з іншими іонами ВМ [2, 6].

Одним із біохімічних механізмів адаптації та формування токсикорезистентності гідробіонтів до дії іонів ВМ є модифікація в їх тканинах і органах вмісту ліпідів, які виконують широкий спектр біологічних функцій, є структурними компонентами біологічних мембран, сигнальними молекулами в клітинній регуляції та джерелом метаболічної енергії [10, 13].

Зважаючи на те, що проблема впливу іонів ВМ на вміст загальних ліпідів та їх окремих груп досить широко вивчена для морських молюсків та прісноводних риб, а для прісноводних молюсків це питання досі залишається дискусійним, дане дослідження є актуальним, становить теоретичний інтерес та має важливе практичне значення з точки зору використання його результатів для розкриття механізмів стійкості досліджуваної групи гідробіонтів до дії іонів цинку, а також для розробки методів біоіндикації та прогнозування змін у водних екосистемах.

**Матеріали та методи дослідження.** Матеріал дослідження: молюски виду *Lymnaea stagnalis* (Linnaeus, 1758), зібрані у жовтні 2022 р. в р. Гуйва (смт Новогуївинськ). Дослідження проводили у жовтні-листопаді 2022 р. в лабораторії біологічної хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка. Для експерименту відібрано однотипових особин зі стандартними розмірно-ваговими характеристиками ( $m = 4,92 \pm 1,84$  г;  $l = 45,4 \pm 3,91$  мм;  $h = 26,88 \pm 2,94$  мм), які визначали штангенциркулем та електронними вагами (Axis A500) з точністю до 0,01 г. Токсикологічному дослідженню передувала 14-добова аклімація тварин до лабораторних умов. Як токсикант використано  $ZnCl_2$ . В експерименті використано концентрацію іонів цинку 0,005 мг/л, яка відповідала 0,5 ГДК<sub>рибобосп.</sub> Розрахунок концентрації проведено на катіон. Інкубаційним середовищем для контрольної групи молюсків слугувала водопровідна дехлорована вода без додавання токсиканту. Для біохімічного дослідження відібрано гепатопанкреас, мантию та ногу, яку отримували, анатомуючи тварин, а також гемолімфу, отриману

методом прямого знекровлення. Трематодну інвазію виявляли на тимчасових гістологічних препаратах, виготовлених із тканин гепатопанкреасу *L. stagnalis*. Молюски були інвазовані редіями і церкаріями трематод родини Echinostomatidae.

Загальні ліпіди з тканин екстрагували сумішшю хлороформ-метанол у співвідношенні 2:1 за методом Фолча [8]. Кількість загальних ліпідів визначали ваговим методом. Розділення ліпідів на окремі групи здійснювали методом висхідної одновимірної тонкошарової хроматографії на пластинках «Silufol» в системі розчинників гексан-диетиловий ефір-льодяна оцтова кислота (співвідношення 70:30:1). Одержані хроматограми піддавали дії проявника, яким виступали пари кристалічного йоду. Кількість неполярних ліпідів визначали біхроматним методом [7]. Усі використані реактиви мали кваліфікацію ч.д.а.

Статистичну обробку результатів дослідження проводили загальноприйнятими статистичними методами із застосуванням t-критерію Ст'юдента. Розбіжності вважали статистично вірогідними при  $p \leq 0,05-0,001$ .

У процесі виконання експерименту норми біоетики порушені не були.

**Результати дослідження та їх обговорення.** Відомо, що зміна вмісту ліпідів в організмі гідробіонтів у відповідь на погіршення умов існування, зокрема токсичний вплив, свідчить з одного боку про пряме пошкодження ліпідів, а з іншого є показником розвитку клітинної адаптації до умов навколишнього середовища для підтримання життєво важливих функцій. Окрім цього, динаміка ліпідного вмісту характеризує швидкість й напрямок метаболізму ліпідів та рівень мобілізації пластичних та енергетичних процесів при адаптивних перебудовах обміну речовин [13].

Відомо, що значний вплив на пристосувальні можливості молюсків до змін умов навколишнього середовища здійснює паразитування в їх організмі партеніт трематод, які викликають глибокі гістопатологічні зміни в тканинах, що призводить до порушення метаболічної активності різних органів, дестабілізації метаболічних процесів, ослаблення тіла хазяїна та втрати ним лабільності [9, 12, 14].

Зважаючи на це, проаналізовано вплив іонів цинку на вміст загальних ліпідів в тканинах та органах неінвазованих *L. stagnalis* та з'ясовано динаміку обговорюваних показників за умови додаткового фізіологічного навантаження у вигляді трематодної інвазії.

Встановлено, що в середовищі без додавання токсиканту трематодна інвазія обумовлює зменшення вмісту ЗЛ у гепатопанкреасі *L. stagnalis* на 62,42% ( $p < 0,001$ ), що імовірно, пов'язано із локалізацією в органі партеніт трематод, які використовують резерви хазяїна для задоволення власних метаболічних потреб [14]. Окрім цього, така динаміка може свідчити про використання ліпідів для збереження

структурного гомеостазу та повернення фізичного стану мембрани до дії паразитарного чинника, адже відомо, що одним із наслідків впливу трематодної інвазії є розрідження ферментними системами паразитів мембран клітин зараженого органу. Аналогічну динаміку до зниження показників на 47,33% ( $p < 0,01$ ) зафіксовано у нозі моллюсків, що може свідчити про використання ліпідів на енергетичні витрати моллюсків при формуванні протиінфекційної відповіді.

Разом з цим, у мантиї вміст ЗЛ збільшувався в 2,02 рази ( $p < 0,05$ ), а у гемолімфі показники контрольної та дослідної груп знаходились в одному діапазоні величин (рис. 1).

Встановлено, що при додаванні у середовище іонів  $Zn^{2+}$  в допороговій концентрації (0,5 ГДК) вміст ЗЛ у гемолімфі, гепатопанкреасі та нозі неінвазованих *L. stagnalis* зменшується на

30,09–64,91% ( $p < 0,05$ ), що імовірно пов'язано із посиленням мобілізації ліпідів в умовах токсичного впливу та активацією ліполізу іонами цинку. Разом з тим, у мантиї тварин відмічено зростання обговорюваних показників на 67,05% щодо контролю (рис. 2).

Аналізуючи тканинно-органий розподіл досліджуваних показників відмічаємо, що в контрольній групі моллюсків найвищі значення загальноліпідного вмісту характерні для гепатопанкреасу, а найнижчі – для гемолімфи.

Метаболічний ряд у напрямку збільшення кількісного вмісту ЗЛ має наступний вигляд: гемолімфа → нога → мантия → гепатопанкреас. Це, очевидно, пов'язано із метаболічною функцією гепатопанкреасу, який слугує органом запасання та перерозподілу ліпідів в організмі гідробіонтів.

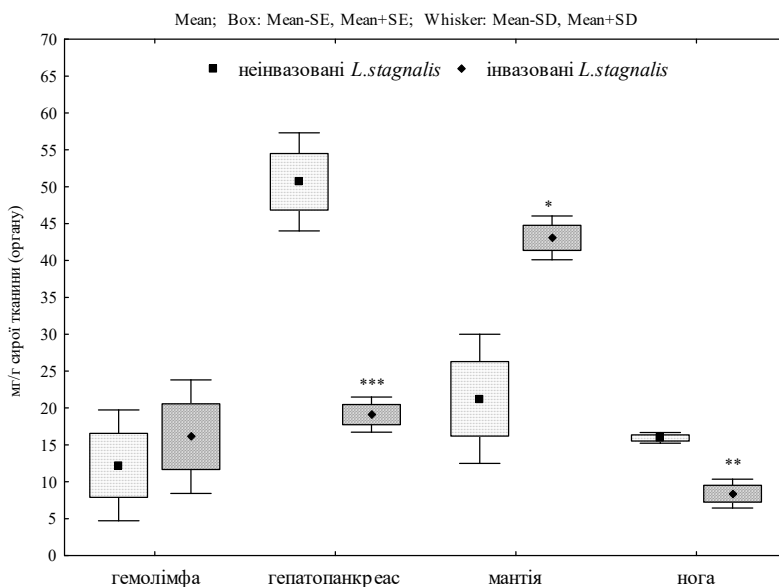


Рис. 1. Вплив трематодної інвазії на вміст ЗЛ в організмі *L. stagnalis*;  $M \pm m$ ,  $n=6$ ; \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$

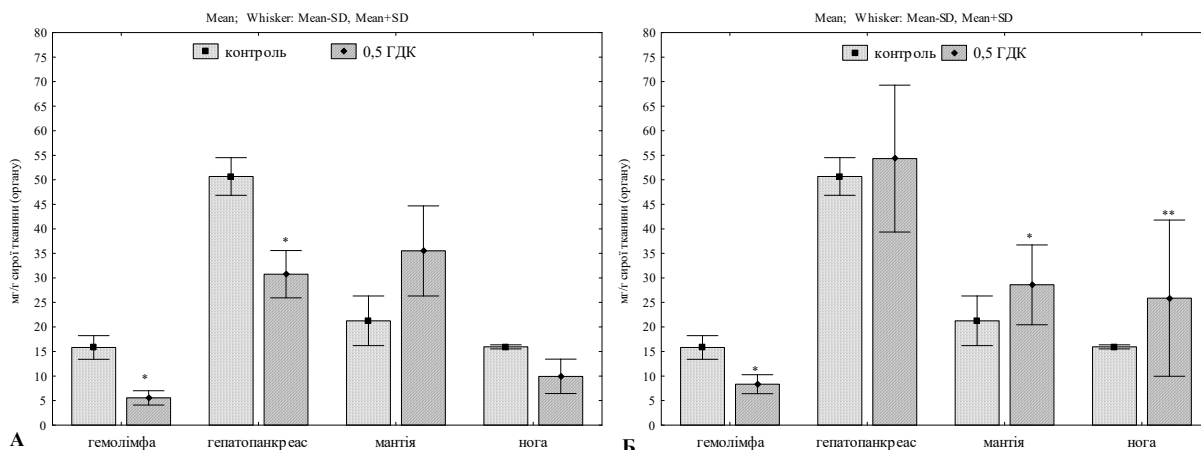


Рис. 2. Вплив іонів цинку (0,5 ГДК) та трематодної інвазії на вміст ЗЛ в організмі *L. stagnalis*: А – неінвазовані моллюски, Б – інвазовані моллюски;  $M \pm m$ ,  $n=6$ ; \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$

Сумісна дія трематодної інвазії сукупно із дією  $Zn^{2+}$  призводить до зниження показників на 47,37% у гемолімфі та їх підвищення на 34,56–62,36% ( $p \leq 0,01-0,05$ ) у нозі й мантиї. Таке збільшення кількості загальних ліпідів у нозі та мантиї свідчить, імовірно, про активацію анаболічних процесів та мобілізацію ліпідів як джерела метаболічної енергії в цих органах. Одночасно з цим, у гепатопанкреасі тварин показники контрольної та дослідної груп були величинами одного порядку, що, імовірно пов'язано, із механічним ураженням гепатопанкреасу трематодами, що призводить до структурних змін та порушення його метаболічної функції.

З'ясовано, що дія іонів цинку (0,5 ГДК) викликає тканинно-специфічні зміни у співвідношенні окремих неполярних ліпідів (ТАГ, ДАГ, МАГ, ХЛ та НЕЖК) в організмі *L. stagnalis*. При внесенні у середовище  $Zn^{2+}$  зафіксовано зменшення вмісту ТАГ у гепатопанкреасі та нозі *L. stagnalis* на 13,86–24,39% ( $p < 0,05$ ), що може свідчити з одного боку про гідроліз триацилгліцеролів задля забезпечення метаболізму необхідною енергією, а з іншого про використання ліпідної групи як джерела жирних кислот для синтезу фосфоліпідів для підтримки структурного гомеостазу клітини. Одночасно з цим, у гемолімфі тварин встановлено збільшення показників на 41,58% ( $p < 0,05$ ), а у їх мантиї не встановлено статистично достовірних відмінностей між контрольною та дослідною групами.

Додаткове фізіологічне навантаження у вигляді трематодної інвазії сукупно із дією  $Zn^{2+}$  викликає збільшення вмісту ТАГ в гепатопанкреасі (в 2,04 раза ( $p < 0,01$ )), його зниження на 30,29% у мантиї, а у гемолімфі та нозі показники контрольної та дослідної групи були величинами одного порядку.

З'ясовано, що внесення у середовище 0,5 ГДК іонів  $Zn^{2+}$  викликає збільшення вмісту ДАГ на 23,46–56,63% у гемолімфі та гепатопанкреасі молюсків. У мантиї та нозі *L. stagnalis* за таких умов експерименту не зафіксовано статистично достовірних відмінностей. За сумісної дії іонів цинку та трематодної інвазії відмічено збільшення вмісту диацилгліцеролів в усіх досліджених органах молюсків (на 12,84–47,09%), а у гемолімфі не встановлено статистично достовірних змін.

Дещо відмінну тенденцію зафіксовано для МАГ, вміст яких за дії  $Zn^{2+}$  зменшувався на 46,93% у нозі та знаходився на рівні значень контрольної групи у мантиї. Сумісний вплив чинників (іони цинку та трематодна інвазія) призводив до збільшення показників в 2,13 раза у нозі *L. stagnalis* та не обумовлював

статистично достовірних змін у їх мантиї. У гепатопанкреасі та гемолімфі молюсків незалежно від умов дослідження МАГ виявлено не було.

Щодо вмісту НЕЖК, то за дії  $Zn^{2+}$  їх показники зростали у гепатопанкреасі на 18,08% ( $p < 0,05$ ), що очевидно свідчить про посилення катаболічних процесів в органі та мобілізацію жирнокислотних резервів для адаптивних перебудов. Спрямування метаболізму ліпідів в напрямку ліполізу в гепатопанкреасі підтверджується зниженням вмісту в ньому триацилгліцеролів за аналогічних умов експерименту. У мантиї та нозі зафіксовано зменшення показників на 34,23–34,32%, а у гемолімфі чинник не викликав статистично достовірних змін щодо вмісту НЕЖК. Таку ж динаміку зафіксовано і при додатковому фізіологічному навантаженні (трематодна інвазія), адже відмічено зменшення значень у нозі й мантиї (на 27,70–32,48%) та їх збільшення в 2,21 раза у гепатопанкреасі ( $p < 0,05$ ). Виняток – гемолімфа тварин, у якій за таких умов експерименту вміст НЕЖК збільшувався на 46,78%.

Щодо вмісту холестеролу, то його показники зростали в 1,59–2,88 раза ( $p \leq 0,05-0,001$ ) у гепатопанкреасі й гемолімфі, що обумовлено мембранорегулюючою функцією стеролів, збільшення кількості яких призводить до ущільнення мембран та зменшення їх проникності. У мантиї та нозі *L. stagnalis* обговорюваної ліпідної групи виявлено не було.

**Висновки.** Отже, кількісні показники загальних ліпідів та окремих груп неполярних ліпідів в організмі *L. stagnalis* є органоспецифічними та значно варіюють залежно від дії іонів цинку та трематодної інвазії.

Встановлено, що вплив іонів  $Zn^{2+}$  в допороговій концентрації (0,5 ГДК) призводить до зменшення вмісту загальних ліпідів на 30,09–64,91% ( $p < 0,05$ ) у гемолімфі, гепатопанкреасі й нозі неінвазованих *L. stagnalis* та обумовлює збільшення показників на 67,05% у їх мантиї.

Найвищими показниками ліпідного вмісту незалежно від дії іонів цинку характеризується гепатопанкреас молюсків, а найнижчими – їх гемолімфа.

Встановлено, що дія іонів цинку та трематодна інвазія викликають зміни у співвідношенні окремих груп неполярних ліпідів в організмі *L. stagnalis*, причому динаміка обумовлюється природою діючого чинника та є тканинно-специфічною.

Результати представленої дослідження можуть стати фундаментом для розробки чутливих тест-систем екологічного та біохімічного моніторингу прісноводних екосистем.

### Література

1. Hameed M., Dijoo Z. K., Bhat R. A., Qayoom I. Concerns and threats of heavy metals' contamination on aquatic ecosystem. *Bioremediation and Biotechnology, Vol. 4: Techniques for Noxious Substances Remediation*. 2020. P. 1–19.
2. Skidmore J. F. Toxicity of zinc compounds to aquatic animals, with special reference to fish. *The quarterly review of Biology*. 1964. 39 (3). P. 227–248. doi:10.1086/404229

3. Deb S. C., Fukushima T. Metals in aquatic ecosystems: mechanisms of uptake, accumulation and release-Ecotoxicological perspectives. *International Journal of Environmental Studies*. 1999. 56 (3). P. 385–417. doi: 10.1080/00207239908711212
4. Liang L. N., Hu J. T., Chen D. Y., Zhou Q. F., He B., & Jiang G. B. Primary investigation of heavy metal contamination status in mollusks collected from Chinese coastal sites. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*. 2004. 72. P. 937–944. doi:10.1007/s00128-004-0334-z
5. Дудник С. В., Євтушенко М. Ю. Водна токсикологія: основні теоретичні положення та їхнє практичне застосування : монографія. К. : Вид-во Українського фітосоціологічного центру, 2013.
6. Linnik P. N., Zhezherya V. A., Zubenko I. B. Content of metals and forms of their migration in the water of the rivers of the Pripyat River Basin. *Hydrobiological Journal*. 2012. P. 48(2). P. 85–101. doi:10.1615/hydrobj.v48.i2.90
7. Kates M. Isolation, analysis and identification of lipids. *Techniques in Lipidology*. 1972. P. 268–618.
8. Folch J., Lees M., Sloane Stanley A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *J Biol Chem*. 1957. 226 (1). P. 497–509. doi:10.1016/s0021-9258(18)64849-5
9. Музика Л., Киричук Г. Вплив трематодної інвазії на вміст деяких груп ліпідів в організмі ставковика звичайного. *Notes in Current Biology*. 2020. 1 (389). С. 66–71. doi: <https://doi.org/10.29038/2617-4723-2020-1-389-66-71>
10. Chan C. Y., Wang W.X. A lipidomic approach to understand copper resilience in oyster *Crassostrea hongkongensis*. *Aquat. Toxicol.* 2018. 204. P. 160. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2018.09.011>
11. Marreiro D. D. N., Cruz K. J. C., Morais J. B. S., Beserra J. B., Severo J. S., & De Oliveira A. R. S. Zinc and oxidative stress: current mechanisms. *Antioxidants*. 2017. 6 (2). 24. doi:10.3390/antiox6020024
12. Shakarbaev U. A., Mingbaev A. S., Akramova F. D., Shakarboev E. B., & Azimov D. A. Changes in the structure and functions of mollusc organs under the effect of *Orientobilharzia turkestanica* larvae. *Vestnik zoologii*. 2013. 47 (5). P. 57–61. doi: 10.2478/vzoo-2013-0049
13. Попова Е. М., Коцкій І. В. Ліпіди як компонент адаптації риб до екологічного стресу. *Рибогосподарська наука України*. 2007. 1. P. 49–56.
14. Charron A. J., Sibley L. D. Host cells: mobilizable lipid resources for the intracellular parasite *Toxoplasma gondii*. *Journal of cell science*. 2002. 115 (15). P. 3049–3059. doi: 10.1242/jcs.115.15.3049

## СУЧАСНИЙ СТАН РІДКІСНИХ І ЗНИКАЮЧИХ ВИДІВ СОВКОПОДІБНИХ (LEPIDOPTERA, NOCTUOIDEA) ПРИМІСЬКОЇ ЗОНИ М. ЖИТОМИР

Ковтун Т.І.

Поліський національний університет  
Старий Бульвар, 7, 10008, м. Житомир  
igkov@ukr.net

Совкоподібні лускокрилі (Lepidoptera, Noctuoidea) є важливою складовою ентомоценозу приміської зони м. Житомир. Проведено еколого-фауністичний аналіз комплексу рідкісних і зникаючих видів совкоподібних (Lepidoptera, Noctuoidea) приміської зони м. Житомир. Матеріалом дослідження слугували зібрані 3635 екземплярів метеликів, що належать до 146 видів, 24 підродин, 3 родин. В досліджуваному ентомокомплексі виявлено 13 рідкісних і зникаючих видів, що складає 8,9% від загальної кількості виявлених видів. Із них *Staurophora celsia* та *Catocala fraxini* занесені до Червоної книги України. Аналіз зоогеографічної структури досліджуваної групи Noctuoidea показав, що 46,1% складають види Трансєвразійського комплексу та 23,1% – види Європейсько-середземноморського комплексу. Решта зоогеографічних комплексів представлені одним видом. У досліджуваній групі Noctuoidea виділено 3 гігропреферентні групи: 38% видів належить до мезофілів, 31% – до мезоксерофілів та 31% – до групи гігрофілів. Встановлено, що за характером трофічної спеціалізації гусені всі виявлені види є фітофагами. Частка широких поліфагів складає 8%, а вузьких поліфагів – 54%. Частка видів, що належать до широких олігофагів, становить 8%, а вузьких олігофагів – 15%. До групи ультрамонофагів належить 15% виявлених видів. З'ясовано, що види досліджуваного ентомокомплексу належать до 2 термопреферентних груп: 9 видів (69,3%) є термо-індиферентними та 4 види (30,7%) належить до термофілів. Встановлено, що за відношенням до просторової структури оселищ 10 видів (76,9%) заселяють відкриті біотопи та 3 види (23,1%) є мешканцями напіввідкритих та закритих біотопів. Всі види досліджуваної групи є стенобіонтами, вразливими до змін середовища існування, та потребують охорони. Основною причиною зниження чисельності досліджуваних видів в приміській зоні Житомира є спонтанні сукцесії, які супроводжуються заростанням відкритих біотопів деревною та чагарниковою рослинністю. Для охорони рідкісних і зникаючих видів совкоподібних (Lepidoptera, Noctuoidea) приміської зони м. Житомир необхідно підтримувати гетерогенність та забезпечувати оптимальну просторову структуру оселищ. *Ключові слова:* еколого-фауністичний аналіз, зоогеографічна структура, трофічна спеціалізація гусені, просторова структура біотопів.

### Current condition of rare and threatened species of the Noctuoidea (Lepidoptera) of Zhytomyr suburban area. Kovtun T.

The Noctuoidea (Lepidoptera) are an important component of the entomocenosis of Zhytomyr suburban area. Ecological-faunistic analysis of Noctuoidea (Lepidoptera) rare and threatened species complex of Zhytomyr suburban area was conducted. The material of research was 3,635 specimens of butterflies that appertain to 146 species, 24 subfamilies, 3 families. It was revealed 13 rare and threatened species of researched entomocomplex that is 8.9% of the total number of detected species. *Staurophora celsia* and *Catocala fraxini* are listed in the Red Book of Ukraine. Analysis of the zoogeographical structure of the studied group Noctuoidea showed that 46,1% of species are belongs to the Trans-Euroasian complex and 23,1% belongs to European-Mediterranean complex. The rest of the zoogeographic complexes are represented by one species. It was selected 3 hygropreferent groups of researched Noctuoidea: 38% of species are belongs to mesophilous, 31% – to mesoxerophilous and 31% – to hygrophilous. It was found that all discovered species are phytophagous by the nature of trophic specialization. 15% of the detected species belong to the group of ultramonophagous. The fraction of broad polyphagous is 8%, narrow polyphagous – 54%. The fraction of broad oligophagous is 8%, narrow oligophagous – 15%. It was discovered that species of researched entomocomplex belong to 2 thermopreferential groups: 9 species (69,3%) are thermo-indifferent and 4 species (30,7%) are thermophiles. It was researched that 10 species (76,9%) inhabit open biotopes and 3 species (23,1%) inhabit semi-open and closed biotopes in relation to the spatial structure of habitat. All species of researched group are stenobionts, they are vulnerable to habitat changes and in need of protection. The main reason for the decrease in the number of studied species of Zhytomyr suburban area is spontaneous successions which are accompanied by overgrowth of open biotopes with tree and shrub vegetation. It is necessary to maintain heterogeneity and to ensure the optimal spatial structure of habitat for the protection of rare and threatened species Lepidoptera, Noctuoidea of Zhytomyr suburban area. *Key words:* ecological-faunistic analysis, zoogeographical structure, caterpillar trophic specialization, spatial structure of biotopes.

**Постановка проблеми.** Совкоподібні лускокрилі (Lepidoptera, Noctuoidea) – найбільша надродина серед метеликів України. Представники даної таксономічної групи характеризуються надзвичайною екологічною пластичністю та нерідко займають домінуюче місце в багатьох ентомоценозах. Водночас, у фауні Noctuoidea України (673 види) виділяють 14 видів, що занесені до «Червоної книги України»,

29 видів, що потребують невідкладних заходів охорони та 276 вразливих видів, які зустрічаються дуже локально, в незначній кількості, та зникли в багатьох місцях внаслідок антропогенної діяльності [1].

Приміська зона м. Житомир є надзвичайно цікавою з точки зору вивчення нокутоїдної лепідофауни. Адже даний район характеризується різноманіттям біотопів та екологічних умов, що впливають на фор-

мування досліджуваних ентомокомплексів [2]. Крім того, в приміській зоні м. Житомир спостерігаються основні процеси, що впливають на зниження чисельності совкоподібних: деградація природних оселищ та різні види антропогенної діяльності.

**Актуальність дослідження.** Багаторічні дослідження приміської зони м. Житомир показують не лише зростання антропогенного тиску на природні місця перебування совкоподібних, а й постійні зміни характеру та інтенсивності такого тиску [2]. Зокрема, зміна традиційного землекористування (припинення вирощування сільськогосподарських культур, викошування трави, випасання худоби) призводить до спонтанних сукцесійних процесів, які супроводжуються заростанням та змиканням деревно-чагарникового покриву. Це створює загрозу для мезоксерофільних видів, які надають перевагу відкритим ділянкам. Тому виявлення факторів загрози регіональному комплексу рідкісних і зникаючих видів совкоподібних є надзвичайно актуальним.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Проведення локальних досліджень сучасного стану рідкісних і зникаючих видів Noctuoidea сприяє кращому розумінню факторів, що впливають на зменшення їх чисельності та різноманіття, та дозволяє розробити більш ефективні заходи їх охорони.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Значну увагу дослідників привертають проблеми розробки стратегії збереження видового різноманіття комах та оцінки необхідності охорони рідкісних видів комах [3, 4, 5, 6]. Важливим інструментом вирішення цієї проблеми є створення охоронних списків різного рівня, зокрема, Червоної книги України [7, 8].

Вивчення рідкісних і зникаючих видів Noctuoidea проводилось під час дослідження фауни рідкісних видів лускокрилих (Lepidoptera) різних регіонів України. Зокрема, дослідження Геряка Ю.М. та Канарського Ю.В. у Львівській області [9]; Голобородька К.К. та Махіної В.О. в Національному природному парку «Великий Луг» [10] та в долині ріки Оріль [11].

Сучасний стан та поширення рідкісних видів ноctuоїдних лускокрилих (Lepidoptera, Noctuoidea) був предметом вивчення багатьох авторів. Варто відмітити роботу Ключко З.Ф. та Матова А.Ю., присвячену вивченню цієї групи совок у фауні України [12]. Питання охорони рідкісних видів Noctuoidea Українських Карпат розглядаються в роботі Геряка Ю.М. [13]. Пархоменко В.В., Геряк Ю.М. під час вивчення фауни надродина Noctuoidea національного природного парку «Деснянсько-Старогутський» особливу увагу приділяють рідкісним та зникаючим видам [14]. Варто відмітити роботи, де вивчаються біолого-екологічні особливості окремих видів, що охороняються [15].

Важливим напрямом подібних досліджень є вивчення екологічних особливостей даної групи

видів, що дає можливість запропонувати більш ефективні заходи з охорони совкоподібних в цілому. Вирішенню таких завдань присвячені роботи Канарського Ю.В. [16, 17].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Метою дослідження було вивчення сучасного стану рідкісних і зникаючих видів совкоподібних (Lepidoptera, Noctuoidea) приміської зони м. Житомир. Досягнення даної мети передбачало виконання наступних завдань: 1) виявлення рідкісних і зникаючих видів совкоподібних та встановлення їх чисельності; 2) аналіз їх екологічної спеціалізації; 3) розробка заходів охорони досліджуваної групи видів ноctuоїдної ентомофауни.

**Новизна.** Проведено еколого-фауністичний аналіз комплексу рідкісних і зникаючих видів совкоподібних (Lepidoptera, Noctuoidea) приміської зони м. Житомир. Запропоновано заходи охорони цієї групи метеликів на локальному рівні. Виявлені основні фактори, що впливають на стан цих метеликів в досліджуваному районі.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Результати проведеного дослідження доповнюють відомості щодо фауни рідкісних і зникаючих видів Noctuoidea північних районів України, а також можуть бути використані при розробці регіональних та локальних програм із збереження біорізноманіття як лепідофауни в цілому, так і ноctuоїдної ентомофауни зокрема.

**Матеріали та методи дослідження.** Виявлення рідкісних і зникаючих видів фауни совкоподібних приміської зони м. Житомир виконували на основі матеріалів зборів, що проводились протягом польових сезонів 2011–2022 років в районі села Березівка, Житомирського району, Житомирської області. Район зборів (рис. 1), площею близько 5 га, розташований на східній околиці села Березівка в 15 км від міста Житомир. З півночі та заходу район зборів обмежений меліоративними каналами; з південної сторони ділянка обмежена дубовою полезахисною смугою. Східна частина району зборів зайнята низькорослою деревною та чагарниковою рослинністю. У північно-східному напрямку знаходиться частково заболочене багно, заросле вільхою сірою (*Alnus incana* L.), осокою (*Carex*) та малиною (*Rubus idaeus* L.). Значну частину району займають індивідуальні городи та пасовища. В районі зборів відбувається інтенсивне лісовідновлення за рахунок припинення розорювання деякої частини полів та зниження пасовищного навантаження.

Збори метеликів проводили на двох постійних пунктах обліку протягом польового сезону двічі на місяць, використовуючи світлові пастки, за загальноприйнятими ентомологічними методиками (Фасулати, 1971; Горностаєв, 1984). Визначення матеріалу здійснювали з використанням 13-ти томного видання Noctuidae Europaeae, 1990–2011.



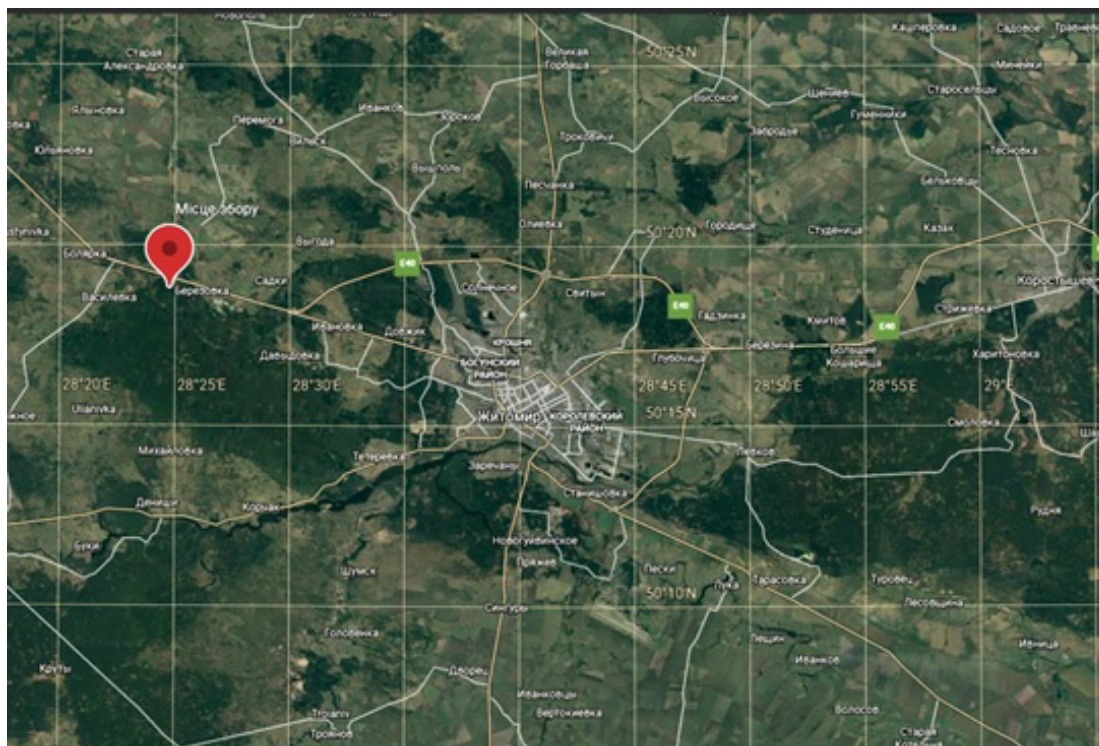


Рис. 1. Карта-схема району зборів совкоподібних у приміській зоні м. Житомир

Рідкісні та зникаючі види виділяли, користуючись Червоною книгою України [18] та відомостями, наведеними в роботі Ключко З.Ф., де такі види визначаються як «види, що зустрічаються дуже локально та в невеликій кількості, зникли в багатьох місцях у зв'язку із господарською діяльністю людини» [1].

Використовували критерії відносної чисельності виявлених видів, запропоновані в роботі Пархоменка В.В. та Геряка Ю.М. [14] та Канарського Ю.В. [17]. Якщо протягом періоду зборів (2011–2022 роки) виявлено менше 10 особин, вид вважається рідкісним (субрецентний вид, лічені знахідки поодиноких особин). Якщо вид реєструється поодиноким та спорадично (від 11 до 20 особин у зборах), він є нечисленим (рецентний вид зі стабільно низькою чисельністю). Якщо ж у зборах зареєстровано від 21 до 50 особин, вид вважається звичайним (трапляється систематично, але менш часто і численно порівняно із численими видами). Коректність визначення частоти трапляння рідкісних і зникаючих видів в приміській зоні Житомира можна обґрунтувати тривалим періодом проведення зборів (12 років).

Трофічну, зоогеографічну та екологічну структури комплексу рідкісних і зникаючих видів фауни совкоподібних приміської зони м. Житомир визначали на підставі власних досліджень [2, 19] та робіт інших авторів [20, 21, 22].

**Викладення основного матеріалу.** Впродовж польових сезонів 2011–2022 років в досліджуваному районі зібрано 3635 екземплярів метеликів, що належать до 146 видів, 24 підродин, 3 родин. Під час ана-

лізу зібраного матеріалу виявлено 13 рідкісних і зникаючих видів Noctuoidea (табл. 1), які відносяться до 2 родин та 7 підродин. Це становить 8,9% від загальної кількості виявлених видів. Слід відзначити, що у фауні совкоподібних України частка таких видів складає 47,4% [1].

Частота трапляння рідкісних і зникаючих видів в регіоні Українських Карпат визначалась за роботою Геряка Ю.М. [22].

Отже, на основі аналізу відносної чисельності встановлено, що в досліджуваній групі видів Noctuoidea приміської зони м. Житомир абсолютна більшість (92,3%) належить до рідкісних видів. Лише 1 вид (7,7%) належить до групи звичайних видів. До категорії нечислених не віднесено жодного виду досліджуваного району. Разом з тим, у ноctuоїдній лепідоптерофауні Українських Карпат розподіл за категоріями відносної чисельності досліджуваних видів суттєво відрізняється. До групи рідкісних належить 15,4% видів; нечисленими є 53,8% видів та звичайними – 30,8%. Варто відмітити, що Совка дівоча *Eucarta virgo* (Treitschke, 1835), яку Ключко З.Ф. [1] визначає як вид, що зустрічається локально та в невеликій кількості, і в приміській зоні Житомира, і в регіоні Українських Карпат належить до групи звичайних видів.

Причиною зменшення чисельності нічних метеликів називають зникнення або деградацію природних місць їх перебування, що пов'язано із господарською діяльністю людини [1]. Тому, крім виявлення рідкісних і зникаючих видів Noctuoidea приміської зони м. Житомир, важливим є аналіз їх екологічної спеціалізації.

## Перелік рідкісних і зникаючих видів Noctuoidea фауни приміської зони м. Житомир

№	Назва	Категорія		
		Червона книга України	Частота трапляння	
			Приміська зона м. Житомир	Українські Карпати
Родина Noctuidae Latreille, 1809				
Підродина Noctuinae Latreille, 1809				
1	Совка прямокутна <i>Chersotis rectangula</i> ([Denis et Schiffermüller], 1775)	–	Рідкісний	Рідкісний
2	Совка земляна ряба <i>Lycophotia porphyrea</i> ([Denis et Schiffermüller], 1775)	–	Рідкісний	Нечисленний
3	Совка хитрунка <i>Rhyacia simulans</i> (Hufnagel, 1766)	–	Рідкісний	Нечисленний
Підродина Xyleninae Guenee, 1852				
4	Совка розкішна <i>Staurophora celsia</i> (L., 1758)	Рідкісний	Рідкісний	–
5	Совка очеретяна бліда <i>Globia sparganii</i> (Esper, 1790)	–	Рідкісний	Нечисленний
6	Совка очеретяна двоплямиста <i>Lenisa geminipuncta</i> (Haworth, 1809)	–	Рідкісний	Рідкісний
7	Совка стеблова осокова <i>Denticucullus pygmina</i> (Haworth, 1809)	–	Рідкісний	Нечисленний
8	Совка злакова бурувато-сіра <i>Lateroligia ophiogramma</i> (Esper, 1794)	–	Рідкісний	Нечисленний
Підродина Plusiinae Boisduval, 1828				
9	Абростоля ластівнева <i>Abrostola asclepiadis</i> ([Denis et Schiffermüller], 1775)	–	Рідкісний	Нечисленний
Підродина Bryophilinae Guenée, 1852				
10	Крифія жовтувата <i>Cryphia algae</i> (Fabricius, 1775)	–	Рідкісний	Звичайний
Підродина Condicinae Poole, 1995				
11	Совка дівоча <i>Eucarta virgo</i> (Treitschke, 1835)	–	Звичайний	Звичайний
Підродина Eriopinae Herrich-Schäffer, 1851				
12	Совка червонувата пухнастонога <i>Callopietria juvenina</i> (Stoll, 1782)	–	Рідкісний	Нечисленний
Родина Erebidae Leach, 1815				
Підродина Erebinae Leach, 1815				
13	Стрічкарка блакитна <i>Catocala fraxini</i> (L., 1758)	Вразливий	Рідкісний	Нечисленний

Строкатість умов існування в приміській зоні м. Житомир сприяє формуванню цікавого зоогеографічного комплексу досліджуваної групи совкоподібних (рис. 2). Аналіз хорологічного складу за довготною складовою ареалу виявив, що всі рідкісні та зникаючі види Noctuoidea належать до Палеарктичного надкомплексу. Найбільшу частку в ньому (46,1%) складають види Трансєвразійського комплексу, в якому 5 видів належать до трансєвразійського температурного підкомплексу (зокрема, *Staurophora celsia*, *Catocala fraxini*). Тобто, 2 види, занесені до Червоної книги України, належать саме до цього хорологічного підкомплексу. Ще 1 вид, *Denticucullus pygmina*, входить до складу суббореального підкомплексу. Європейсько-середземноморський комплекс охоплює 3 види (23,1%) (*Lenisa geminipuncta*, *Abrostola asclepiadis*, *Cryphia algae*). Решта зоогеографічних комплексів представлені одним видом.

У фауні рідкісних і зникаючих видів Noctuoidea приміської зони м. Житомир можна виділити 3 гігро-

преферентні групи (рис. 3). Найбільш чисельними є мезофіли – 5 видів. Із них, *Callopietria juvenina* є лісовим видом, решта видів надають перевагу відкритим біотопам з помірними зволоженням. Гігрофіли представлені 4 видами, для яких характерними біотопами є береги водойм та мокрі луки. Решта 4 види досліджуваного ентомокомплексу належить до мезоксерофілів, які зустрічаються як в сухих, так і в помірно зволжених біотопах. Всі вони зустрічаються на луках, пустищах та екотонних стаціях.

Досить різноманітною є трофічна спеціалізація гусені досліджуваних видів совкоподібних (рис. 4).

Всі виявлені види є фітофагами. При цьому 8 видів належить до поліфагів, з них 7 видів є вузькими поліфагами та лише *Rhyacia simulans* є широким поліфагом. До групи олігофагів ми віднесли 3 види, з них *Staurophora celsia* належить до широким олігофагів, а *Abrostola asclepiadis* та *Cryphia algae* – до вузьких. Варто відмітити, що *Lenisa*

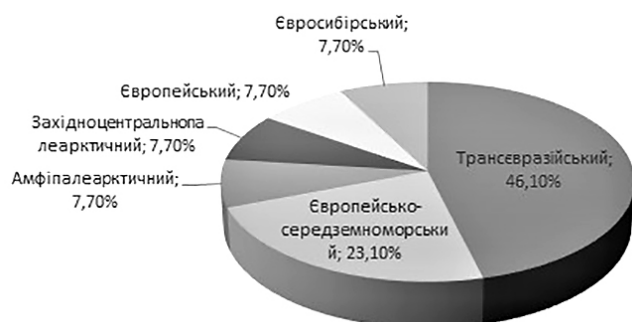


Рис. 2. Зоогеографічна структура комплексу рідкісних і зникаючих видів Noctuoidea приміської зони м. Житомир

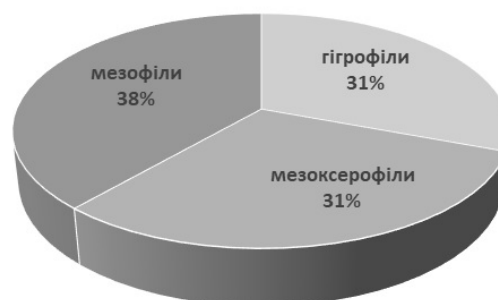


Рис. 3. Гігропреферентні комплекси рідкісних і зникаючих видів Noctuoidea приміської зони м. Житомир

*geminipuncta* та *Callopietria juvenina* визначаються як ультрамонофаги.

В досліджуваному комплексі Noctuoidea можна виділити 2 термопреферентні групи: 9 видів (69,3%) є термо-індіферентними та 4 види (30,7%) належить до термофілів.

Аналіз приуроченості рідкісних і зникаючих видів Noctuoidea приміської зони м. Житомир до просторової структури біотопів виявив, що 10 видів (76,9%) заселяють відкриті біотопи та 3 види (23,1%) є мешканцями напіввідкритих та закритих біотопів.

**Головні висновки.** Комплекс рідкісних і зникаючих видів Noctuoidea приміської зони Житомира складають 13 видів, які відносяться до 2 родин та 7 підродин. В досліджуваній ентомофауні зафіксовано 2 види совки, які занесені до Червоної книги України. За частотою трапляння більшість досліджуваних видів (92,3%) належить до групи рідкісних, тобто це субрецидентні види, відмічені лічені знахідки поодиноких особин. Зоогеографічний комплекс досліджуваної групи совкоподібних налічує 6 груп. Найбільшу частку в ньому (46,1%) складають види трансєвразійського комплексу. Аналіз трофічного спектру гусені досліджуваних видів показав, що більшість з них (53,8%) є вузькими поліфагами, натомість значну частку становлять вузькі олігофаги (15,4%) та ультрамонофаги (15,4%). Аналіз екоотопних преференцій виявив, що всі види досліджуваного ноctuоїдного комплексу є стенобіонтами, мають високі вимоги до середовища існування та приурочені до певних типів біотопів. В зв'язку із цим, вони потребують охорони, принаймні, на регіональному та локальному рівні. Найбільшим фактором ризику для таких видів в приміській зоні Житомира, на нашу думку, є спонтанні сукцесії, які супроводжуються заростанням відкритих біотопів деревною та

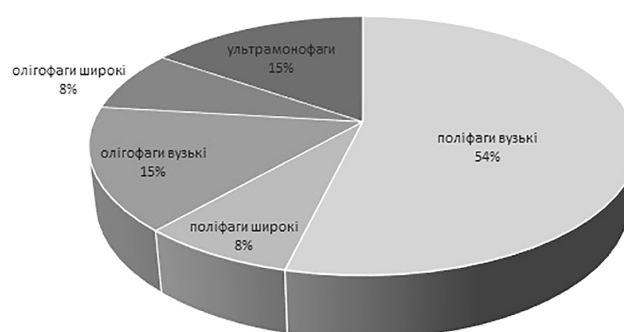


Рис. 4. Трофічна спеціалізація гусені комплексу рідкісних і зникаючих видів Noctuoidea приміської зони м. Житомир

чагарниковою рослинністю. Значну роль також відіграє часткове пересихання водойм та випадки осінньо-весняного випалювання сухого травостою.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Отримані результати дослідження можуть бути використані для проведення моніторингу стану популяцій рідкісних і зникаючих видів Noctuoidea на регіональному та локальному рівнях. Це дозволить розробити ефективні заходи з охорони та збереження біорізноманіття цієї групи нічних метеликів. Для приміської зони м. Житомир, на наш погляд, доцільно запропонувати наступні заходи. З метою підтримання сталої просторової структури біотопів слід застосовувати мозаїчне, нерегулярне викошування трави, а також екстенсивне випасання худоби. За умови прогресуючої сукцесії доцільно проводити вирізання молодої деревно-чагарникової рослинності. Крім того, важливо контролювати дотримання заборони на випалювання сухого травостою та очерету по берегах місцевих водойм.

### Література

1. Ключко З. Ф. Совки України. К.: В. Раєвського, 2006. 248 с.
2. Ковтун Т. І., Климчук О. О. Ландшафтно-біотопічний та зоогеографічний аналіз надродини Noctuoidea (Lepidoptera) приміської зони м. Житомир. *Наукові горизонти. Scientific Horizons*, 2020. № 05 (90), С. 65–72. doi: <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-90-5-65-72>

3. Баганич М. І. Збереження різноманітності комах в умовах заповідного режиму. Екологічні основи оптимізації режиму охорони і використання природно-заповідного фонду: тези доп. міжнар. наук.-практ. конф., присвяч. 25-річчю Карпатського біосф. запов. (м. Рахів 11–15 жовтня 1993 р.). Рахів, 1993. С. 127–129.
4. Кулак А. В. Стратегия сохранения видового разнообразия насекомых. Ч. 1: Оценка необходимости охраны редких видов насекомых. Ч. 2: Методика выделения видов для Красной книги. Красная книга Республики Беларусь: состояние, проблемы, перспективы. мат. респ. науч. конф. (Витебск, 12–13 дек. 2002 г.). Изд-во УО «ВГУ им. П. М. Машерова», 2002. С. 137–140.
5. Settele J., Kudrna O., Harpke A. et al. Climatic risk atlas of European butterflies. *BioRisk 1* (Special Issue). Sofia-Moscow: Pensoft, 2008. 709 p.
6. Thomas J. A. The conservation of butterflies in temperate countries: Past efforts and lessons for the future. *The biology of butterflies. Symposium of the Royal Entomological Society 11*. London: Academic Press, 1984. 333–353 p.
7. Канарський Ю. В. Проблема охорони раритетних видів комах і концепція Червоної книги. *Наук. осн. збереж. біот. різном.*: мат. 10-ї наук. конф. мол. учених (м. Львів, 7–8 жовтня 2010). Львів, 2010. С. 18–24.
8. Maes D., Verovnik R., Wiemers M. et al. Integrating national Red Lists for prioritising conservation actions for European butterflies. *Journal of Insect Conservation*. Springer Nature Switzerland AG, 2019. 30 p. URL.: <https://doi.org/10.1007/s10841-019-00127-z>
9. Геряк Ю. М., Канарський Ю. В. Рідкісні та зникаючі види лускокрилих (Lepidoptera) у Львівській області: сучасні стан і поширення. *Наукові записки Державного природознавчого музею*, Львів, 2006. Вип. 22. С. 141–154.
10. Голобородько К. К., Махіна В. О. Лускокрилі (Lepidoptera), які охороняються в Національному природному парку «Великий Луг». *Вісник Дніпропетровського університету*. Дніпропетровськ, 2013. Серія: Біологія, екологія, Вип. 21(2). С. 89–94.
11. Голобородько К. К., Пахомов О. Є., Махіна В. О. Глобально рідкісні види лускокрилих (Lepidoptera) долини р. Оріль. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна*. Харків, 2015. Серія: Біологія, Вип. 25. С. 172–179.
12. Ключко З. Ф., Матов А. Ю. Редкие и малоизвестные виды совок (Lepidoptera, Noctuidae) фауны Украины. *Вестник зоологии*, 2008. Т. 42, № 2. С. 114.
13. Геряк Ю. М. Питання охорони рідкісних видів ноctuоїдних лускокрилих (Lepidoptera, Noctuoidea) Українських Карпат. Конференція молодих дослідників-зоологів: тези доп. (м. Київ, Інститут зоології НАН України, 20–21 квітня 2010 р.). Київ: Зоологічний кур'єр, № 4, 2010. С. 13. URL.: <http://izan.kiev.ua/rmd/KMDZ10-abstr.pdf>
14. Пархоменко В. В., Геряк Ю. М. Лускокрилі надродини Noctuoidea (Insecta, Lepidoptera) національного природного парку «Деснянсько-Старогутський». *Збірник наукових праць Луганського природного заповідника*. Луганськ, 2011. С. 154–175
15. Канарський Ю. В., Геряк Ю. М., Андріанов О. В. Стрічкарка блакитна *Catocala fraxini* (Linnaeus, 1758). Рідкісні та зникаючі види тварин Львівської області / Заг. ред. А.-Т. В. Башта, Ю. В. Канарський, М. П. Козловський. Львів: Ліга-Прес, 2013. С. 80.
16. Канарський Ю. В. Основні наземні біотопи рідкісних видів комах у Карпатському регіоні. *Наук. вісн. Ужгород. ун-ту*. Сер. Біол. 2010. Вип. 29. С. 119–125.
17. Канарський Ю. В. Екосистемологічні аспекти проблеми охорони рідкісних і зникаючих видів комах. *Наук. осн. збереж. біот. різном.*: мат. 9-ї наук. конф. мол. учених (м. Львів, 1–2 жовтня 2009 р.). Львів, 2009. С. 37–45.
18. Червона книга України. Тваринний світ / За ред. І. А. Акімова. К.: Глобалконсалтинг, 2009. 623 с.
19. Ковтун Т. І. Огляд трофічних зв'язків гусені совкоподібних (Lepidoptera: Noctuoidea) в умовах напівприродних екосистем приміської зони міста Житомир. *Науковий вісник НЛТУ України*. Львів, 2018. № 28.3. С. 26–29. doi: <https://doi.org/10.15421/40280305>
20. Біологічне різноманіття України. Дніпропетровська область. Вищі різновусі лускокрилі. Частина 2. Совки (Lepidoptera: Noctuidae) / З. Ф. Ключко та ін.; за заг. ред. проф. О. Є. Пахомова. Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту, 2011. 546 с.
21. Ключко З. Ф., Плющ І. Г., Шещурак П. Н. Аннотированный каталог совок (Lepidoptera, Noctuidae) фауны Украины. К.: Вид. ІЗШ НАНУ, 2001. 884 с.
22. Геряк Ю. М. Екологічні комплекси ноctuоїдних лускокрилих (Lepidoptera, Noctuoidea) Українських Карпат: дис. ... канд. біол. наук: 03.00.16. Львів, 2021. 375 с.

УДК 504.058

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.2-47.28>

## ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАХИСНИХ ОГОРОДЖЕНЬ ТА ЕКОДУКІВ ДЛЯ БЕЗПЕЧНОГО ПЕРЕСУВАННЯ ТВАРИН ЧЕРЕЗ АВТОДОРОГИ УКРАЇНИ

Мартюхін А.В., Волошина Н.О.

Український державний університет імені Михайла Драгоманова  
вул. Пирогова, 9, 02000, м. Київ  
a.v.martiukhin@npu.edu.ua, n.o.voloshyna@npu.edu.ua

Розвиток транспортної галузі потребує застосування адекватних та ефективних рішень для співіснування технопотів та біотопів з мінімальними ризиками і загрозами для останніх. Метою статті було проаналізувати чинники, які сприяють збереженню біологічного різноманіття аборигенних екосистем на ділянках будівництва і експлуатації доріг. Проаналізовано можливість застосування в Україні світового досвіду спорудження огорожень, екодуків для міграції тварин для забезпечення екологічних коридорів в регіональній екологічній мережі та збереження ландшафтного і фіторізноманіття. Застосовували традиційні методи ретроспективного аналізу, синтезу, системного підходу для обґрунтування природоохоронних технологій при будівництві транспортної інфраструктури з метою мінімізації шкідливого впливу на довкілля. Основні чинники зростаючого впливу від будівництва автомобільних доріг, автострад чи автобанів пов'язані із забруднення компонентів навколишнього середовища від інтенсивного трафіку, шумові ефекти від будівництва та експлуатації доріг, порушення ландшафтів і рослинно-грунтового покриву, безпековими наслідками для існування представників флори і фауни, міграційних процесів тварин, гніздування птахів, втрати трофічного, репродуктивного ареалів, природних оселищ та середовищ існування видів. Екологічне законодавство України наразі немає ґрунтовних регламентацій для вирішення такої проблеми. Вважаємо за доцільне використовувати закордонний досвід з врахуванням регіональних особливостей для забезпечення природоохоронних заходів при будівництві автомобільних доріг. Отримані результати можуть бути використані для наукового обґрунтування екологічних параметрів будівельних стандартів для ремонту, реконструкції, розширення та будівництва автомобільних доріг та рекомендацій для здійснення оцінки впливу на довкілля в частині польових досліджень щодо впливу планованої діяльності на біологічне різноманіття, природні оселища, рідкісні та зникаючі види флори і фауни, об'єкти екологічної мережі, території і об'єкти природно-заповідного фонду та об'єкти Смарагдової мережі. *Ключові слова:* автомобільна дорога, екодук, міграція тварин, біозахист.

### Prospects of the implementation of protective fences and eco-fences for the safe movement of animals through the highways of Ukraine. Martiukhin A., Voloshyna N.

The development of the transport industry requires the application of adequate and effective solutions for the coexistence of technopots and biotopes with minimal risks and threats to the latter. The purpose of the article was to analyze the factors that contribute to the preservation of biological diversity of aboriginal ecosystems in the areas of road construction and operation. The possibility of applying in Ukraine the world experience of building fences, ecoducts for animal migration to ensure ecological corridors in the regional ecological network and preserve landscape and phytodiversity was analyzed. Traditional methods of retrospective analysis, synthesis, and systemic approach were used to justify environmental protection technologies in the construction of transport infrastructure in order to minimize harmful effects on the environment. The main factors of the increasing impact from the construction of roads, freeways or autobahns are related to the pollution of environmental components from intensive traffic, noise effects from the construction and operation of roads, disturbance of landscapes and vegetation and soil cover, safety consequences for the existence of representatives of flora and fauna, migratory animal processes, bird nesting, loss of trophic and reproductive habitats, natural habitats and habitats of species. Environmental legislation of Ukraine currently does not have thorough regulations to solve such a problem. We consider it expedient to use foreign experience taking into account regional characteristics to ensure environmental protection measures during the construction of highways. The obtained results can be used for the scientific substantiation of the environmental parameters of construction standards for the repair, reconstruction, expansion and construction of highways and recommendations for the implementation of environmental impact assessments in the field studies on the impact of planned activities on biological diversity, natural habitats, rare and endangered species of flora and fauna, objects of the ecological network, territories and objects of the nature reserve fund and objects of the Emerald network. *Key words:* road, ecoduc, migration, bioprotection.

**Постановка проблеми.** Цілісність світової екосистеми складається із багатьох взаємозалежних факторів, котрі забезпечують її гармонійне співіснування. Формування і зміна логістичних шляхів є невід'ємним елементом розвитку транспортної інфраструктури, що диктується необхідністю пошуку нових шляхів для розвитку дорожнього господарства та управління автомобільними дорогами в змінюваних умовах. Модернізація та будівництво авто-

мобільних доріг, автострад чи автобанів, створення розгалуженої транспортної інфраструктури створює умови для негативного впливу від будівництва на компоненти довкілля. Трансформація природних екосистем, фрагментація ландшафтів, забруднення атмосферного повітря, водних об'єктів і едафічного середовища, прилеглих до автодоріг, шумового та вібраційного забруднення та інше є потужним чинником впливу на біологічне різноманіття [1]. Одним

із головних екологічних ризиків, який при цьому утворюється, це проблема вільної міграції тварин, шлях котрих пролягають через певні ділянки дороги. Через це відбувається фрагментація ареалів населення популяції, яке призведе до розшарування різних популяцій видів тварин та їх місць проживання; зниження чи навіть припинення міграції, що пов'язана із пошуком нових місць для харчування та оселення; відсутність розширення місця проживання та подальшої експансії виду чи заселення нових територій; випадання із харчового ланцюга; скорочення генетичної мінливості в популяції і генетичного обміну; зменшення біорізноманіття біля прокладених автодоріг тощо. Крім цього, зменшення чисельності популяції може досягатися й через збиття тварин автомобільним транспортом.

Експериментально доведено, що навіть незначна особливість дороги може спричинити вплив на локальну прилеглу екосистему. Наприклад, зміна кута нахилу дороги вже починає впливати на чисельність тваринного світу біля неї через просторовий перерозподіл необхідних ресурсів для підтримання життєдіяльності екосистеми [2]. Створення спеціальних захисних споруд чи огорож, а також більш детальне планування автодоріг із урахуванням проблем міграції тварин допоможе зберегти біорізноманіття та природний стан екосистеми в цілому.

**Актуальність дослідження.** Згідно наведених даних Державною службою України з безпеки на транспорті, загальна кількість ДТП, які сталися через наїзди на тварин становить 0,3% від загальної кількості усіх аварій, але треба додати, що дана статистика враховує лише аварії за участі автомобільного транспорту загального користування, участь на перевезення яким видано ліцензії (автобус, трамвай, тролейбус) [3]. Щодо даних про автомобільний транспорт, то тут існують певні складнощі із підрахунками. Наприклад, згідно даних Департаменту патрульної поліції України, за перші 9 місяців кількість дорожньо-транспортних пригод із наїздами на тварин складає 570 аварій, при загальній кількості у 154 480 аварій [4]. Дослідження науковців Дунайсько-Карпатської програми показують, що при настанні трьохтижневої щорічної весняної міграції їжаків, на ділянці дорозі у 100 км, яка пролягає через їх міграційний коридор, за два дні внаслідок збиття автотранспортом гине близько 9 їжаків. Можна лише припустити втрати на автодорогах для популяційних різних видів тварин в Карпатському регіоні щороку [5].

На перший погляд такі випадки не є визначальними і впливають на загальну картину щодо причин ДТП, проте необхідно враховувати декілька факторів. По-перше, дані статистики не розділяють, яка саме тварина стала причиною аварій (дика тварина чи безпритульні свійські чи домашні тварини). Другий фактор, більш значущий, це те, що дана статистика враховує лише дорожньо-транспортні при-

годи, внаслідок яких відбулася смерть або поранення людини чи пошкодження автомобільного транспорту. Це означає, що такі дані актуальні в більшій частині по наїздам на крупних тварин (вовк, олень, козуля, лисиця тощо), які можуть спричинити такі наслідки. Статистика по наїздам на малих за розміром представників тваринного світу, наприклад, їжаків, зайців чи білок, не ведеться зовсім, через що загальний показник дорожньо-транспортних пригод може суттєво відрізнятись від реальних показників в меншу сторону. Тому, проблема побудови безпечних переходів як для великих, так і компактних тварин становиться все більш значущою для збереження популяцій видів в екосистемі [6].

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Науково-практичні дослідження виконуються відповідно до ініціативної теми кафедри екології природничого факультету Українського державного університету імені Михайла Драгоманова: «Екологічне обґрунтування збереження біологічного різноманіття при плановій діяльності» (zareestrovano в УкрІНТЕІ 0122U001574 від 14.02.2022)».

Проведені дослідження дозволяють проводити моделювання та експерименти з обґрунтування доцільності будівництва екодуків чи міграційних коридорів виходячи із екологічних та економічних критеріїв із поєднанням географічного розташування заданої місцевості.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Охорона тваринного світу та загроза для них від автомобільних доріг в Україні вивчена недостатньо, водночас іноземні дослідники приділяють цьому питанню належну увагу. Аналіз наукової літератури також показує відсутність належної кількості теоретичного чи практичного матеріалу для проведення повноцінного дослідження в сфері безпекових заходів щодо біорізноманіття. Незважаючи на суспільну увагу, у зв'язку із військовими діями на території України, дана проблематика зникла й з публічного обговорення.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Аналіз основних заходів, спрямованих на збереження популяційних видів біля автомобільних доріг, спираючись на зарубіжний досвід, а також систематизація даної інформації для подальшого спрощення проведення практичних досліджень.

**Новизна.** Обґрунтування доцільності вибору тих чи інших захисних систем та споруд в залежності від типу прилеглої екосистеми та економічного фактору в українських умовах.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Результати досліджень мають сформувати увагу до такої нагальної проблеми як збереження популяційних видів та їх безпечну міграцію. Даний матеріал має поєднати міжпредметні зв'язки екологічного, географічного та економічного спрямування, а також

сприяти посиленню контролю в сфері біозахисту та раціонального природокористування загалом.

**Викладення основного матеріалу.** Через військові дії на території України, питання охорони тваринного світу наразі відсутнє в нагальних проблемах держави, які повинні вирішуватися першочергово. Хоча існують деякі охоронні заходи екосистем від військових дій, а також почало розглядатися питання про порушення міграції тварин внаслідок бойових дій, мінування території та інших споріднених причин, проблема взаємодії навколишнього середовища із дорогою та учасниками дорожнього руху залишається актуальною. Тому, після закінчення війни та настання миру, це питання знову постане для його вирішення. Як наслідок, необхідно обговорювати та шукати шлях рішення даної проблеми вже сьогодні, аби потім для пошуку найбільш ефективного рішення, що стало би підґрунтям для подальшої планованої діяльності в сфері будівництва автомобільних доріг.

Цьому можна було б зарадити беручи до уваги світовий досвід вирішення даної проблеми, оскільки по всьому світу вона також є актуальною. Наприклад, на дорогах США щорічно гинуть близько 41 млн. білок, 22 млн. щурів, 350 тис. оленів [7]. У Британії від зустрічі із автомобільним транспортом гине 100 тис. лисиць, 100 тис. їжаків, 50 тис. борсуків щорічно [8]. Тому, ідея побудови екодуків для безпечної міграції тварин не є новою. Провідною державою в цьому питанні була Франція, яка побудувала перші екологічні переходи ще в 50-их роках минулого століття. Дуже швидко дана технологія була запозичена іншими країнами. У Нідерландах станом на сьогодні вже збудовано 600 екодуків [9]. При прокладанні стратегічної Трансканадської магістралі, на ділянці дороги, що проходить крізь Національний парк «Банф», що в провінції Альберта, для безпечної міграції тварин та уникнення ДТП, побудовано 24 спеціальних мостів та тунелів. За перші десять років, цими переходами тварини користувалися близько 200 000 разів. Відомим прикладом реконструкції автодороги на острові Різдва (Австралія) були збудовані спеціальні переходи для безпечної міграції ендемічного виду земляних крабів, що дозволило підтримувати їх популяцію в достатній кількості для збереження [10].

У новітній історії мостобудування прикладом відповідального природоохоронного проекту був побудований в Індії, у гірському штаті Уттаракханд у 2020 році перший еко-міст для безпечного пересування тварин через дорогу, довжиною 27 метрів [11]. Оскільки на дорогах Індії часто трапляються випадки коли гинуть унікальні види тваринного світу, керівництво країни розглядає продовження будівництва екодуків й в інших регіонах країни.

Україна лише починала виробляти свою політику стосовно даного питання. Починаючи з 2017 року країна є членом міжнародної пілоотної програми

“TRANSGREEN” (Integrated Transport and Green Infrastructure Planning in the Danube-Carpathian Region for the Benefit of People and Nature), мета якої полягає у дослідженні перспективного будівництва екодуків, біопереходів та спеціального огородження, які будуть облаштовані в ареалах міграції тварин вздовж доріг країн Карпатського регіону, до якого належить й Україна. Крім того, у 2018 було погоджено облаштування першого в державі біопереходу, що мав бути вмонтований в загальний план проектування об'їзної дороги навколо Львова, але після 5 років, цей проект так і не був реалізований [9].

Як було раніше зазначено, процес будівництва екодуків та біопереходів наразі не імплементований на загальному рівні. Будівництво біопереходів має бути передбачено у місцях міграції тварин над чи під автомобільними дорогами і залізницями згідно пункту 9.5 ДБН В.2.3-22.2009 «Мости та труби. Основні вимоги проектування», проте із зазначенням, що вони мають відповідати технічним вимогам, які розроблять місцеві органи охорони довкілля [12]. Тобто існує прецедент, коли при відсутності впровадження технічних вимог, прокладання біопереходів вважається недоцільним. Враховуючи, що після прийняття даного нормативу пройшло вже 14 років, було побудовано багато різноманітних транспортних шляхів, як регіонально, так і міжнародно значущих, а також реконструкція Бориспільського шосе з перетворенням в автомагістраль, при цьому жодного біопереходу чи екодуку не було збудовано, можна сказати про неефективність місцевих природоохоронних служб або громадських організацій. Тому, питання про розроблення більш точних та жорстких будівельних норм щодо біопереходів із їх подальшою імплементациєю в законодавче поле треба розглядати більш детально.

Одним із шляхів вирішення питання є можливий варіант симбіозу даних будівельних норм із Законом України «Про оцінку впливу на довкілля», який регулює забезпечення природоохоронних заходів на етапах проектування, будівництва і реалізації автомобільних доріг. Планована діяльність належить до першої категорії видів планованої діяльності та об'єктів, які можуть мати вплив на довкілля та підлягають оцінці впливу на довкілля у відповідності з пунктами 7 частини 3 статті 3 Закону України «Про оцінку впливу на довкілля» № 2059-VIII від 23 травня 2017 року «...будівництво автомагістралей; автомобільних доріг загального користування державного та місцевого значення, що мають чотири чи більше смуги руху, або реконструкція та/або розширення наявних смуг руху до чотирьох і більше, за умови їхньої безперервної протяжності 10 кілометрів і більше; автомобільних доріг першої категорії». Об'єкти відносять до першої категорії видів планованої діяльності, які можуть мати значний вплив на довкілля і підлягають оцінці впливу на довкілля [13].

При будівництві екодуків можливо закладати в паспорт об'єкту через звіт з оцінки впливу на довкілля (ОВД) на підставі пропозицій громадськості та результатів проведення науково-дослідної роботи, що передбачає польові дослідження щодо впливу планованої діяльності на біологічне різноманіття, природні оселища, рідкісні та зникаючі види флори і фауни, об'єкти екологічної мережі, території і об'єкти природно-заповідного фонду та об'єкти Смарагдової мережі.

Залишається невизначеною процедура регулювання природоохоронних нормативів будівництва та притягнення до відповідальності, яка в значній мірі не визначена, а тому даний процес також потребує юридичного доробку.

Які саме екодуки та біопереходи необхідні в нашій державі? Вони поділяються на багато різних видів, залежно від їх конструкції та призначення. Існують окремі переходи для амфібій, плазунів, малих та великих ссавців, мавп чи летючих тварин. Через розташування України в декількох природних зонах, а також відповідне велике біорізноманіття та їх поширені міграційні коридори, більшість із типів екодуків можна застосувати на її території. Наприклад, на території Центральної України доцільно було б встановити середні чи великі нижні переходи для забезпечення міграції таких тварин як дикий кабан, лисиця, вовк, ведмідь тощо. Дана конструкція біопереходів передбачає їх будівництво під дорожнім покриттям, у вигляді спеціального тунелю прямокутного чи арочного перерізу, параметри якого варіюються від 6 метрів ширина та близько 2,5 метрів висоти для середнього нижнього переходу і 15 метрів ширини та 3,5 метри висоти для великого нижнього переходу. Крім того, дані переходи є більш економічно доцільними, оскільки в даному випадку для вже існуючої дороги треба лише додаткові бетонні чи металеві конструкції. Звичайно, побудова одного тунелю це мінімальна його трудомісткість, для оптимального рішення задачі треба створювати й навколишній благоустрій екодуку, тобто забезпечення його достатньою освітленістю (неважливо, природньою чи штучною) та довколишньою рослинністю, яка буде слугувати в якості направляючого елемента що інтегрований в навколишню екосистему для більш безпечного та комфортного переходу.

В Поліссі, через значний відсоток болотяної місцевості та великого розгалуження притоків різних річок, необхідно потурбуватися про охоронні заходи для рептилій та амфібій. Для цього оптимальним буде створення спеціальних малих нижніх переходів для представників даної фауни. Такі біопереходи мають розміри близько 2 метрів завширшки і висотою понад 1,5 метра. Перевага даних переходів в тому, що вони можуть бути як на землі, так і у водяному просторі, залежно від потреб його будівництва. При його розташуванні на землі, цим

переходом можуть користуватися й дрібні представники тваринного світу як їжаки, борсуки, лисиці та різноманітні гризуни. Якщо мова йде про спеціальну конструкцію у воді, тоді треба враховувати, що посередині даного водотоку треба окремо створювати з каміння чи щебню русло для течії води, аби даний перехід не затопило або він сам не буде перекривати частину водної екосистеми, створюючи при цьому загрози для мешканців водного світу.

В майбутній перспективі будівництва переходів для тварин можна враховувати їх інтеграцію в транспортну систему, так звані комбіновані переходи, з однієї сторони розширюють автомобільну спроможність дороги, а з іншої сторони виступає в ролі екодуку. Наприклад, будівництво автостради може бути більш екологічним, якщо дах тунелю буде спроектований як і біоперехід одночасно. Зрозуміло, що така конструкція буде відрізнятися від звичайних автострадних тунелів своєю формою, технологічними параметрами й технічними здатностями, а також вибором будівельних матеріалів. Але в результаті на виході буде отримано концепція «win-win», де прокладання дороги чи автостради не призведе до порушення цілісності прилеглої екосистеми та не буде становити загрозу сповільнення чи припинення міграції тваринного світу. Дана концепція вже була реалізована у низці країн (Німеччина, Швейцарія), а тому Україна, за потребою, може керуватися досвідом цих держав та імплементувати дану концепцію на своїй території із врахуванням своїх ландшафтних особливостей.

**Головні висновки.** Розвиток дорожньої мережі спричинює збільшення впливу негативних факторів на природне навколишнє середовище, відповідно зростає й кількість антропогенних чинників. Для цього вже сьогодні треба приймати рішення, які допоможуть подолати негативні наслідки або, як мінімум, значно їх зменшити. Головні негативні наслідки від збільшення кількості автострад або розширення вже існуючих для прилеглих екосистем можуть полягати, по-перше, в зростанні кількості ДТП за участю тварин та їх подальшій загибелі. По-друге, руйнування чи втрату місць їх поселення або гніздування, що призведе до вимушеної міграції та порушення екологічного балансу в даній локальній місцевості. По-третє, буде існувати загроза в розшаруванні та фрагментації екологічних коридорів різних популяцій, які пролягають через дороги. Останній фактор тягне за собою катастрофічні наслідки глобального масштабу, у випадку яких порушиться генетична мінливість популяцій, вимирання популяції на локальному рівні, а також вплине на загальне біорізноманіття.

Існують перепони й в технічних параметрах, оскільки будь-які нормативні розробки біопереходів чи екодуків в Україні відсутні, а можливість їх створення лежить в зоні відповідальності регіональних природоохоронних структур. Виходячи з цього,



є потреба в розробці уніфікованого стандарту будівництва даних конструкцій, в якому будуть визначені будівельні норми, правила їх встановлення та законодавче закріплення на державному рівні. Тому, дана проблема, враховуючи усю складність і варіативність, має вирішуватися комплексним чином із подальшим залученням та взаємодією різних галузей як екології, так і будівництва.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Усі зібрані дані є елементом науко-

вого обґрунтування природоохоронних заходів при стратегічній екологічній оцінці та оцінці впливу на довкілля при проектуванні та будівництві доріг. Матеріали можуть бути використані в процесі легалізації та сертифікації описаних конструкцій, в наданні рекомендацій щодо їх облаштування, в побудові експериментальних моделей, в накопиченні теоретичних відомостей чи розрахунків для вибору оптимальної природоохоронної концепції на регіональному та державному рівнях.

### Література

1. Зюсюн В.І., Морозов А.В., Морозова Т.В. Оцінювання впливу на довкілля при будівництві та реконструкції автомобільних доріг. *Науково-технічний збірник Національного транспортного університету. Дороги і мости*. Київ, 2022. № 26. С. 285–299.
2. Cohen S., Groner E., Peeters A., Segoli M. The impact of roads on the redistribution of plants and associated arthropods in a hyper-aid ecosystem. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8289131/#:~:text=doi%3A%2010.1093/jisesa/ieab044> (дата звернення 05.02.2023).
3. Державна служба з безпеки на транспорті. Аналіз стану безпеки руху та аварійності на наземному транспорті в Україні за 2021 рік. URL: [https://dsbt.gov.ua/sites/default/files/imce/Bezpeka\\_DTP/2022/analiz\\_avariynosti\\_2021.pdf](https://dsbt.gov.ua/sites/default/files/imce/Bezpeka_DTP/2022/analiz_avariynosti_2021.pdf) (дата звернення 05.02.2023).
4. В Україні з початку року зареєстрували понад 570 ДТП за участю тварин. URL: <https://www.unn.com.ua/uk/news/1905949-v-ukrai-ni-z-pochatku-roku-zareyestruvali-ponad-570-dtp-za-uchastyu-tvarin> (дата звернення 05.02.2023).
5. Скільки диких тварин гине на дорогах? URL: <http://www.natureexperts.org/1926-2/> (дата звернення 05.02.2023).
6. Екодуки – спосіб врятувати тварин, чи засіб дерибану коштів? URL: <https://nahiba.media/ecoduc-a-way-to-save-animals-or-a-means-of-embezzlement-24d46cбаеае> (дата звернення 05.02.2023).
7. Шаповал А.Л. Дослідження біопереходів для тварин на автомобільних дорогах України. *Науково-технічний збірник Національного транспортного університету. Автомобільні дороги і будівництво*. Київ, 2013. № 88. С. 64–70.
8. Garland L. National roads death survey. URL: [https://www.mammal.org.uk/wpcontent/uploads/2016/03/RoadDeaths2001Report.pdf?fbclid=IwAR2tW7odUjZX7BANp\\_uFhFw4N6qsAnqyDnyYRR\\_OtMGTrD2IAS9reeSTLY](https://www.mammal.org.uk/wpcontent/uploads/2016/03/RoadDeaths2001Report.pdf?fbclid=IwAR2tW7odUjZX7BANp_uFhFw4N6qsAnqyDnyYRR_OtMGTrD2IAS9reeSTLY) (дата звернення 06.02.2023).
9. Екодуки для тварин: чи можливо це в Україні? URL: <https://ns-plus.com.ua/2018/11/29/ekoduky-dlya-tvaryn-chy-mozhlyvo-tse-vukrayini/> (дата звернення 06.02.2023).
10. Кошлатий О.Б., Безпалый Д.Ю. Досвід створення екодуків на автошляхах. Перспективи інституціонального розвитку земельних відносин в Україні: збірник матеріалів II Всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Полтава, 21–22 травня 2019). С. 144–146.
11. В Індії побудували міст для безпечного пересування тварин через дорогу. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-culture/3146891-v-indii-pobuduvали-mist-dla-bezpesnogo-peresuvanna-tvarin-cerez-dorogu.html> (дата звернення 08.02.2023).
12. ДБН В.2.3.-22:2009. Мости та труби. Основні вимоги проектування. [Чинний від 2009-11-11]. Вид. оф. Київ: Мінрегіонбуд України. 73 с.
13. Про оцінку впливу на довкілля: Закон України від 13.05.2022 р. № 2059-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text> (дата звернення 09.02.2023).

## CONSEQUENCES OF SELENIUM UPTAKE IN PLANTS – A REVIEW

Mitra A.<sup>1</sup>, Chatterjee S.<sup>2</sup>, Dubchak S.V.<sup>3</sup>, Mudgal S.<sup>4</sup>, Gaur A.<sup>4</sup>, Srivastava K.<sup>5</sup>, Gupta D.K.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Bankura Christian College,

Bankura-722101, West Bengal, India

<sup>2</sup>Defence Research Laboratory, DRDO,

Post Bag No. 02, Tezpur-784001, Assam, India

<sup>3</sup>Institute of Radioecology and Radiation Protection, Leibniz Universität Hannover

Herrenhäuser Str. 2, Hannover, Germany

<sup>4</sup>Ministry of Environment, Forest and Climate Change,

Indira Paryavaran Bhavan, Aliganj, Jorbagh Road, New Delhi-110003, India,

<sup>5</sup>Molecular Cardiology Lab, Dr. B.R. Ambedkar Centre for Biomedical Research

University of Delhi, Delhi-110007, India

aninditajashmitra@rediffmail.com, drlsoumya@gmail.com, guptadk1971@gmail.com,

dubchak@irs.uni-hannover.de, shivanimudgal@gmail.com, apoorvagaur08@gmail.com,

kamna605@gmail.com

Selenium (Se) is an essential micronutrient for all life forms. However, excessive quantity of Se and its subsequent bioaccumulation lead to toxicity effects. The element is commonly found in sedimentary rocks and exists in four different inorganic species. The concentration of selenium in soils is highly variable and reflects the nature and intensity of leaching processes on the parent material. The vertical distribution of selenium in soil profiles relates closely to the content of organic matter in the surface horizons and soil type. Although plants demonstrate the ability to accumulate selenium, but information related to the essentiality of this element and the potential response to its impact within the organs of plant is still evolving. Being chemically similar to sulfur (S), Se is taken up by the plants using sulfur transporters and accumulated in their root system. The uptake and distribution of selenium depends on phases of plant growth, plant species, concentration and form of selenium in soil and translocation mechanisms of specific plant. Overburden of selenium leads to oxidative stress in plants. However, specific knowledge of mechanisms on the Se toxicity and deficiency may help the scientist to design effective selenium remediation or fortification strategies using specific plants. The paper analyses the complex behavior of selenium in the environment which is determined by a range of chemical and biological factors as well as modern methods of analysis that providing ever more reliable insights into the physicochemical states of selenium in environmental media and the processes of this element speciation. Moreover, this review delivers an overview of Se uptake, its transportation, metabolism and possible toxic impacts on general physiology and biochemistry of plants. *Key words*: selenium, selenite, toxicity, plants, phytoremediation, hyperaccumulator.

**Наслідки накопичення селену рослинами – огляд. Мітра А., Чаттерджи С., Дубчак С.В., Мудгал Ш., Гаур А., Шривастава К., Гупта Д.К.**

Селен (Se) є важливим мікроелементом для всіх форм життя. Однак надмірна кількість селену та його подальше біонакопичення можуть призвести до виникнення ефектів токсичності. Цей елемент зазвичай зустрічається в осадових породах та існує в чотирьох різних неорганічних формах. Концентрація селену в ґрунтах дуже неоднорідна і відображає характер та інтенсивність процесів вимивання вихідного матеріалу. Вертикальний розподіл селену в ґрунтових профілях тісно пов'язаний з вмістом органічної речовини в поверхневих горизонтах та типом ґрунту. Хоча рослини демонструють здатність накопичувати селен, але інформація щодо важливості цього елемента та потенційної реакції на його вплив органами рослин все ще є недостатньо повно вивченою. Будучи хімічно подібним до сірки (S), селен поглинається рослинами за допомогою S-транспортерів та накопичується в їх кореневій системі. Поглинання та розподіл селену залежать від фази росту та виду рослин, концентрації та форми селену в ґрунті і механізмів транслокації в окремій рослині. Надлишок селену призводить до окислювального стресу в рослинах. Докладні знання механізмів токсичності та дефіциту селену можуть допомогти в розробці ефективних стратегій ремедіації або акумуляції цього елемента з використанням конкретних рослин. У статті проаналізовано комплексну поведінку селену в навколишньому середовищі, яка визначається низкою хімічних та біологічних факторів, а також сучасні методи аналізу, які дають все більш повноцінне уявлення про фізико-хімічний стан селену в довкіллі та процеси його формоутворення. В статті також розглянуто процеси накопичення селену рослинами, його транслокацію, метаболізм та можливий токсичний вплив на загальну фізіологію та біохімію рослин. *Ключові слова*: селен, селеніт, токсичність, рослини, фіторемерація, гіперакумулятор.

**Introduction.** Selenium (symbol Se; atomic number 34) is a naturally found non-metal component of sedimentary rocks. Four inorganic Se species are known to exist in soil, namely selenate ( $\text{SeO}_4^{2-}$ ), selenite ( $\text{SeO}_3^{2-}$ ), elemental Se ( $\text{Se}^0$ ) and selenide ( $\text{Se}^{2-}$ ) [1]. Soluble property of selenate (VI) renders it as a dominant species in soil and which can be taken up by plants easily in neutral or alkaline soil conditions. Insoluble  $\text{Se}^0$  is predominant in reducing soil having a very low toxicity; but,  $\text{Se}^{2-}$  is a highly toxic which can rapidly be oxidized

into non-toxic elemental Se in aerobic condition. Selenite (IV) has higher adsorbent affinity to the soil particles compared to selenate (VI). The occurrence of Se in the soil depends upon Se content in parent rock, soil type, poor percolation through soil, Se-loaded water irrigation, application of phosphate fertilizer, organic compound present, mining activities or volcanic eruption and percentage of rainfall in that area [2, 3]. Volatile organic Se species (DMSe, DMDS<sub>e</sub>, methane selenol) predominates in atmosphere. Inorganic species SeO<sub>2</sub> present in the air is not stable forming selenious acid. In comparison to soil and water, atmospheric Se content is low and ranges between 1–10 ng/m<sup>3</sup>.

Nearly forty countries worldwide have inadequate availability of selenium. The Se toxicity is also widely reported due to natural or man-made reasons [4]. Rocky areas (in Switzerland, Korea, Australia, New Zealand, Scotland, Finland, and Sweden) are found to have low soil Se concentration than the clay soils while arid areas containing higher Se. Different region of Chile, Peru, USA, Canada, China, Philippines, Zambia, Zaire, New Guinea and Australia are reported to represent around 80% of the total Se reserves of the world. In India, north-eastern part of Punjab is rich in Se [1]. Around the World, typical Se content in soils is limited to 0.4 mg·kg<sup>-1</sup> but the concentration in selenium rich soils the levels may be ranging from > 2–5000 mg·kg<sup>-1</sup>. WHO recommended that Se concentration in drinking water should be restricted to less than 10 µg·L<sup>-1</sup> [5]. The reason behind increasing levels of Se in groundwater is the indiscriminate use of fertilizers having Se. For example, Se concentration in groundwater has been reached an estimated concentration from 2.4–40 µg·L<sup>-1</sup> in France, and 341 µg·L<sup>-1</sup> in Punjab, India [1]. Besides natural events (like erosions of soil, and forest fires) several anthropogenic activities like the combustion of fossil fuels (coal and petroleum), tiers and papers are responsible for appending Se into the atmosphere.

Se uptake, transport and metabolism in plants.

**Selenium uptake and transport.** Except the metal selenides, compounds like selenite, selenate and organoselenium (e.g., selenomethionine, selenocysteine etc.) those predominates in soil show easy uptake by plants. Due to its structural analogy with sulphur, Se is transported through high affinity root epidermal and cortical sulphate transporters (homologs to AtSULTR1;1 and AtSULTR1;2 transporters of *Arabidopsis*) [4]. Other transporters like phosphate transporter (rice OsPT2) and aquaporin channels (homologue to rice OsNIP2;1) have been reported to uptake HSeO<sub>3</sub> and H<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> respectively [6]. The transporters channelizing cysteine and methionine inside the plant may co-transport SeMet and SeCys.

Selenate enters into the root cells through high affinity proton-sulphate symporters SULTR1;1 and SULTR1;2, that permit entry of selenate along with 3 protons within roots. Sulphur resource of the plant regulates transporter expression, as reduced rates of expression of SULTR1;1

transporter under S-scarcity, and higher rate of expression of SULTR1;2 was found during both S-abundance and S-insufficient environments [7]. Both SULTR1;1 and SULTR1;2 are known to facilitate Se transportation from soil to root, although diverse useful redundancy exists amongst them as evidenced from *Arabidopsis thaliana* sultr1;2 mutants, high selenate tolerant compared to wild type plants and sultr1;1, mutant plants, whereas, double mutant's plants for sultr1;1-sultr1;2 displayed the extreme selenate tolerance.

The observation validates the SULTR1;2 transporters as the key portal for selenate entry into the plant. Sulphate transporters were first described in *Arabidopsis thaliana*, which are clustered into four discrete assemblies of proteins encoded by 12 genes with complementary physiological activities [8]. Group 1 comprises high affinity sulphate transporters (SULTR1;1 and SULTR1;2) primarily located in the root. Group 2, S-transporters show reduced affinity for sulphate, are distributed all over the plant body playing key role sulphate translocation. Group 2 S-transporters in *A. thaliana* includes two isoforms SULTR2;1 and SULTR2;2, both are localized in roots and leaves but in different tissues. In leaves, AtSULTR2;1 expresses the xylem parenchyma, and in phloem cells while AtSULTR2;2 mostly found in the root and leaf bundle sheath; AtSULTR2;1 and AtSULTR2;2 are found to express in pericycle and in the phloem cells respectively.

Expression of Group 3 S-transporters like AtSULTR3;1 is restricted in chloroplast of leaves, and indifferent of the sulphur status of the plant [9], but sulphate uptake in chloroplast was greatly abridged in the absence of this transporter. Group 4 S-transporters (AtSULTR4;1 and AtSULTR4;2) clustered in tonoplast cells and are low affinity S-transporters regulating vascular efflux of the sulphate, thus increasing sulphate availability for export. Experimental evidences suggest that other angiosperms as well as Se hyperaccumulators likely to have a comparable number of genes expressing S-transporters [8]. SULTR1;1 and SULTR1;2 gene expressions are upregulated in the roots of non-accumulating Se-indicator species in S-surplus condition or during higher tissue Se content. Whereas, in Se-hyperaccumulators these genes are constitutively expressed in higher rates resulted in greater Se uptake. It has been revealed that hyperaccumulators can accumulate Se at up to 1000 times higher concentrations than normal plant [10].

Plant uptake selenite by phosphate transporters in roots rather than through high affinity S-transporters. Up to 50% reduction in selenite uptake was observed in perennial ryegrass (*Lolium perenne*) and strawberry clover (*Trifolium fragiferum*) when soil phosphate content was increased up to 10- fold. Further, K<sub>m</sub> value of selenite entry was elevated in wheat (*Triticum aestivum*) for sustenance of phosphate. The outcomes pointed out that selenite and phosphate compete each other for the common transporter denoting that they share the

common transporter [11]. It was observed that increased expression of phosphate and sulphate transporters and improved root architecture may promote selenium uptake by high-Se accumulating rice cultivar. Further, the additional sulphur application has revealed a pronounced inhibition effect on the Se uptake by *Glycine max* grown in different soil types. Plants have the capability to uptake organic seleno-compounds (SeCys and SeMet) through a membrane localized amino acid permeases mediating transport of amino acids into the cell. Organic Se species are taken up by plants in higher rate than the inorganic Se compounds as evidenced from the studies in *Brassica napus* (spring canola) and *Triticum turgidum* (wheat) where the 20-fold increased rate of uptake was found in case of organic Se compounds as related to selenate and selenite (Fig. 1) [12].

Soil chemical, biological or physical properties regulate the rate of Se uptake by plants. In a field trial of UK based study irrigation promotes wheat grain production, but it reduced plant uptake and grain Se concentration. The presence of competing ions (e.g. arsenic) can also alter Se uptake by plants. For example, antagonistic role of arsenic (As) in Se uptake has been established as in higher soil Se levels (<2.5 mg·L<sup>-1</sup>) inclusion of As

suppressed Se uptake in *Pteris vittata* but at low soil Se content As stimulates Se uptake [13].

**Metabolism of Se.** Phytotoxicity of Se is attributed following metabolic conversion of Se to biologically active molecule rather than the parent molecule itself as well to get assimilated within the plant. Following entry into the root cell, selenate enters into chloroplast through S-Se co-transporter and form adenosine 5'-phosphoselenate (APSe), a step which is rate limiting in Se assimilation can also occur in cytosol [14]. In *A. thaliana* plastid localized four isoforms of ATP sulfurylase (APS1–4) have been identified, although APS2 has been reported to be localized both in the cytosol and plastid. In the second step APS reductase (APR) transforms APSe into selenite; this is entirely restricted in the plastids and being another rate-limiting stage in the assimilation of selenate. Role of APR, that is conversion of APSe into selenite, was confirmed from the observation of Apr2–1 Arabidopsis mutants, where selenate level in cell was enhanced, but reduced levels of selenite were found [15].

Further, in the reductive Se assimilation pathway, reduction of selenite to selenide takes place for getting embodied within amino acids, which occurs either through enzyme sulphite reductase (SiR) or by reduced glutathione, a non-enzyme component. In *A. thaliana* the gene encoding the enzyme SiR is represented as a single copy within plastids. SiR is mediating the transfer of sulphite to sulphide during the reductive sulphate assimilation process and also catalysing the reduction of selenite to selenide within the plastids [7]. The non-enzymatic pathway follows multiple steps involving reduced glutathione (GSH). In this pathway, selenite is first converted into organic selenodiglutathione (GSSeSG) and then to glutathioselenol (GSSeH) nonenzymatically and lastly to selenide by the catalytic action of glutathione reductase (GR), utilizing the reductant NADPH [16]. Although, alteration of selenite to selenide is nonenzymatic, the renewal of reduced glutathione is facilitated by the enzyme GR, a crucial cellular process for combating oxidative stress.

**Formation of selenocysteine (SeCys) and methylselenocysteine (MeSeCys).** In the next step complexation of Se with amino acids occurs in chloroplasts as well as in cytosol and mitochondria through the catalytic action of the cysteine synthase (CS) enzyme complex, producing selenocysteine (SeCys) from selenide and O-acetylserine (OAS) [7, 16]. The cysteine synthase enzyme complex is functionally active by the cooperative action of enzymes, namely, OAS thiol-lyase (OAS-TL) and serine acetyltransferase (SAT). Toxicity of Se in plants is manifested because of the nonspecific insertion of SeCys into proteins leading to interrupted protein function. Therefore, to overcome Se toxicity plants have to inhibit the non-specific amalgamation of SeCys to proteins which is achieved by methylation of SeCys forming methyl-SeCys (MeSeCys) catalysed by SeCys methyltransferase (SMT) enzyme. Thus Se-

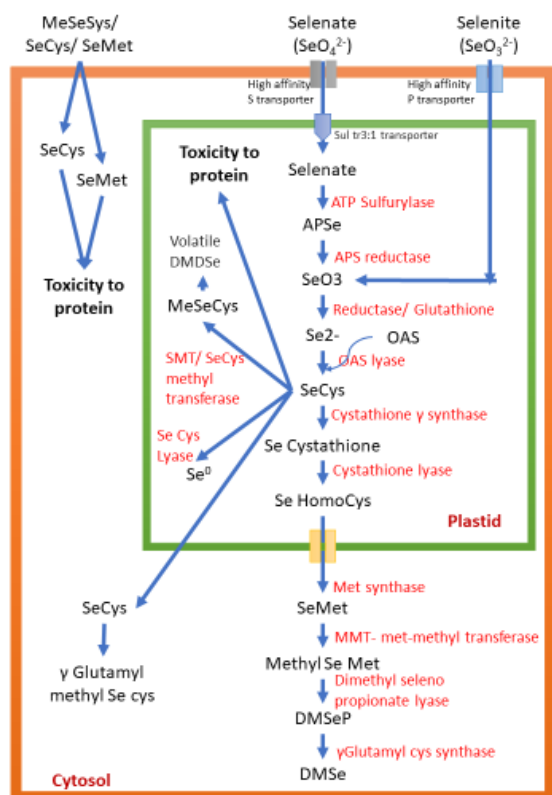


Fig. 1. Uptake and assimilation of inorganic and organic selenium species by plants (*Sultr3:1* – sulphate/selenate cotransporters; APSe – adenosine phosphoselenate; OAS – O-acetylserine; SeCys – selenocysteine; SeMet – selenomethionine; DMSeP – imethylselenopropionate; DMSe – dimethylselenide; DM(D)Se – dimethyl(di)selenide; SeHomoCys – seleno-homocysteine).

hyperaccumulator decrease the availability of SeCys for inclusion within proteins by yielding MeSeCys, the key pathway for reducing toxic effects of Se [17].

Presence of SMT was reported in both Se hyperaccumulator and non-accumulator species, but only the hyperaccumulators can efficiently produce MeSeCys. It is reported that, presence of Se promotes the expression of *SMT* gene in Se accumulator *Brassica oleracea* (Broccoli) [16]. Again, MeSeCys was the major species of Se found in hyperaccumulators *Stanleya pinnata* and *A. bisulcatus* [7]. In associated non-accumulator species selenate was the main form of Se [16,18]. The above findings signify the higher activity of SMT and its vital role for higher tolerance and amassment of Se in hyperaccumulators.

**Conversion of selenocysteine to volatile dimethyldiselenide (DMSe).** MeSeCys produced in plants is further processed into volatile compounds dimethyldiselenide (DMSe) through oxidation and methylation process, thus making the plant highly tolerant to Se. Primarily, MeSeCys is transformed into methylselenocysteineselenideoxide (MeSeCysSeO) and then form methaneselenol ( $\text{CH}_3\text{SeH}$ ) by the catalytic activity of the Cys sulfoxide lyase enzyme [19]. Production of DMSe has been detected in the leaves, in the Se hyperaccumulator plant *Astragalus racemosus* (Fig. 1).

**Formation of selenomethionine (SeMet) and volatile dimethylselenide (DMSe).** SeMet is formed from SeCys through multistep enzymatic processes. By the condensation reaction, SeCys is changed to Se-cystathionine or O-phosphohomoserine (OPH) and SeCys by cystathionine- $\gamma$ -synthase (CGS) [16, 31]. Se-cystathionine undergoes hydrolysis to form Se-homocysteine, through the enzymatic action of cystathionine beta-lyase. Finally, the SeMet is synthesized from Se-homocysteine by the enzymatic action of Met synthase, distinguished in a wide variety of angiosperms such as *Catharanthus roseus*, *A. thaliana*, and *Coleus blumei*.

Due to its greater toxicity, SeMet is subjected to further processing to produce less toxic dimethylselenide (DMSe) and reduces the chance of its incorporation into proteins. DMSe has 600 times less toxicity than inorganic Se. The Se-non-accumulators release DMSe as the main volatile forms of Se, while, DMSe is the primary volatile product in hyperaccumulators [17]. Synthesis of volatile DMSe occurs sharing sulphur volatilization pathway preparing from SeMet. The enzyme CGS has been reported to apparently limiting the change of SeCys to volatile DMSe as faster volatilization is reported from SeMet than from SeCys. For this reason, CGS is selected for overexpression for phytoremediation of Se. Similarly, transgenic *B. juncea* that expressing constitutively *A. thaliana* CGS enzyme had 2–3-times more volatilization rates of Se. The transgenic plants were found to accumulate 20–40% lower and 50–70% lower Se in the shoot and root tissues, respectively, in

comparison to wild type plants [20]. In the volatilization process, at first, by S-adenosyl-L-Met:Met-S-methyltransferase (MMT) mediated methylation SeMet forms methylselenomethionine (SeMM). SeMM is transformed into volatile DMSe either directly by the catalytic action of methylmethionine hydrolase or via intermediate product, 3-dimethylselenoniopropionate (DMSeP).

**Toxicity of selenium.** Plants vary in the Se accumulating capacity. Non-accumulator plants are those which accumulate less than  $25 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  of Se and are incapable to tolerate higher Se in the soil and Se toxicity ensues following an accumulation of  $10\text{--}100 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  of Se in dry matter, but it is also regulated by rhizospheric selenite and sulphate ratio [7]. It was suggested in [21] that, the Se-accumulator plants use a number of mechanisms to become Se-tolerant, such as (a) less amount of high concentration of Se become transported into the leaf cells; (b) excess Se become transformed into seleno-amino acids but, incorporation of these seleno-aminoacids into proteins is escaped; (c) sequestration of Se as selenate into vacuolar compartments thereby less interference into sensitive cytoplasmic reactions; (d) enhancing the activities of SeCys methyltransferase and ATP sulphurylase enzymes, thereby, decreasing inorganic Se into organic compound; (e) increasing antioxidant protective activities by conjugating with glutathione (GSH); (f) complexation of Se-binding polypeptides and proteins thus reducing inorganic Se; (g) maximizing the volatilization of organic Se to get rid of plant cells and tissues from Se.

Non-accumulator plants, can accumulate between  $2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (eg. rice) to  $330 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  in white clover while thousands milligram of Se was found in the tissue of *Astragalus bisulcatus*, a Se accumulator. Excess Se beyond the utilization of plant is accumulated within tissues lead to selenosis with the signs of underdeveloped growth, fading of the leaves and chlorosis [6]. Se toxicity or selenosis in plants is implemented either due to abnormal selenoproteins produced or by promoting oxidative stress, both are harmful in plants. As discussed in the previous section, aberrant seleno-proteins are synthesized due to the replacement of the Cys/Met with SeCys/SeMet in the protein chain.

**Distortion of protein structure and function.** In a protein chain, cysteine residues are indispensable for maintaining higher order structure of protein and function by forming enzyme catalysis, disulfide bridges, and provide binding sites for metals. Following substitution with SeCys, tertiary protein structure gets disrupted due to the formation of a bigger diselenide bridge with alteration in redox potential upsetting enzyme activities. Chloroplast proteins like NifS-like protein (Fe-S cluster proteins) and mitochondrial electron transport chain are susceptible to SeCys substitution [16, 17] as larger size of the Fe-Se cluster are unfit to apoproteins. Replacing Fe-S cluster with Fe-Se in *Klebsiella pneumonia*

nitrogenase enzyme, five-fold decrease in activity was reported. Therefore, SeCys replacing cysteine is more destructive to protein structure and functionality in comparison to substitution with SeMet. Larger size and higher deprotonation nature of SeCys made it more reactive than cysteine, as observed for methionine sulfoxide reductase enzyme, catalytic function of which got impaired following replacement with SeCys [22]. To avoid Se incorporation into the peptide chains, plants execute strategies either by reducing the production of selenoproteins or by promoting their degeneration and thus boosting Se tolerance. Formation of methylated Selenocysteine (MeSeCys) is one strategy for Se tolerance. e.g. *Arabidopsis* and *Brassica juncea* showing overexpression of SeCys-methyltransferase. Another chloroplastic enzyme (NifS-like protein), cystathionine gamma synthase has activity like that of selenocysteine lyase, overexpression of which in *Brassica juncea* showed higher Se tolerance in this plant by decreasing Se incorporation in protein [23].

**Se toxicity and oxidative stress.** Like other heavy metals, pro-oxidant action of both forms of inorganic Se has been reported at higher concentration causing oxidative stress generating reactive oxygen species (ROS). During Se stress higher glutathione activity was observed in Se tolerant plants while reduced glutathione activity was found in Se non-tolerant plants. Discrete observations from *cad2-1* and *apr2-1* mutant plants defective in glutathione synthesis displayed stress for Se. A number of studies indicated increased accumulation of ROS due to upsurge activities of antioxidant enzymes during Se stress [14] and adverse effects like augmented lipid peroxidation, cell mortality and faulty ascorbic acid biosynthetic pathway (as found in *vtc1* mutant plants) were found in some plants [24]. Accumulation of ROS leads to oxidative attack to proteins by oxidizing Tyr, Met, Cys, Trp amino acids in proteins, thereby; increase the susceptibility of proteins toward proteolysis. An upsurge of oxidized protein levels was found following Se exposure [23]. Selenite induced oxygen dependent DNA fragmentation has been previously reported, later supported by authors claiming base oxidation and DNA strand breaks for ROS generation [25].

**Reactive nitrogen species (RNS), Se toxicity and protein modifications.** Like ROS, nitric oxide (NO) also has the capability to react with several biological molecules known to yield nitrous acid ( $\text{HNO}_2$ ), peroxyntirite ( $\text{ONOO}^-$ ), S-nitrosoglutathione (GSNO), nitrogen dioxide radical ( $\text{NO}_2^{\cdot}$ ) or dinitrogen trioxide ( $\text{N}_2\text{O}_3$ ), dinitrogen tetroxide ( $\text{N}_2\text{O}_4$ ). Molecular NO and its products targeting definite groups of proteins results in their post-translational changes by metal nitrosylation, S-nitrosylation, and nitration based on the redox potential (PTMs). NO attacks the thiol groups of cysteine amino acids forming S-nitrosothiol in reversible S-nitrosylation that consequences to conformational changes in the proteins thereby affecting their function like protein-

protein interactions or protein localization [26]. Besides, NO has high affinity to the metal centres ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  or  $\text{Fe}^{3+}$ ) of some proteins like haemoglobin forming metal-nitrosyl complexes and peroxyntirite promotes irreversible nitration of tyrosine and tryptophan amino acids; all these conformational changes ultimately steer proteins dysfunction.

Reports are available on the disturbed equilibrium of RNS in Se stress in plant cells [27]. In *Arabidopsis* roots at seedling stage long term Se exposure leads to higher NO and GSNO levels and mediates Se toxicity. Biochemical evidences revealed that Se induces nitric oxide synthase and nitrate reductase activities to overproduce NO; also evidenced from the experiments with pea plants following selenite supplementation, where, augmented endogenous NO was found in their roots and leaves along with toxicity indications [28].

**Se induced hormonal imbalance.** Hormonal balance in plants is highly affected due to Se stress. Studies of [29] reported that some of the growth regulatory hormones such as cytokinins, auxins, and ethylene (ET) leads to Se induced growth alteration. Reports also exist about Se made upregulation of genes associated with the biosynthesis of ET ethylene-response factor (ERF) and jasmonic acid (JA) by selenium [23] supporting the role of these hormones in Se tolerance.

**Se induced disruption in element homeostasis.** Intervening action of Se in macro and microelement homeostasis has been revealed following Se uptake [30]. The intensified activity of nitrate reductase, nitrogen reserve and sulphur content in wheat following low level Se exposure was observed, which may play significant role in Se phytotoxicity.

**Conclusion and future prospects.** Se, an indispensable micronutrient for both animals and plants, is toxic when accrued in higher concentration. Substantial research work has been carried out for perceiving the mechanism of acquisition, metabolism and accumulation of Se by plants which have notable application in the field of agroindustry and medicine. A number of research works are carried out focusing on molecular machineries and ecological aspects of Se hyperaccumulation targeting the plant propagation with greater probability of Se accumulation. These can be exploited for remediation of seleniferous soil and also for Se biofortification.

Researchers have identified specific genes and proteins for Se uptake, metabolism, transport and accumulation in plants. The knowledge has been implemented for gene manipulation of the Se metabolism process to intensify the accumulation of Se in harvested tissues in plants and facilitate Se volatilization into the atmosphere. Further insight is essential regarding the specific receptor involved in instigating jasmonic acid, ethylene, and salicylic acid-mediated defensive pathways upregulating the Se acquirement mechanisms in plants.

## References

1. Bajaj M, Eiche E, Neumann T, Winter J, Gallert C (2011) Hazardous concentrations of selenium in soil and groundwater in North-West India. *J Hazard Mater* 189:640–666.
2. Gupta DK, Chatterjee S, Datta S, Veer V, Walther C (2014) Role of phosphate fertilizers in heavy metal uptake and phytoremediation of toxic metals- Review. *Chemosphere* 108:134–144.
3. Gupta DK, Chatterjee S (2014) *Heavy Metal Remediation: Transport and Accumulation in Plants*. Nova Science Publishers, Inc. U.S.A.
4. Gupta M, Gupta S (2016) An overview of selenium uptake, metabolism, and toxicity in plants. *Front Plant Sci* 7:2074.
5. Mehdi Y, Hornick JL, Istasse L, Dufresne I (2013) Selenium in the environment, metabolism and involvement in body functions. *Molecules* 18:3292–3311.
6. Liang Y, Su Y, Li L, Huang X, Panhwar FH, Zheng T, Tang Z, Ei HH, Farooq MU, Zeng R, Zhang Y, Ye X, Jia X, Zheng L, Zhu J (2019) Quick selenium accumulation in the selenium-rich rice and its physiological responses in changing selenium environments. *BMC Plant Biol* 19:559.
7. White PJ (2015) Selenium accumulation by plants. *Ann Bot* 117:217–235.
8. Gigolashvili T, Kopriva S (2014) Transporters in plant sulphur metabolism. *Front Plant Sci* 5: 422.
9. Buchner P, Stuijver CEE, Westermann S, Wirtz M, Hell R, Hawkesford MJ, De Kok LJ (2004) Regulation of sulfate uptake and expression of sulfate transporter genes in *Brassica oleracea* L. as affected by atmospheric H<sub>2</sub>S and pedospheric sulphate nutrition. *Plant Physiol* 136:3396–3408.
10. Trippe III RC, Pilon-Smits EA (2021) Selenium transport and metabolism in plants: Phytoremediation and biofortification implications. *J Hazard Mater* 404:124178.
11. Lazard M, Blanquet S, Fiscaro P, Labarraque G, Plateau P (2010) Uptake of selenite by *Saccharomyces cerevisiae* involves the high and low affinity orthophosphate transporters. *J Biol Chem* 285:32029–32037.
12. Kikkert J, Berkelaar E (2013) Plant uptake and translocation of inorganic and organic forms of selenium. *Arch Environ Contam Toxicol* 65:458–465.
13. Feng R, Wei C, Tu S, Sun X (2009) Interactive effects of selenium and arsenic on their uptake by *Pteris vittata* L. under hydroponic conditions. *Environ Exp Bot* 65:363–368.
14. Schiavon M, Pilon M, Malagoli M, Pilon-Smits EAH (2015) Exploring the importance of sulphate transporters and ATPsulphurylases for selenium hyperaccumulation – comparison of *Stanleya pinnata* and *Brassica juncea* (Brassicaceae). *Front Plant Sci* 6:2.
15. Grant K, Carey NM, Mendoza M, Schulze J, Pilon M, Pilon-Smits EAH, Van Hoewyk D (2011) Adenosine 5'-phosphosulfate reductase (APR2) mutation in *Arabidopsis* implicates glutathione deficiency in selenate toxicity. *Biochem J* 438:325–335.
16. Pilon-Smits EAH, Garifullina GF, Abdel-Ghany S, Kato S, Mihara H, Hale KL, Burkhead JL, Esaki N, Kurihara T, Pilon M (2002) Characterization of a NifS-like chloroplast protein from *Arabidopsis*. Implications for its role in sulfur and selenium metabolism. *Plant Physiol* 139:1309–1318.
17. Pilon-Smits EAH, Le Duc D (2009) Phytoremediation of selenium using transgenic plants. *Curr Opin Biotechnol* 20:207–212.
18. Freeman JL (2006) Spatial imaging, speciation, and quantification of selenium in the hyperaccumulator plants *Astragalus bisulcatus* and *Stanleya pinnata*. *Plant Physiol* 142:124–134.
19. Ellis DR, Salt DE (2003) Plants, selenium and human health. *Curr Opin Plant Biol* 6:273–279.
20. Van Huysen T, Terry N, Pilon-Smits EAH (2004) Exploring the selenium phytoremediation potential of transgenic *Brassica juncea* overexpressing ATP sulfurylase or cystathionine-c-synthase. *Inter J Phytorem* 6:111–118.
21. De Filippis LF (2010) Biochemical and molecular aspects in phytoremediation of selenium. In: Ashraf M, Ozturk M, Ahmad MSA (eds) *Plant Adaptation and Phytoremediation*. Springer, Dordrecht.
22. Châtelain E, Sator P, Laugier E, Ly Vu, B, Payet N, Rey P, Montrichard F (2013) Evidence for participation of the methionine sulfoxide reductase repair system in plant seed longevity. *Proc Natl Acad Sci USA* 110:3633–3638.
23. Van Hoewyk D, Garifullina GF, Ackley AR, Abdel-Ghany SE, Marcus MA, Fakra S, Ishiyama K, Inoue E, Pilon M, Takahashi H, Pilon-Smits EAH (2005) Overexpression of AtCpNifS enhances selenium tolerance and accumulation in *Arabidopsis*. *Plant Physiol* 139:1518–1528.
24. Mroczek-Zdyrska M, Wójcik M (2012) The influence of selenium on root growth and oxidative stress induced by lead in *Vicia faba* L. minor plants. *Biol Trace Elem Res* 147:320–328.
25. Misra S, Boylan M, Selvam A, Spallholz JE, Björnstedt M (2015) Redox-active selenium compounds-from toxicity and cell death to cancer treatment. *Nutrients* 7:3536–3556.
26. Tada Y, Spoel SH, Pajerowska-Mukhtar K, Mou Z, Song J, Wang C, Zuo J, Dong X (2008) Plant immunity requires conformational changes of NPR1 via S-nitrosylation and thioredoxins. *Science* 321:5891.
27. Molnár Á, Feigl G, Trifán V, Ördög A, Szöllösi R, Erdei L, Kolbert ZS (2018) The intensity of tyrosine nitration is associated with selenite and selenate toxicity in *Brassica juncea* L. *Ecotox Environ Saf* 147:93–101.
28. Lehotai N, Lyubanova L, Schroeder P, Feigl G, Ördög A, Szilagyi K, Erdei L, Kolbert ZS (2016) Nitro-oxidative stress contributes to selenite toxicity in pea (*Pisum sativum* L.). *Plant Soil* 400:107–122.
29. Lehotai N, Feigl G, Koós Á, Molnár Á, Ördög A, Petó A, Erdei L, Kolbert ZS (2016) Nitric oxide-cytokinin interplay influences selenite sensitivity in *Arabidopsis*. *Plant Cell Rep* 35:2181–2195.
30. Hawrylak-Nowak B, Matraszek R, Pogorzelec M (2015) The dual effects of two inorganic selenium forms on the growth, selected physiological parameters and macronutrients accumulation in cucumber plants. *Acta Physiol Plant* 37:41.
31. Sors TG, Ellis DR, Nam Na G, Lahner B, Lee S, Leustek T, Pickering IJ, Salt DE (2005) Analysis of sulfur and selenium assimilation in *Astragalus* plants with varying capacities to accumulate selenium. *Plant J* 42:785–797.

УДК 581.9

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.2-47.30>

## АНАЛІЗ ФЛОРИ «ЛІШНЯНСЬКОГО ЛІСНИЦТВА» (ДРОГОБИЦЬКИЙ РАЙОН)

Павлишак Я.Я.<sup>1</sup>, Даньків В.Я.<sup>2</sup>, Косак Г.М.<sup>1</sup><sup>1</sup>Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка  
вул. Шевченка, 23, 82100, м. Дрогобич<sup>2</sup>Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН  
вул. Грушевського, 5, 81115, с. Оброшине  
pavlyshak2210@ukr.net, victoriya2206@ukr.net

У сучасних умовах все зростаючого техногенного та антропогенного пресу на довкілля спостерігається стійка тенденція до зменшення чисельності багатьох видів рослин. Раціональне використання, охорона біорізноманіття та відтворення генофонду диких предків цінних рослин, покращення умов природного середовища є однією з важливих проблем лісового господарства. Вивчення природної флори та розробка наукових основ охорони, відтворення та раціонального використання природних ресурсів певного регіону набуває особливої актуальності.

Представлено результати дослідження флори Лішнянського лісництва Дрогобицького району. Складено конспект флори рослин даного лісництва та систематизовано їх по родинях, класах, відділах. Встановлено систематичний, біоморфологічний, еколого-ценотичний та господарський аналіз флори. Проаналізовано життєві форми рослин за характером розташування бруньок відновлення щодо поверхні землі та снігового покриву.

Конспект досліджуваної флори нараховує 109 видів, що належать до 104 родів, 46 родин та 4 відділів. Характерною особливістю є незначна кількість судинних спорових рослин (2 види або 1,8%). Відділ *Magnoliophyta* налічує 97 видів (89,0%), з яких на *Liliopsida* припадає 6,4%, на *Magnoliopsida* – 82,6%. Провідне місце у спектрі флори займає родина *Asteraceae* 11,9%. За відношенням до вологості провідне місце займають види мезофітної групи 72,4%, за вимогливістю до світла – геліофіти 62,4%, за відношенням до родючості ґрунту – еутрофи 47,6%. На основі досліджень встановлено, що на території лісництва зростають лікарські, декоративні, кормові, отруйні і медоносні рослини. Виявлено 4 види рослин, занесених до Червоної книги України (*Galanthus nivalis* L., *Leucojum vernum* L., *Taxus baccata* L., *Juniperus sabina* L.). **Ключові слова:** структурний аналіз, флора, рясність, маршрутний метод дослідження.

### Analysis of the flora of “Lishnyany Forestry” (Drohobych district). Pavlyshak Y., Dankiv V., Kossak G.

In modern conditions of ever-increasing technogenic and anthropogenic pressure on the environment, there is a steady tendency to decrease the number of many plant species. Rational use, protection of biodiversity and reproduction of the gene pool of wild ancestors of valuable plants, improvement of natural environment conditions is one of the important problems of forestry. The study of natural flora and the development of the scientific foundations of the protection, reproduction and rational use of natural resources of a certain region are gaining special relevance.

The results of the study of the flora of the Lishnyan forestry of the Drohobych district are presented. The summary of flora for the plants is made, and families, classes, genus were systematized. Systematic, biomorphological, geographical, ecological-coenotic analysis of flora was carried out. The key role of the different plant life forms by the type of root systems and position of revival buds about the blanket of snow in restore vegetation of grasslands were defined.

Floristic list includes 109 species belonging to 104 genera, 46 families and 4 divisions. A characteristic feature of the flora is the small number of pteridophytes (2 species or 1,8%).

Division of Magnoliophyta counts 97 species (89,0%), of which Liliopsida accounted for 6,4%, the Magnoliopsida – 82,6%. The leading place in the spectrum of flora is occupied by the family *Asteraceae* 11,9%. The leading place in the flora in relation to moisture is occupied by species of mesophytic group 72,4%, in terms of light requirements heliophytes 62,4%, dominated eutrophs 47,6%, dominated in relation to soil fertility. It is set on the basis of researches, that medical, decorative, forage, poisonous and melliferous plants grow on territory of forestry. 4 species of plants listed in the Red book of Ukraine were identified (*Galanthus nivalis* L., *Leucojum vernum* L., *Taxus baccata* L., *Juniperus sabina* L.). **Key words:** structural analysis, flora, abundance, route research method.

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній час людина чинить значний антропогенний вплив на оточуюче середовище: розорює землі, знищує ліси, застосовує різноманітні хімічні речовини у сільському господарстві, забруднює території важкими металами. Такий вплив викликає зміни у природних фітоценозах та чинить негативну дію на фіторізноманіття. Тому на сьогодні актуальними є питання дослідження видового складу рослинності, які допоможуть зберегти біорізноманіття.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Тема дослідження відповідає основним напрямкам наукової діяльності кафедри біології та хімії ДДПУ імені Івана Франка і виконувалась в межах науково-дослідної теми: «Моніторинг стану природних, техногенно змінених та урбанізованих екосистем Передкарпаття». Вивчення структури флори дозволить прогнозувати та регулювати можливі зміни у рослинних угрупованнях і зберегти природні запаси фіторесурсів.



**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Нині вивчаються дуже активно і мають велику бібліографію – окремі міські райони, паркові насадження, сквери тощо. Менше є відомостей про флору лісництв. Гайдукевич М.Є., Лисенко М.О. [1, 2] наводять відомості про дендрофлору Шепарівського та Надвірнянського лісництва. Видове різноманіття та систематичний аналіз Боринського лісництва наведений у праці [7]. Повний аналіз флори Лішнянського лісництва наведений у даній роботі вперше.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Метою даної роботи є вивчення екологічних особливостей видового складу флори Лішнянського лісництва Дрогобицького району шляхом встановлення біоморфологічної та екологічної структури.

**Новизна.** Відомості щодо флори Лішнянського лісництва Дрогобицького району є фрагментарні і нечисленні. Досліджено та систематизовано дані про видовий склад рослин Лішнянського лісництва. Складено конспект видів та проведено систематичний та еколого-ценотичний аналіз.

#### Виклад основного матеріалу

**Матеріали і методи дослідження.** В основу статті покладені матеріали польових досліджень виконані детально-маршрутним методом протягом 2019–2020 рр. у лісових насадженнях Лішнянського лісництва на площі 0,60 га. Обстежували не лише природні, але і культивовані види. Застосовували метод профільних ліній та метод тимчасових пробних ділянок. У найбільш репрезентативних місцях закладали пробні ділянки площею 4 м<sup>2</sup>, та робили опис згідно з планом (детально вивчали видовий склад та рясність рослин). Види ідентифікувалися за визначником [9]. Біоморфологічний аналіз проводили згідно класифікації І.Г. Серебрякова [8]. Рясність визначали окомірним методом за шкалою Друде [4].

У фітоценозах лісництва нами виявлено 109 видів рослин (як природної, так і культивованої флори), які відносяться до 104 родів, 46 родин та 4 відділів. Більшість видів флори лісництва представлена рослинами відділу *Magnoliophyta*, частка яких складає

89,0% від загальної кількості видів. Співвідношення між класами *Magnoliopsida* і *Liliopsida* складає відповідно 90 і 7 видів. Рослини інших відділів представлені незначною кількістю таксонів: відділ *Pinophyta* 3 родинами та десятьма видами, *Equisetophyta* і *Polypodiophyta* по одній родині та одному виду. Результати представлені у вигляді діаграми (рис. 1).

На території дослідження найбільш рясно (*Cop 3 за шкалою Друде*) зростає 15 видів (13,7%) рослин *Achillea millefolium* L., *Prunella vulgaris* L., *Lamium album* L. Рясно (*Cop2*) – 11 (10,1%) видів *Euphorbia cyparissias* L., *Potentilla anserina* L. та ін. Досить рясно зростає (*Cop1*) – 33 (30,3%) *Polygonum hydropiper* L., *Coronaria flos-cuculi* L., *Stellaria media* L. тощо. Рідко (*Sp*) – 24 (22,0%) види – *Frangula alnus* Mill., *Rhinanthus minor* L., *Primula veris* L., *Alnus glutinosa* L. тощо. Серед рослин є види, що зустрічаються поодинокі (*Sol*) – 19 видів (17,4%) це: *Berberis vulgaris* L., *Juglans regia* L., *Taxus baccata* L. тощо. Зникаються надземними частинами (*Soc*) 2 види (1,8%) рослин: *Vinca minor* L. та *Trifolium pratense* L. На досліджуваній території виявлено зростання по одній рослині (*Un*) – 5 видів (4,6%), серед них: *Pseudotsuga menziesii* (Mirbe) Franco, *Rhus typhina* Torn., *Chamaecyparis lawsoniana* Parl. тощо. Співвідношення рясності видів у % за шкалою О. Друде представлено у вигляді діаграми (рис. 2).

Аналіз родинного флористичного спектру засвідчив, що десять найбагатших на види родин нараховують 59 видів (54,3%) від загальної кількості. Провідні місця у таксономічному спектрі флори належать родинам *Asteraceae*, *Rosaceae*, *Lamiaceae*, *Fabaceae*, *Pinaceae*, *Salicaceae*, *Poaceae*, *Cyperaceae*, *Oleaceae*, *Betulaceae*. Найбільшим видовим різноманіттям характеризується родина *Asteraceae* (13 видів або 11,9%), яка є вершиною еволюції дводольних рослин та представники якої добре пристосовані до різноманітних умов і мають ряд прогресивних ознак. Значна частка у флорі лісництва малочисельних родин. Так одно-три видові родини об'єднують 50 видів, що становить майже 45,7% від загальної кількості видів

За класифікацією К. Раункієра у структурі лісництва рослини представлені такими життєвими

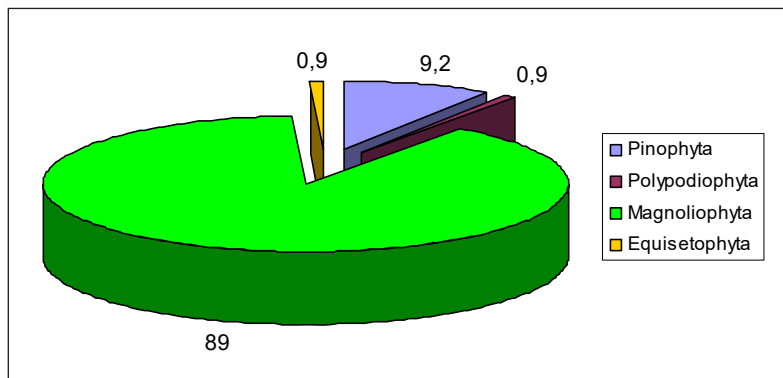


Рис. 1. Систематичний склад флори лісництва

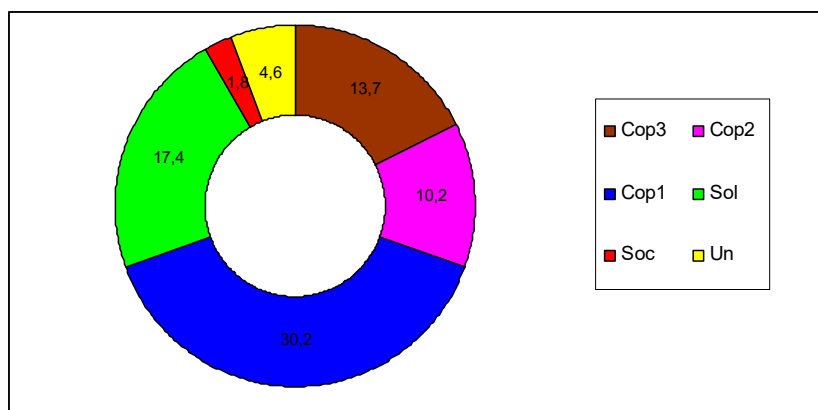


Рис. 2. Співвідношення рясності видів за шкалою О. Друде

формами, а саме фанерофіти – 39,4% *Corylus avellana* L., *Quercus robur* L., *Pinus sylvestris* L., *Acer pseudoplatanus* L., гемікриптофіти – 36,7% *Anthoxanthum odoratum* L., *Epilobium angustifolium* L., *Trifolium pratense* L., терофіти – 11,0% *Polygonum hydropiper* L., *Stellaria media* L., *Rhinanthus minor* L., криптофіти – 10,1% *Gagea lutea* L., *Rumex acetosella* L., *Galanthus nivalis* L. тощо. Група хамефітів представлена найменшою кількістю – 2,8% *Vinca minor* L., *Veronica chamaedrys* L., *Stellaria holostea* (L.) Mill.

Аналіз флори Лішнянського лісництва показав, що за типами життєвих форм по І.Г. Серебрякову, дерева налічують 23,9%, кущі – 16,5% та трав'янисті рослини – 59,6%.

Провідне місце у флорі за відношенням до вологи посідають види мезофітної групи, яка включає 79 видів (72,4%) – *Taraxacum officinale* L., *Vicia cracca* L., *Plantago major* L., *Sambucus nigra* L. та є більш чисельною. Друге місце у спектрі посідають гігрофіти, частка яких становить 16,5% (18 видів) від загальної кількості видів (*Alnus glutinosa* L., *Polygonum hydropiper* L., *Coronaria flos-cuculi* L., *Frangula alnus* Mill., *Myosotis palustris* L. та ін.). Третє ксерофіти, частка яких становить 11,0% (12 видів). Група ксерофітів представлена такими видами: *Galium aparine* Scop., *Achillea millefolium* L., *Ligustrum vulgare* L., *Xanthium strumarium* L., *Senecio vulgaris* L., *Tanacetum vulgare* L. (рис. 3).

За ступенем пристосування до інтенсивності освітлення переважають геліофіти – 68 видів

(62,4%), які найкраще розвиваються при повному освітленні в умовах лук, лісових вирубок, сільськогосподарських угідь. Екологічну групу геліофітів представляють такі види: *Pinus sylvestris* L., *Leucanthemum vulgare* Lam, *Achillea millefolium* L., *Taraxacum officinale* L., *Tussilago farfara* L., *Trifolium pratense* L. тощо. Факультативні геліофіти (субгеліофіти) можуть жити при повному сонячному освітленні, але витримують і невелике затінення. У флорі їх майже вдвічі менше, ніж геліофітів (28 видів або 25,6%). До цієї екологічної групи належать *Tanacetum vulgare* L., *Geum rivale* L., *Primula veris* L., *Chelidonium majus* L., *Tilia cordata* Mill. тощо.

Найменшу частину спектра посіли сціофіти – тіньові рослини, які зростають в затінених місцях, мішаних та широколистяних лісах із високою зімкненістю крон дерев. Екологічна група сціофітів становить (13 видів або 12,0%) від загальної кількості видів. Такими видами є *Gagea lutea* L., *Pulmonaria obscura* L., *Dryopteris filix-mas* L., *Vinca minor* L., *Taxus baccata* L., *Urtica dioica* L. тощо (рис. 4). Аналіз родинного флористичного спектру засвідчив, що десять найбагатших на види родин нараховують 59 видів (54,3%) від загальної кількості. Провідні місця у таксономічному спектрі флори належать родинам *Asteraceae*, *Rosaceae*, *Lamiaceae*, *Fabaceae*, *Pinaceae*, *Salicaceae*, *Poaceae*, *Cyperaceae*, *Oleaceae*, *Betulaceae*. Найбільшим видовим різноманіттям характеризується родина *Asteraceae* (13 видів або 11,9%), яка є вершиною еволюції дводольних рослин

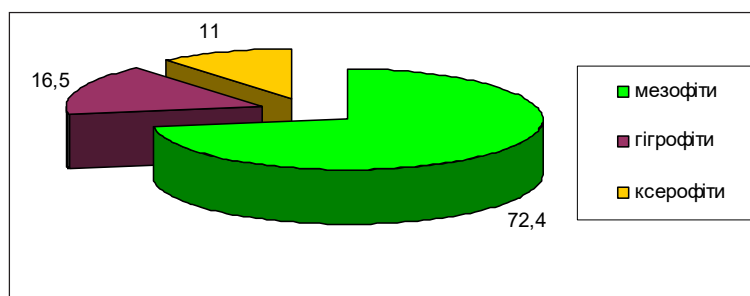


Рис. 3. Екологічні групи рослин по відношенню до води

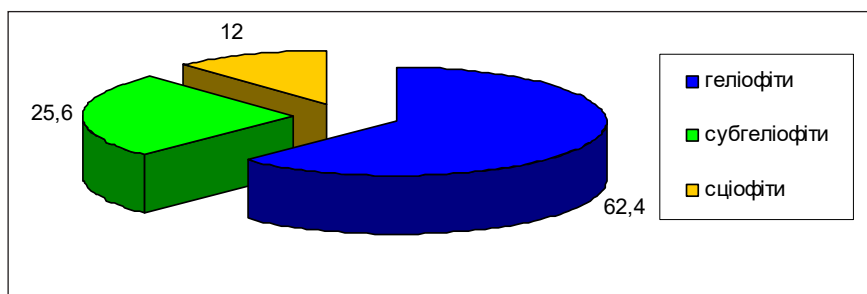


Рис. 4. Екологічні групи рослин по відношенню до світла

та представники якої добре пристосовані до різноманітних умов і мають ряд прогресивних ознак. Значна частка у флорі лісництва малочисельних родин. Так одно-три видові родини об'єднують 50 видів, що становить майже 45,7% від загальної кількості видів

За класифікацією К. Раункієра у структурі лісництва рослини представлені такими життєвими формами, а саме фанерофіти – 39,4% *Corylus avellana* L., *Quercus robur* L., *Pinus sylvestris* L., *Acer pseudoplatanus* L., гемікриптофіти – 36,7% *Anthoxanthum odoratum* L., *Epilobium angustifolium* L., *Trifolium pratense* L., терофіти -11,0% *Polygonum hydropiper* L., *Stellaria media* L., *Rhinanthus minor* L., криптофіти – 10,1% *Gagea lutea* L., *Rumex acetosella* L., *Galanthus nivalis* L. тощо. Група хамефітів представлена найменшою кількістю – 2,8% *Vinca minor* L., *Veronica chamaedrys* L., *Stellaria holostea* (L.) Mill.

Поширення й розвиток рослин тісно пов'язані з родючістю ґрунту, із його трофністю. Найбільш вибагливими до трофності є мегатрофні види. Зростання евтрофів приурочене переважно до лісових ґрунтів, які разом з дерново-опідзоленими є панівними.

За відношенням до родючості ґрунту, мезотрофи є найчисельнішою групою (52 види або 47,6%). Типовими мезотрофами, які мають помірні вимоги до вмісту поживних речовин у ґрунті є: *Larix decidua* Mill., *Acer pseudoplatanus* L. тощо. Евтрофи складають 51 вид (46,8%) від загальної кількості видів. До цієї групи відносять: *Urtica dioica* L., *Quercus robur* L.,

*Primula veris* L., *Malus domestica* Borkh. Оліготрофи приурочені до зростання на бідних на мінеральні солі ґрунтах найменш численна група 6 видів або 5,6% від загальної кількості видів *Pinus sylvestris* L., *Equisetum arvense* L., *Ligustrum vulgare* L. та ін.

Більшість рослин лісництва – це цінні деревні породи, які широко використовуються в народному господарстві країни. Флора представлена лікарськими (33,9%), декоративними та медоносними рослинами, що становлять по 16,5%, бур'яновими (15,5%), отруйними (9,2%), кормовими (8,3%). Виявлено 4 види, занесених до Червоної книги України (*Galanthus nivalis* L., *Leucojum vernum* L., та *Taxus baccata* L., *Juniperus sabina* L.).

**Головні висновки.** У результаті проведених досліджень на території Лішнянського лісництва Дрогобицького району нами встановлено зростання 109 видів рослин, що належать до 104 родів, 46 родин, 5 класів та 4 відділів. Флора представлена багатьма лікарськими, медоносними, декоративними, кормовими, бур'яновими, отруйними та рідкісними рослинами. З метою збереження фітоценозів лісництва, необхідно ощадливо, раціонально вести господарство, оберігати цінні рослини, інтенсивно відтворювати лісові насадження.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Дані досліджень є основою практичних заходів для збереження природної фіторізноманітності та її відновлення. Важливим аспектом у майбутньому є проведення популяційних досліджень рідкісних видів.

### Література

1. Гайдукевич М.Є., Лисенко М.О. Дендрофлора Шепарівського лісництва (Прут-Дністровське Межиріччя): її аналіз та охорона. *Наук. зап. Терноп. нац. ун-ту, серія біологічна*, 2016. № 1 (65). С. 12–19.
2. Гайдукевич М.Є. Дендрофлора Надвірнянського лісництва. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2012. Вип. 22.11. С. 38–42.
3. Голубець М. А. Біотична різноманітність і наукові підходи до її збереження. Львів : Ліга Прес, 2003. 33 с.
4. Друде О. Екологія рослин: підручник. К.: «Фіона-К». 2003. 208 с.
5. Зеленчук А.Т. Інвентаризаційний список судинних рослин Львівської області. *Вісн. Львів. ун-ту, серія біологічна*, 1991. Вип. 21. С. 16–33.
6. Кагало О.О. Рослинний світ Львівської області. *Рідна природа* : зб. наук. праць, 2003. С. 47–58.
7. Павлишак Я.Я., Гойванович Н.К. Вивчення флори «Боринського лісництва» (Турківський район). *Науковий вісник Львівського лісотехнічного університету*. Вип. 25.8. С. 128–133.
8. Серебряков І. Г., Чернова О.М. Життєві форми рослин. К.: Лібра, 1986. С. 94–103.
9. Чопик В.І., Котов М.І., Прогапопова В.В. Визначник рослин Українських Карпат. К. : Наукова думка, 1997. 421 с.
10. Mosyakin S. Fedoronchuk M. Vascular plants of Ukraine. A nomenclatural checklist. Kiev: 1999. 346 p.

УДК 582.093

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.2-47.31>

## АНАЛІЗ ТАКСОНОМІЧНОЇ СТРУКТУРИ РОДУ *RIBES* L. У ЗВ'ЯЗКУ З ІНТРОДУКЦІЄЮ У ПРАВОБЕРЕЖНИЙ ЛІСОСТЕП УКРАЇНИ

Солошенко В.С.

Державний дендрологічний парк «Олександрія» Національної академії наук України  
09113, м. Біла Церква  
miss456@ukr.net

У роботі детально проаналізовано систематичне положення, об'єм роду і таксономічну структуру роду *Ribes* L. у системах вищих рослин, а також з використанням відомостей, наведених у провідних міжнародних організаціях з вивчення та охорони біорізноманіття. Висвітлено особливості таксономічної структури роду *Ribes* L. виконані різними дослідниками: Е. Janczewski (1911), А. Berger (1924), А. І. Пояркова (1939), А. Rehder (1949), Е. Keep (1962), А. Л. Тахтаджян (1987), В. Д. Федоровський (2001), А. Sinters (2003), Л. Leisova-Svobodova & P. Kissling (2020), серед яких і результати RAPD-методу. Досліджено історію систематики родини *Grossulariaceae* DC та з'ясовано її сучасне філогенетичне положення у системі вищих рослин. Уточнено таксономічний склад колекційного фонду роду *Ribes* у Правобережному Лісостепу України.

Запропоновано вважати найобґрунтованішим поділ роду *Ribes* виконаний Е. Janczewski, а саме на 6 підродів та 11 секцій: *Ribesia* Berl., *Berisia* Spach. (секції *Diacantha* Jancz., *Davidia* Jancz., *Euberisia* Jancz.), *Grossularioides* Jancz., *Grossularia* Rich. (всередині підроду 2 секції – *Robsonia* Berl. і *Eugrossularia* Engl.), *Coreosma* Spach. (*Microsperma* Jancz., *Fargesia* Jancz., *Heritiera* Jancz., *Calobotrya* Spach., *Symphocalyx* Berland., *Cerophyllum* Spach., *Eucoreosma* Jancz.), *Parilla* Jancz. (секції *Andina* Jancz., *Euparilla* Jancz.).

Основою досліджень стали автохтонні таксони смородини та інтродуковані до Правобережного Лісостепу України: *Ribes alpinum* L., *Ribes americanum* Mill., *Ribes aureum* Pursh, *Ribes dikuscha* Fisch. ex Turcz., *Ribes divaricatum* Douglas, *Ribes fragrans* Pall., *Ribes glandulosum* Grauer, *Ribes graveolens* Bunge, *Ribes komarovii* Pojark., *Ribes mandschuricum* (Maxim.) Kom., *Ribes nevadense* Kellogg, *Ribes nigrum* L., *Ribes rubrum* L., *Ribes sanguineum* Pursh, *Ribes saxatile* Pall., *Ribes spicatum* Robson, *Ribes tenue* Jancz. **Ключові слова:** рід *Ribes*, види, систематичне положення, Janczewski, таксономічна структура.

### Analysis of the taxonomic structure of the genus *Ribes* L. in connection with the introduction in the Right Forest Steppe of Ukraine. Soloshenko V.

In the work, the systematic position, volume of the genus and taxonomic structure of the genus *Ribes* L. in the systems of higher plants are analyzed in detail, as well as using the information provided by the leading international organizations for the study and protection of biodiversity. The peculiarities of the taxonomic structure performed by various researchers are highlighted: E. Janczewski (1911), A. Berger (1924), A.I. Poyarkova (1939), A. Rehder (1949), E. Keep (1962), A. L. Takhtajyan (1987), V. D. Fedorovsky (2001), A. Sinters (2003), L. Leisova-Svobodova & P. Kissling (2020), including the results of the RAPD – method. The history of the taxonomy of the family *Grossulariaceae* DS was studied and its current phylogenetic position in the system of higher plants was clarified. The taxonomic composition of the collection fund of the genus *Ribes* in the Right Forest Steppe of Ukraine has been clarified.

It is proposed to consider the most justified division of the *Ribes* genus made by E. Janczewski, namely into 6 subgenera and 11 sections: *Ribesia* Berl., *Berisia* Spach. (sections *Diacantha* Jancz., *Davidia* Jancz., *Euberisia* Jancz.), *Grossularioides* Jancz., *Grossularia* Rich. (within the subgenus 2 sections – *Robsonia* Berl. and *Eugrossularia* Engl.), *Coreosma* Spach. (*Microsperma* Jancz., *Fargesia* Jancz., *Heritiera* Jancz., *Calobotrya* Spach., *Symphocalyx* Berland., *Cerophyllum* Spach., *Eucoreosma* Jancz.), *Parilla* Jancz. (sections *Andina* Jancz., *Euparilla* Jancz.).

Current taxa introduced to the Forest Steppe of Ukraine became the basis of research: *Ribes alpinum* L., *Ribes americanum* Mill., *Ribes aureum* Pursh, *Ribes dikuscha* Fisch. ex Turcz., *Ribes divaricatum* Douglas, *Ribes fragrans* Pall., *Ribes glandulosum* Grauer, *Ribes graveolens* Bunge, *Ribes komarovii* Pojark., *Ribes mandschuricum* (Maxim.) Kom., *Ribes nevadense* Kellogg, *Ribes nigrum* L., *Ribes rubrum* L., *Ribes sanguineum* Pursh, *Ribes saxatile* Pall., *Ribes spicatum* Robson, *Ribes tenue* Jancz. **Key words:** genus *Ribes*, species, Janczewski, systematic position, taxonomic structure.

**Постановка проблеми.** Види роду *Ribes* L., світовий генофонд яких нараховує понад 150 видів, мають поліфункціональне значення: їх вводять у культуру з метою збагачення асортименту декоративних рослин, вирощують як високовітамінні плодови культури, використовують з метою пошуку нових джерел біологічно активних речовин. Серед них є природні для флори України види, понад 30 інтродукованих і рідкісні та зникаючі види. Потенціал роду *Ribes* L. на сучасному етапі є недостатньо розкритим, особливо потребує додаткового

вивчення та уточнення питання об'єму та таксономічної структури роду.

**Актуальність дослідження.** До сьогодні питання таксономічної структури роду *Ribes* лишається дискусійним та недостатньо вивченим. Актуальним є дослідження таксономічного складу роду *Ribes* шляхом ретельного аналізу та доповнення інформації, представленої авторитетними світовими джерелами з питань таксономії рослин. Для уточнення таксономічного складу роду *Ribes* у дендрологічних колекціях Правобережного Лісостепу України, нами

було перевірено правильність вживання назв смородини у каталогах рослин та довідниках. Слід зазначити, що у нових міжнародних класифікаціях, які базуються переважно на даних генетичного аналізу, таксономічне положення видів активно переглядається, змінюються ранги таксонів, зменшується або збільшується об'єми родів, кількість видів і внутрішньовидових таксономічних одиниць.

**Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями.** Дослідження проводилися у рамках науково – дослідної теми «Інтродукція рослин та наукові основи збереження генофонду природної та культурної флори державного дендрологічного парку «Олександрія» НАН України».

**Аналіз останніх джерел досліджень і результатів.** Було ретельно проаналізовано усі наявні описи систематичної структури роду *Ribes*, виконані дослідниками Е. Janczewski (1911), А. Berger (1924), А. І. Пояркова (1939), А. Rehder (1949), Е. Кеер (1962), А. Л. Тахтаджян (1987), В. Д. Федоровський (2001), А. Senters (2003), L. Leisova-Svobodova & P. Kissling (2020) та іншими [1–9].

**Метою наших досліджень було** з'ясування таксономічного складу та об'єму роду *Ribes* у сучасних системах вищих рослин та визначення пріоритетних назв з формуванням єдиного списку внутрішньородових таксонів.

**Об'єкти і методи досліджень.** Об'єктами досліджень були види, різновиди та гібриди, які входять до роду *Ribes*. Уточнення таксономічного складу проведено шляхом порівняння та доповнення інформації з таксономії рослин, представленої у базах даних найавторитетніших міжнародних організацій та проєктів з вивчення та охорони біорізноманіття: ITIS (Integrated Taxonomic Information System), The Plants Database USDA; WFO (World flora online. org). Також було використано інформацію з електронної версії видання «Flora of China», тому що це єдине джерело, де наведено інформацію щодо далекосхідних видів. Ці організації та проєкти нині є основними носіями інформації з таксономії рослин, а їх бази даних постійно уточнюються та є взаємодоповнюючими [10–12].

**Виклад основного матеріалу.** Родина *Grossulariaceae* DC об'єднує понад 150 видів роду *Ribes*, природно поширених у помірних областях Євразії, Північної та Центральної Америки, Північно-Західної Африки, тихоокеанської Південної Америки (на південь до Вогняної землі). Раніше науковці вважали, що ця родина дуже близька до родини *Saxifragaceae* Juss., у тому й числі за анатомією насіння та серологічними даними, проте, досліджуючи пилок з'ясували, що будова пилоквіткових зерен різних видів *Ribes* не має собі подібних серед енглеровського сімейства *Saxifragaceae*, тобто підтвердилася ізольованість роду *Ribes* і обґрунтовано виділення його в окрему родину *Grossulariaceae* [13].

Рід *Ribes* L. вперше описав Карл Лінней в 1737 році. Родова назва смородини “*Ribes*” є латинізацією арабського слова “*ribas*” – це назва палестинського ревеню (*Rheum ribes* Z.). Після завоювання Іспанії у 711 році, араби не знайшли серед місцевих рослин відомого їм “*ribas*”, який вони весь час використовували на Батьківщині, тому цю назву перенесли на невідомий кущ *Ribes rubrum* (смородину червону), який мав кислі на смак ягоди. Українська назва роду «порічки», англійська – “*currant*”. На старослов'янській мові слово «смородит» означає сильний, терпкий, різкий аромат. Свою назву смородина і отримала завдяки цьому запаху [14]

Ще Карл Лінней рід *Ribes* поділив на 2 підроди: смородина неколюча (*Ribes inermia* L.) та смородина колюча або агрус (*Grossularia aculeate* L.) [2].

А. Р. De Candolle (1883) запропонував виділити смородину і агрус в окремі родини через їх численні несхожості. Європейські ботаніки Л. С. Richard, Н. G. L. Reichenbach, P. E. Boissier також вважали, що смородину і агрус необхідно відокремити у різні підроди, але дали цій родині іншу назву – *Ribesiaceae* [15].

А. Engler (1891) згрупував види роду *Ribes* у 3 секції – *Ribesia*, *Grossularia*, *Robsonia*, а у секції *Ribesia* виділяють групи *Nigra*, *Alpina*, *Rubra* (*Calobotrya*) [16].

Е. Janchewskii (1907), узагальнивши все зроблене до нього, розділяє рід *Ribes* на 6 підродів: *Ribesia* Berl., *Berisia* Spach., *Grossularioides* Jancz., *Grossularia* Rich., *Coreosma* Spach., *Parilla* Jancz. Види агрусу – *Grossularia*, як бачимо, не виділяє в окремий рід, але розрізняє всередині підроду ще 2 секції – *Robsonia* Berl. і *Eugrossularia* Engl. У підроді *Parilla* секції *Andina* Jancz., *Euparilla* Jancz.; у підроді *Berisia* – секції *Diacantha* Jancz., *Davidia* Jancz., *Euberisia* Jancz. Найбільше число секцій має підрід *Coreosma*: *Microsperma* Jancz., *Fargesia* Jancz., *Heritiera* Jancz., *Calobotrya* Spach., *Symphocalyx* Berland., *Cerophyllum* Spach., *Eucoresma* Jancz. Види саме цього підроду природно поширені у Європі, Азії, Америці [17].

Значні зміни до класифікації внутрішньородової структури смородин за Е. Janchewskii вніс А. Berger (1924). Так, підрід *Grossularia* він перевів у ранг роду, а всередині роду *Ribes* виділив 8 підродів, а саме: *Ribesia* (Berl.) Jancz., *Eucoresma* Jancz., *Symphocalyx* Berl., *Calobotrya* Spach., *Heritiera* Jancz., *Grossularioides* Jancz., *Berisia* (Spach) Jancz., *Parilla* Jancz. [2].

Над дослідженням структури роду *Ribes* працювали також А.І. Пояркова (1936) та А.С. Лозіно-Лозинська (1954). За основу класифікації вони взяли поділ роду за А. Berger, проте, А.І. Пояркова не включила до системи роду підрід *Parilla* Jancz., який росте у Південній півкулі (всього у межах роду *Ribes* вона виділяла лише 37 видів смородин), а А.С. Лозіна-Лозинська об'єднала підроди

*Symphocalyx* Berl. (види *Ribes aureum* Pursh. та *Ribes odoratum* L.) і *Calobotriya* Spach [3, 18].

Американський дослідник А. Rehder (1949) у межах роду *Ribes* виділив 3 підроди, з яких *Berisia* і *Ribesia* складаються з наступних секцій: *Berisia* (Spach) Jancz. включає *Euberisia* Jancz., *Diacantha* Jancz., *Davidia* Jancz., *Hemibotrya* Jancz., *Parilla* Jancz.; підрід *Ribesia* (Berl) Jancz. включає: *Microsperma* Jancz., *Symphocalyx* Berl., *Calobotrya* Spach, *Cerophyllum* Spach, *Eucoreosma* Jancz., *Hertiera* Jancz, *Ribesia* (Berl) Jancz. та підрід *Grossularioides* Jancz [4].

Е. Кеер (1962), узагальнивши численні дані з міжвидової гібридизації у межах роду *Ribes*, приходить до висновку, що система А. Rehder щодо підроду *Ribesia* (Berl) Jancz. є абсолютно штучною, як і морфологічному, так і у генетичному аспекті. На його думку, у класифікації А. Rehder доцільно зберегти класифікацію підродів *Berisia* (Spach) Jancz. та *Grossularioides* Jancz., але з 7 секцій підроду *Ribesia* (Berl) Jancz. необхідно створити нові 6 підродів, а саме: *Microsperma* Jancz., *Symphocalyx* Berl., *Calobotrya* Spach, *Hertiera* Jancz., *Ribesia* (Berl) Jancz. та *Cerophyllum* Spach [5].

Відомий систематик А.Л. Тахтаджян у своїй монументальній праці «Система магноліофітов» (1987) повністю підтримав висновки А. Berger – рід поділяється на 8 підродів і 150 видів роду *Ribes* [6]. Навпаки, український науковець, дослідник смородин В.Д. Федоровський у монографії «*Ribes spicatum* Robson – смородина колосиста» (2001), притримується класифікації смородин за Е. Janczewskii, де агрус і смородина належать до одного роду *Ribes* та мають 6 підродів: *Ribesia* Berl., *Berisia* Spach, *Grossularioides* Jancz., *Grossularia* Rich., *Calobotria* Spach, *Coreosma* Spach [7].

На сучасному етапі розвитку світової науки представники роду *Ribes* інтенсивно досліджуються та аналізуються з використанням молекулярних маркерів та різних методів молекулярного аналізу поліморфізму ядерної та хлоропластної ДНК, таких як поліморфізм рестрикційних сайтів двох регіонів хлоропластної ДНК [19], *psbA* -*trnH* спейсера ХП ДНК та аналізу нуклеотидного поліморфізму внутрішніх та зовнішніх транскрибованих спейсерів [20], аналізу нуклеотидного поліморфізму внутрішніх транскрибованих спейсерів ядерної ДНК [8]. За результатами цих досліджень рекомендовано види родів *Ribes* та *Grossularia* доцільно об'єднати в один рід – *Ribes*. Єдність роду *Ribes* підтверджувалася також отриманням смородино – агрусових гібридів.

Підсумовуємо, що опрацювавши результати останніх сучасних досліджень таксономічної структури роду *Ribes* з використанням ДНК-маркерів та методів молекулярного аналізу (роботи R. M. Brennan, L. Jorgensen, M. Woodhead, J. Russel, K. Antonius, S. Karhu, H. Kaldmac, G. Lacis, R. Rugenius, D. Baniulis, A. Sasnauskas, E. Schulte,

A. Kuras, M. Korbin, A. Gunnarsson, R.D. Werlemark, K. Hummer and D. Barney, R.T. Todam-Andersen, L. Kokk, K. Jarve, P. Kissling, L. Leišová-Svobodová) [1, 8–9, 17, 21–29], ми переконалися, що найобгрунтовнішою лишається система роду *Ribes* сформована Е. Janchewskii ще на початку XIX ст. та розвинута іншими вченими. Згідно з якою, рід *Ribes* складається з 6 підродів та 11 секцій: *Ribesia* Berl., *Berisia* Spach. (секції *Diacantha* Jancz., *Davidia* Jancz., *Euberisia* Jancz.), *Grossularioides* Jancz., *Grossularia* Rich. (всередині підроду 2 секції – *Robsonia* Berl. і *Eugrossularia* Engl.), *Coreosma* Spach. (*Microsperma* Jancz., *Fargesia* Jancz., *Heritiera* Jancz., *Calobotrya* Spach., *Symphocalyx* Berland., *Cerophyllum* Spach., *Eucoreosma* Jancz.), *Parilla* Jancz. (секції *Andina* Jancz., *Euparilla* Jancz.).

Також метою наших досліджень було вивчення та уточнення пріоритетних назв таксонів, таксономічного складу та об'єму роду *Ribes* у сучасних системах вищих рослин з формуванням єдиного списку внутрішньородових таксонів. У нових міжнародних класифікаціях, побудованих на даних генетичного аналізу, таксономічне положення видів активно переглядається, змінюються ранги таксонів, зменшується або збільшується кількість видів та внутрішньовидових таксономічних одиниць.

У зв'язку з цим нами проведено ретельний огляд літературних джерел та переглянутий таксономічний склад колекції роду *Ribes* у Правобережному Лісостепу України – 17 видів смородин, які культивуються у колекціях ботанічних садів та дендропарків (табл. 1).

Встановлено, що сучасний об'єм роду *Ribes*, згідно з різними джерелами таксономічної інформації, нараховує від 86 до 309 таксонів: ITIS (86 таксонів), The Plants Database (107), GRIN (174), Catalogue of Life: 2022 Annual Checklist (282), The Plants List (309 таксонів) [10–12].

Зміни внутрішньовидових таксономічних одиниць відмічено у 14 видів: *Ribes alpinum* L., *Ribes aureum* Pursh, *Ribes divaricatum* Douglas, *Ribes glandulosum* Grauer, *Ribes mandschuricum* (Maxim.) Kom., *Ribes nevadense* Kellogg, *Ribes nigrum* L., *Ribes rubrum* L., *Ribes sanguineum* Pursh, *Ribes spicatum* Robson, *Ribes tenue* Jancz. [30]. Тепер вони розглядаються як різновиди у межах інших видів, дані представлені у таблиці 2.

**Висновки.** Ретельно проаналізувавши результати дослідження таксономії роду *Ribes*, представлені у літературних джерелах та сучасних базах даних міжнародних організацій і проєктів з вивчення та охорони довкілля, можемо констатувати, що і до теперішнього часу у систематиці роду *Ribes*, крім дискусійних проблем пов'язаних з розподілом на підроди та секції, існує й низка неоднозначних поглядів на об'єм роду. Дослідження не завершені, таксономію роду *Ribes* остаточно досі не визначено.

Таблиця 1

Таксономічний склад *Ribes* L. за джерелами інформації

Загальноприйнята назва таксону	Catalogue of Life: 2022 Annual Checklist	WFO	GRIN	ITIS	Flora of China	The Plants Database
<i>Ribes alpinum</i> L.	+	+	+	+	-	+
<i>Ribes americanum</i> Mill.	+	+	+	+	+	+
<i>Ribes aureum</i> Pursh	+	+	+	+	-	+
<i>Ribes dikuscha</i> Fisch. ex Turcz.	+	+	+	+	-	-
<i>Ribes divaricatum</i> Douglas	+	+	+	+	+	+
<i>Ribes fragrans</i> Pall.	+	+	+	+	-	-
<i>Ribes glandulosum</i> Grauer	+	+	+	+	-	+
<i>Ribes graveolens</i> Bunge	+	+	+	+	+	-
<i>Ribes komarovii</i> Pojark.	+	+	+	+	+	-
<i>Ribes mandschuricum</i> (Maxim.) Kom.	+	+	+	+	+	-
<i>Ribes nevadense</i> Kellogg	+	+	+	+	-	+
<i>Ribes nigrum</i> L.	+	+	+	+	+	+
<i>Ribes rubrum</i> L.	+	+	+	+	+	+
<i>Ribes sanguineum</i> Pursh	+	+	+	+	-	+
<i>Ribes saxatile</i> Pall.	+	+	+	+	+	-
<i>Ribes spicatum</i> Robson	+	+	+	+	-	+
<i>Ribes tenue</i> Jancz.	+	+	+	-	+	-

Таблиця 2

Таксономічний склад колекції роду *Ribes* L. у Правобережному Лісостепу України за сучасною міжнародною системою

Власні назви таксонів за попередніми системами [6]	Різновиди та синоніми назв таксонів за сучасною міжнародною системою роду WFO <a href="http://www.worldfloraonline.org/taxon/">http://www.worldfloraonline.org/taxon/</a>
1	2
<i>Ribes alpinum</i> L.	<p><i>Ribes alpinum</i> L.  <b>Synonym</b>  <i>Grossularia alpestris</i> Bubani  <i>Grossularia insipida</i> Rupr.  <i>Liebichia alpina</i> Opiz  <i>Liebichia gottsteinii</i> Opiz  <i>Ribes alpinum</i> subsp. <i>lucidum</i> (Kit.) Jasicová  <i>Ribes alpinum</i> subsp. <i>lucidum</i> (Kit.) Soják  <i>Ribes bacciferum</i> hort. ex K. Koch  <i>Ribes dioicum</i> Moench  <i>Ribes hladnikii</i> Rchb. ex Nyman  <i>Ribes leucocladon</i> Rchb. ex K. Koch  <i>Ribes lucidum</i> Kit.  <i>Ribes pallidigemmum</i> Simonk.  <i>Ribes pilosum</i> Rchb. ex K. Koch  <i>Ribes scopoli</i> Rchb. ex K. Koch  <i>Ribes sennenii</i> Simonk.  <i>Ribes sterile</i> hort. ex K. Koch</p>
<i>Ribes americanum</i> Mill.	<p><i>Ribes americanum</i> Mill.  <b>Included Form</b>  <i>Ribes americanum</i> f. <i>mesochorum</i> (Nieuwl.) Deam  <i>Ribes americanum</i> f. <i>pauciglandulosum</i> Fassett  <b>Synonym</b>  <i>Coreosma americana</i> Nieuwl.  <i>Coreosma americana</i> var. <i>mesochora</i> Nieuwl.  <i>Coreosma florida</i> Spach  <i>Ribes billenei</i> Medik.  <i>Ribes campanulatum</i> Moench</p>

1	2
	<p><i>Ribes dillenii</i> Medik.  <i>Ribes floridum</i> L'Herit  <i>Ribes floridum</i> var. <i>grandiflorum</i> Loudon  <i>Ribes intermedium</i> Tausch  <i>Ribes nigrum</i> var. <i>pennsylvanicum</i> Marshall  <i>Ribes pensylvanicum</i> Lam.  <i>Ribes recurvatum</i> Michx.  <i>Ribes schmidtianum</i> Tausch  <i>Ribesium campanulatum</i> Medik.  <i>Ribesium dillenii</i> Medik.</p>
<p><i>Ribes aureum</i> Pursh</p>	<p><i>Ribes aureum</i> Pursh  <b>Included Variety</b>  <i>Ribes aureum</i> var. <i>gracillimum</i> (Coville &amp; Britton) Jeps.  <i>Ribes aureum</i> var. <i>villosum</i> DC.  <b>Synonym</b>  <i>Chrysobotrya aurea</i> (Pursh) Rydb.  <i>Chrysobotrya intermedia</i> Spach  <i>Chrysobotrya lindleyana</i> Spach  <i>Chrysobotrya revoluta</i> Spach  <i>Coreosma longiflora</i> Lunell  <i>Coreosma longifolia</i> Lunell  <i>Ribes aureum</i> f. <i>chrysococcum</i> (Rydb.) Rehder  <i>Ribes aureum</i> var. <i>aureum</i> WFO descriptions  <i>Ribes aureum</i> var. <i>chrysococcum</i> Rydb.  <i>Ribes aureum</i> var. <i>leiobotrys</i> (Koehne) Zabel  <i>Ribes aureum</i> var. <i>longiflorum</i> Jancz.  <i>Ribes aureum</i> var. <i>tenuiflorum</i> (Lindl.) Jeps.  <i>Ribes ebracteatum</i> Berland.  <i>Ribes flavum</i> Berland.  <i>Ribes fontainesii</i> Colla  <i>Ribes inodorum</i> Link  <i>Ribes leiobotrys</i> Koehne  <i>Ribes longiflorum</i> Nutt.  <i>Ribes missureense</i> Lodd. ex H.L. Wendl.  <i>Ribes odoratissimum</i> McMahon ex True  <i>Ribes odoratum</i> var. <i>intermedium</i> (Spach) Rehder ex Berger  <i>Ribes odoratum</i> var. <i>leiobotrys</i> (Koehne) Rehder ex Berger  <i>Ribes oregoni</i> Hérincq  <i>Ribes tenuiflorum</i> Lindl.</p>
<p><i>Ribes dikuscha</i> Fisch. ex Turcz.</p>	<p><i>Ribes dikuscha</i> Fisch. ex Turcz.</p>
<p><i>Ribes divaricatum</i> Douglas</p>	<p><i>Ribes divaricatum</i> Douglas  <b>Included Variety</b>  <i>Ribes divaricatum</i> subsp. <i>parishii</i> (A.Heller) A. E. Murray  <i>Ribes divaricatum</i> var. <i>amicum</i> Jeps.  <i>Ribes divaricatum</i> var. <i>douglasii</i> Jancz.  <i>Ribes divaricatum</i> var. <i>klamathense</i> (Coville) McMinn  <i>Ribes divaricatum</i> var. <i>montanum</i> Jancz.  <i>Ribes divaricatum</i> var. <i>parishii</i> (A. Heller) Jeps.  <i>Ribes divaricatum</i> var. <i>rigidum</i> M. Peck  <i>Ribes divaricatum</i> var. <i>villosum</i> Jancz.  <b>Synonym</b>  <i>Grossularia divaricata</i> Coville &amp; Britton  <i>Grossularia irrigua</i> S. Watson  <i>Ribes divaricatum</i> var. <i>divaricatum</i> WFO descriptions  <i>Ribes suksdorfii</i> A.Heller</p>
<p><i>Ribes fragrans</i> Pall.</p>	<p><i>Ribes fragrans</i> Pall  <b>Synonym</b>  <i>Ribes pneobalsamum</i> Siev.  <i>Ribes suaveolens</i> Turcz.</p>



1	2
<i>Ribes glandulosum</i> Grauer	<i>Ribes glandulosum</i> Grauer <b>Synonym</b> <i>Coreosma prostrata</i> Lunell <i>Ribes prostratum</i> L'Hér <i>Ribes resinosum</i> Pursh <i>Ribes scabrum</i> Domb. ex Spach <i>Ribes viscosum</i> Cels ex Steud.
<i>Ribes graveolens</i> Bunge	<i>Ribes graveolens</i> Bunge
<i>Ribes komarovii</i> Pojark.	<i>Ribes komarovii</i> Pojark. <b>Synonym</b> <i>Ribes komarovii</i> var. <i>komarovii</i> <i>Ribes maximowiczianum</i> var. <i>saxatile</i> Kom.
<i>Ribes manschuricum</i> (Maxim.) Kom.	<i>Ribes manschuricum</i> Kom.
<i>Ribes nevadense</i> Kellogg	<i>Ribes nevadense</i> Kellogg <b>Included Variety</b> <i>Ribes nevadense</i> var. <i>genuimum</i> Jancz. <i>Ribes nevadense</i> var. <i>grantii</i> A. Berger <i>Ribes nevadense</i> var. <i>jasperae</i> Jancz. <b>Synonym</b> <i>Ribes ascendens</i> Eastw. <i>Ribes glaucescens</i> Eastw. <i>Ribes grantii</i> A. Heller <i>Ribes hittellianum</i> Eastw. <i>Ribes nevadense</i> var. <i>glaucescens</i> A. Berger <i>Ribes nevadense</i> var. <i>jaegeri</i> A. Berger <i>Ribes variegatum</i> A. Nelson
<i>Ribes nigrum</i> L.	<i>Ribes nigrum</i> L. <b>Included Form</b> <i>Ribes nigrum</i> f. <i>subalpinum</i> Krasnob. <i>Ribes nigrum</i> var. <i>eglandulosum</i> Malyshev <b>Synonyms</b> <i>Botrycarpum nigrum</i> A. Rich. <i>Botrycarpum obtusilobum</i> Opiz <i>Botryocarpium nigrum</i> (L.) Spach <i>Grossularia nigra</i> Mill. ex Steud. <i>Ribes aconitifolium</i> hort. ex K. Koch <i>Ribes apiifolium</i> hort. ex K. Koch <i>Ribes bactonii</i> Lavallée <i>Ribes cyathiforme</i> Pojarkova <i>Ribes nigrum</i> var. <i>europaeum</i> Jancz. <i>Ribes nigrum</i> var. <i>pauciflorum</i> (Turcz. ex Ledeb.) Jancz. <i>Ribes olidum</i> Moench <i>Ribes pauciflorum</i> Turcz. ex Ledeb. <i>Ribesium nigrum</i> Medik.
<i>Ribes rubrum</i> L.	<i>Ribes rubrum</i> L. <b>Included Variety</b> <i>Ribes rubrum</i> var. <i>alaskanum</i> (Berger) B. Boivin <i>Ribes rubrum</i> var. <i>albinervium</i> MacMill. <i>Ribes rubrum</i> var. <i>subglandulosum</i> Maxim. <i>Ribes rubrum</i> var. <i>virescens</i> Regel <b>Synonyms</b> <i>Grossularia rubra</i> Rupr. <i>Grossularia rubra</i> Scop. <i>Ribes albescens</i> Poit. & Turpin <i>Ribes albicans</i> Poit. & Turpin <i>Ribes albovirens</i> Poit. & Turpin <i>Ribes auriculatum</i> Poit. & Turpin <i>Ribes carneum</i> G. Nicholson <i>Ribes carneum</i> Poit. & Turpin <i>Ribes domesticum</i> Jancz. <i>Ribes glabrum</i> (Hedl.) Sennikov

Продовження таблиці 2

1	2
	<p><i>Ribes macrocarpum</i> Jancz.  <i>Ribes officinarum</i> Dum. Cours.  <i>Ribes pendulum</i> Salisb.  <i>Ribes racemosum</i> Poit. &amp; Turpin  <i>Ribes rubrum</i> var. <i>scandicum</i> Jancz.  <i>Ribes rubrum</i> var. <i>sylvestre</i> DC. ex Berland.  <i>Ribes spicatum</i> subsp. <i>scandicum</i> Hyl.  <i>Ribes sylvestre</i> Mert. &amp; W. D. J.Koch  <i>Ribes vinosum</i> Dum.Cours.  <i>Ribes vulgare</i> Lam.  <i>Ribes vulgare</i> var. <i>sylvestre</i> Lam.  <i>Ribesium rubrum</i> Medik.</p>
<i>Ribes sanguineum</i> Pursh	<p><i>Ribes sanguineum</i> Pursh  <b>Included Variety</b>  <i>Ribes sanguineum</i> var. <i>album</i> Gorman  <i>Ribes sanguineum</i> var. <i>glutinosum</i> (Benth.) Loudon  <i>Ribes sanguineum</i> var. <i>variegatum</i> S. Watson  <b>Synonyms</b>  <i>Calobotrya sanguinea</i> Spach  <i>Coreosma sanguinea</i> Spach  <i>Ribes alceifolium</i> Kunze ex Walp.  <i>Ribes glutinosum</i> var. <i>melanocarpum</i> Greene  <i>Ribes sanguineum</i> var. <i>albescens</i> Rehder  <i>Ribes sanguineum</i> var. <i>deductum</i> Jeps.  <i>Ribes sanguineum</i> var. <i>melanocarpum</i> (Greene) Jeps.  <i>Ribes sanguineum</i> var. <i>sanguineum</i> WFO descriptions  <i>Ribes scuphami</i> Eastw.  <i>Ribes tubiflorum</i> C. A. Mey.  <i>Ribes tubulosum</i> Eschsch.</p>
<i>Ribes saxatile</i> Pall.	<p><i>Ribes saxatile</i> Pall.  <b>Synonyms</b>  <i>Ribes cuneatum</i> Kar. &amp; Kir.</p>
<i>Ribes spicatum</i> Robson	<p><i>Ribes spicatum</i> Robson  <b>Included Subspecies</b>  <i>Ribes spicatum</i> subsp. <i>hispidulum</i> (Jancz.) Hämet-Ahti  <i>Ribes spicatum</i> subsp. <i>lapponicum</i> Hyl.  <b>Synonyms</b>  <i>Ribes densiflorum</i> Liou  <i>Ribes heteromorphum</i> Topa  <i>Ribes lioui</i> C.Wang &amp; Chang Y. Yang  <i>Ribes lithuanicum</i> Jancz.  <i>Ribes petraeum</i> Sm.  <i>Ribes pubescens</i> Hedl.  <i>Ribes pubescens</i> Kom.  <i>Ribes rubrum</i> subsp. <i>sylvestre</i> Syme  <i>Ribes rubrum</i> var. <i>bromfieldianum</i> Syme  <i>Ribes rubrum</i> var. <i>palczewckii</i> Jancz.  <i>Ribes rubrum</i> var. <i>palczewskii</i> Janch.  <i>Ribes rubrum</i> var. <i>pubescens</i> Hartm.  <i>Ribes rubrum</i> var. <i>smithianum</i> Syme  <i>Ribes scandicum</i> Hedl.  <i>Ribes schlechtendalii</i> Lange  <i>Ribes smithianum</i> (Syme) Hedl.  <i>Ribes spicatum</i> subsp. <i>pubescens</i> Hyl.  <i>Ribes spicatum</i> var. <i>pubescens</i> (Hartm.) Cinovskis</p>
<i>Ribes tenue</i> Jancz.	<p><i>Ribes tenue</i> Jancz.  <b>Included Variety</b>  <i>Ribes tenue</i> var. <i>incisum</i> L.T.Lu  <i>Ribes tenue</i> var. <i>puberulum</i> H.Chuang  <b>Synonyms</b>  <i>Ribes coeleste</i> Jancz.  <i>Ribes tenue</i> var. <i>tenue</i> Jancz.</p>

У своїй роботі ми притримуємося системи роду *Ribes* сформованої Е. Janchewskii, згідно з якою рід *Ribes* поділяється з 6 підродів та 11 секцій. Цю систему вважаємо найобґрунтовнішою.

Беручи до уваги той факт, що пріоритетні назви таксонів є обов'язковими для використання в усіх наукових джерелах фахівцями різних галузей ботанічної науки, на нашу думку, варто у майбутньому

відмовитись від практики вживання синонімічних назв таксонів.

**Перспективи використання результатів досліджень.** Результати отриманих досліджень може бути використано для уточнення таксономічного складу та об'єму роду *Ribes* у сучасних системах вищих рослин, з'ясування пріоритетних назв таксонів та формування єдиного списку внутрішньородових таксонів роду *Ribes*.

### Література

- Janczewski E. *Ribes* L. *Plantae Wilsonianae*, 1911. Vol. 1, P. 152-153.
- Berger A. Taxonomic review of currants and groseberries. *Bull. N.Y. St. Agr. Exp. Stn.*, 1924. Vol. 109, P. 34-41.
- Флора СССР. В 12 т. Т. 9. Род *Ribes* L. / А. И. Полякова. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1939. С. 226-270.
- Rheder A. Manual of cultivated trees and shrubs Hardy in North America. AND.-Y.: The MacMillan Co, 1949. 991 p.
- Keep E. Interspecific hybridization in *Ribes*. *Genetica* 1962, 33:1-23. DOI: 10.1007/BF01725743
- Тахтаджян А. Л. Система магнолиофитов. Л.: Наука, 1987. С. 146-147.
- Федоровский В. Д. *Ribes spicatum* Robson – смородина колосистая (систематика, география, изменчивость, интродукция). Киев: Фитосоцицентр, 2001. 204 с.
- Senters A. E., Douglas E. Soltis Phylogenetic Relationships in *Ribes* (*Grossulariaceae*) Inferred from ITS Sequence Data. 2003. *Taxon*. 52 (1): 51-66. DOI: 10.2307/3647301. ISSN 0040-0262. JSTOR 3647301
- Leisova-Svobodova L., Kissling P. The European Species of *Ribes* subg. *Rebesia*, *Plant systematics and evolution*. 2021. V. 307, no. 3, pp. 41.
- Taxonomic structure of the genus *Ribes* L. *Integrated Taxonomic Information System (ITIS)*: веб-сайт. URL: <https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt> (Last accessed :16.02.2023).
- Taxonomic structure of the genus *Ribes* L. *World of Flora Online (WFO)*: веб-сайт. URL: <http://www.worldfloraonline.org/search?query=Ribes> (Last accessed:16.02.2023).
- Taxonomic structure of the genus *Ribes* L. *Flora of China*: URL:[http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora\\_id=2&taxon\\_id=128544](http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=2&taxon_id=128544) (Last accessed 16.02.2023).
- Агабабян В. Ш. К палиноморфологии рода *Ribes* L. *Известия АН Армянской ССР*. Биол. науки. 1963. Т. 16, № 4. С. 93-98.
- Нечитайло В. А., Кучерява Л. Ф. Ботаника. Вищі рослини. Київ: Наукова думка, 1987. 548 с.
- Candolle A. P. de. 1828. Enumeratio Contracta Ordinum, Generum, Specierumque Plantarum. 3: 1-491.
- Engler A., Prante K. Saxifragaceae, 1930 von A. Engler Die natürlichen Pflanzenfamilien. Teil 3, Abt. 2. Leipzig, 1891. S. 41-93.
- Janczewski E. Monograph of the currants *Ribes* L. *Mem. Soc. Phys. Hist. Nat. Geneve*, 1907. Vol. 35, P. 199-517.
- Деревья и кустарники СССР. В 6 т. Т. 3. Род 9. Смородина – *Ribes* / ред. тома С. Я. Соколов. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1954. С. 177-255.
- Messenger W., A. Liston and K. Hummer *Ribes* phylogeny as indicated by restriction-site polymorphisms of PCR-amplified chloroplast DNA. *Plant Systematics and Evolution*. 1999. № 217. P. 185-195.
- Schultheis L. M., M. J. Donoghue Molecular phylogeny and biogeography of *Ribes* (*Grossularia*) with an emphasis of gooseberry (subg. *Grossularia*). *Systematic Botany*. 2004. Vol. 29, № 1. P. 77-96.
- Development of Northern European *Ribes* core collection based on microsatellite (SSR) marker diversity analysis / K. Antonius, S. Karhu, H. Kaldmac, G. Lacinis, R. Rugenius, D. Baniulis et al. *Pl Genet Resources*. 2012. 101:70-73. <https://DOI.org/10.1017/S1479262111000980>
- Development and characterization of SSR markers in *Ribes* species / R. Brennan, L. Jorgensen, M. Woodhead, J. Russel *Molec Ecol Notes*. 2002. № 2. P. 327-330. <https://DOI.org/10.1046/j.1471-8286.2002.00233>
- Kissling P. Une esquisse morphotaxonomique des *Ribesia* médioeuropéens ou 52 questions pour la biologie moléculaire 78 p. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01408201> (français)
- Hummer K. E., D. Barney Currants: Comprehensive Crop Report. *Hort Technology*. 2002. Vol. 12, № 3. P. 377-387.
- Brennan R. M. Currants and Gooseberries. Fruit Breeding. Edited by Jules Janick and James N. Moore. Ind. "John Wiley and Sons", 2008. V. II, Ch. 3. P. 191-295.
- Wiersema J H., M. Schori Taxonomic Information on Cultivated Plants in GRIN-Global. National Germplasm Resources Laboratory, Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture, Beltsville (2020). Available at: <https://npgsweb.ars-grin.gov/gringlobal/taxon/abouttaxonomy.aspx>. Accessed 10 Nov 2020
- Leišová-Svobodová L., P. Kissling The European species of *Ribes* subg. *Ribes*: population genetic testing of classical systematics. *Plant Syst Evol*. 2021. Vol. 307, 41. <https://DOI.org/10.1007/s00606-021-01763-2>
- Zhang B., Z. Yu, Z. Xu, B. Zheng A Phylogenetic and morphological Evolution Study of *Ribes* L. in China Using RAD-Seq. *Plants*. 2023. Vol, 12. 829 p. <https://DOI.org/10.3390/plants12040829>
- Weigend M. Flowering plants. Eudicots. *The Families and Genera of Vascular Plants*. 2007. Vol. 9, P. 168-176.
- Меженський В. М. До питання впорядкування українських назв рослин. Повідомлення 3. Назви видів роду *Ribes* L. *Сортотвчення та сортознавство*. 2014. № 4. С. 9-15.
- Каталог деревних рослин дендрологічного парку «Олександрія» Національної академії наук України / за ред. С. І. Галкіна. Біла Церква: ТОВ «Білоцерківдрук», 2013. 64 с.

---

# ІННОВАЦІЙНІ НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ЕКОЛОГІЧНОЇ ГАЛУЗІ

---

УДК 631:528.8:551.5

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.2-47.32>

## ЗАСТОСУВАННЯ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЕГЕТАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ ГІБРИДІВ СОНЯШНИКА ЗА РІЗНИХ КЛІМАТИЧНИХ УМОВ ЗОНИ СТЕПУ

Пічура В.І.<sup>1</sup>, Домарацький Є.О.<sup>2</sup>, Потравка Л.О.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Херсонський державний аграрно-економічний університет  
вул. Стрітенська, 23, 73006, м. Херсон

<sup>2</sup>Миколаївський національний аграрний університет  
вул. Георгія Гонгадзе, 9, 54000, м. Миколаїв  
[pichuravitalii@gmail.com](mailto:pichuravitalii@gmail.com)

В останні 20 років в зоні Степу фіксується збільшення частоти кліматичних аномалій, зниження продуктивності опадів, збільшення частоти дефляційних процесів та рівня локальних ризиків змиву із полів посівів сільськогосподарських культур, порушення транспіраційних процесів та підвищення випаровуваності вологи у літньо-осінній період, погіршення вологозабезпечення агроценозів. Тому перспективним напрямом аграрної науки є використання даних дистанційного зондування Землі для дослідження стану посівів на основі *normalized difference vegetation index* (NDVI). Зокрема, для прогнозування урожайності необхідно здійснити детальний аналіз сезонних змін значень вегетаційного індексу для верифікації кривих вегетації рослин за різними сценаріями їх вирощування, попередніх польових дослідження та фактичного обліку урожаю окремих сортів та гібридів. Дослідження розвитку та продуктивності різних гібридів соняшника в природно-кліматичних умовах зони Степу України проводили в період 2019–2021 рр. Просторово-часова диференціація вегетації гібридів соняшника визначалася на основі розрахунку NDVI за даними дешифрування космічних знімків Sentinel 2. Встановлено, що зміни кліматичних умов суттєво впливають на інтенсивність фотосинтетичних процесів, продукування хлорофілу та фенологічні фази рослин. Доведено, що у сухий рік (2020 р.) було скорочення тривалості фази цвітіння гібридів соняшника, зафіксовано низький рівень вегетаційного індексу NDVI у фазу утворення кошику (0,22–0,40) та фазу досягання (0,30–0,40). У середньовологий рік (2019 р.) в першій половині вегетації зафіксовано сприятливі умови розвитку рослин та позитивну реакцію на внесення багатофункціональних рістрегулюючих препаратів, а друга половина вегетації характеризувалася зниженням вологозапасу ґрунту та скороченням фази цвітіння гібридів соняшника. У вологий рік (2021 р.) зафіксовано пролонгацію фази цвітіння, високі значення вегетаційного індексу протягом усіх фенологічних фаз розвитку рослин, позитивна реакція на багатофункціональні рістрегулюючі препарати. Доведено ефективність застосування багатофункціональних рістрегулюючих препаратів. Їх внесення сприяло приросту урожайності гібридів соняшника: у сухий рік – 1,5–11,7%, середньовологий – 4,5–11,5%, вологий рік – 4,5–28,2%. Спостерігалось зменшення споживання вологи рослинами у сухий рік – в межах 1,2–10,0%, середньовологий рік – 3,8–8,6%, вологий рік – 3,7–21,9%. Встановлена залежність реакції гібридів соняшника від пластичності гібрида до природно-кліматичних умов зони Степу гібрида та дії багатофункціональних рістрегулюючих препаратів. Отримані результати досліджень являються основою для прогнозування розвитку посівів гібридів соняшника з подальшим визначенням урожайності, що дозволяє встановити можливий рівень ефективності вирощування гібридів сільськогосподарськими виробниками у кліматичних умовах зони Степу. *Ключові слова:* соняшник, ріст регулюючі препарати, вегетація, NDVI, клімат, зона Степу, дистанційне зондування Землі.

**The use of remote sensing to research the vegetative development of the sunflower hybrids under different climatic conditions of the Steppe zone. Pichura V., Domaratskiy Ye., Potravka L.**

In the last 20 years, in the Steppe zone, have been recorded an increase of the climatic anomalies frequency, a decrease of the rainfall productivity, an increase of the deflation processes frequency and the level of local risks of washing away from the fields of agricultural crops, disruption of the transpiration processes and an increase of moisture evaporation in the summer-autumn period, deterioration of the moisture supply of agrocenoses. Therefore, a promising area of agricultural science is the use of remote sensing data to research the condition of crops based on the *normalized difference vegetation index* (NDVI). In particular, in order to forecast the crop yield, it is necessary to carry out a detailed analysis of seasonal changes in the values of the vegetation index to verify the vegetation curves of plants according to different scenarios of their cultivation, preliminary field research and actual accounting of the harvest of individual varieties and hybrids. Research of the development and productivity of various sunflower hybrids in the natural-climatic conditions of the Steppe zone of Ukraine was conducted in the period 2019–2021. Spatio-temporal differentiation of the vegetation of the sunflower hybrids was determined on the basis of the calculation of NDVI based on the data deciphered from the Sentinel 2 space images. It was determined that changes in climatic conditions significantly affect the intensity of photosynthetic processes, chlorophyll

production and phenological phases of plants. It was proved that in a dry year (2020) there was a reduction in the duration of the flowering phase of sunflower hybrids, a low level of the NDVI vegetation index was recorded in the phase of basket formation (0.22–0.40) and the phase of maturation (0.30–0.40). In the moderately wet year (2019), favorable conditions for plant development and a positive reaction to the introduction of multifunctional growth-regulatory preparations were recorded in the first half of the vegetation, while the second half of the vegetation was characterized by a decrease in soil moisture and a shortening of the flowering phase of sunflower hybrids. In the wet year (2021), a prolongation of the flowering phase, high values of the vegetation index during all phenological phases of plant development, and a positive reaction on the multifunctional growth-regulatory preparations were recorded. The effectiveness of the use of multifunctional growth-regulatory preparations has been proven. Their application contributed the increase in the crop yield of sunflower hybrids: in a dry year – 1.5–11.7%, in a moderately wet year – 4.5–11.5%, in a wet year – 4.5–28.2%. A decrease in moisture consumption by plants was observed in a dry year – in the range of 1.2–10.0%, in a moderately wet year – 3.8–8.6%, in a wet year – 3.7–21.9%. The dependence of the reaction of sunflower hybrids on the plasticity of the hybrid to the natural-climatic conditions of the Steppe zone and the action of multifunctional growth-regulatory preparations was determined. The obtained research results are the basis for forecasting the development of sunflower hybrid crops with further determination of crop yield, which allows establishing the possible level of efficiency of hybrids growing by agricultural producers in the climatic conditions of the Steppe zone. *Key words:* sunflower, growth-regulatory preparations, vegetation, NDVI, Steppe zone, remote sensing.

**Постановка проблеми.** Фізико-географічна зона Степу характеризується високим рівнем температурного режиму, дефіцитним, нестійким та нерівномірним розподілом атмосферних опадів, що обумовлює ризикові умови землеробства та недоотримання урожаю сільськогосподарських культур [1–4]. В останні 20 років зафіксовано зростання частоти аномальних кліматичних проявів в 3 рази, що стало причиною зростання середньорічної температури на 2,6°C та збільшення частоти опадів зливового характеру у весняно-літній період [5–7]. Наслідком таких явищ є зниження продуктивності опадів, збільшення частоти дефляційних процесів та рівня локальних ризиків змиву із полів посівів сільськогосподарських культур, порушення транспіраційних процесів та підвищення випаровуваності вологи у літньо-осінній період, погіршення вологозабезпечення агроценозів. За таких екстремальних кліматичних умов волога є лімітуючим фактором продуктивності сільськогосподарських культур [8–9], тому важливим завданням у землеробстві є агротехнологічна консервація передпосівної ґрунтової вологи та ефективне її використання запасів у період вегетації рослин [10–12].

Перспективним напрямом аграрної науки є використання даних дистанційного зондування Землі для дослідження стану посівів на основі *normalized difference vegetation index* (NDVI) [13–14]. Просторово-часове диференціація вегетаційного індексу агроценозів є індикатором стану розвитку рослин у різні фенологічні фази у залежності від природно-кліматичних умов, обсягів і характеру опадів, рівня агротехнологічних заходів. Це дозволяє встановити рівень пластичності сортів та гібридів до кліматичних умов певних фізико-географічних зон та здійснити оцінювання урожайності сільськогосподарських культур. Для прогнозування урожайності необхідно здійснити детальний аналіз сезонних змін значень вегетаційного індексу для верифікації кривих вегетації рослин за різними сценаріями їх вирощування, попередніх польових дослідження та фактичного обліку урожаю окремих сортів та гібридів.

Моделювання стану покриття агроценозів, активності фотосинтетичних процесів, продукування

вмісту хлорофілу в різні фенологічні фази можна здійснювати через встановлення спектрально-відбивних ознаки рослин на супутникових знімках, що є необхідним етапом дослідження пластичності сортів і гібридів до природно-кліматичних умов. В свою чергу, це дозволяє удосконалювати технології вирощування сільськогосподарських культур шляхом корегування агротехнологічних заходів, оптимізувати строки сівби, впроваджувати застосувати рістрегулюючі препарати.

Соняшник є основною олійною культурою в Україні, у структурі сівозмін господарств частка цієї культури складає 25–28%. Насіння сучасних районованих сортів і гібридів містить 50–52% олії, а селекційних до 60%, тому вони потребують високого рівня вологозабезпечення [15–17]. У процесі вегетації рівень водоспоживання у соняшника змінюється: від появи сходів до утворення кошику рослини споживають близько 20% вегетаційної вологи; у період фенологічних фаз утворення кошику та цвітіння споживання сумарної вегетаційної вологи становить 60%. У зонах екстремального землеробства збільшення урожайності сільськогосподарських культур може досягатися з використанням багатофункціональних рістрегулюючих препаратів комбінованої дії. Такі препарати мають стимулюючу і фунгіцидну дію, підвищують стійкість рослин до патогенної мікрофлори.

**Мета дослідження** – встановлення просторово-часових закономірностей вегетаційного розвитку гібридів соняшника за різних кліматичних умов зони Степу на основі даних дистанційного зондування Землі та нормалізованого різницевого індексу рослинності.

**Матеріали і методи досліджень.** Дослідження розвитку та продуктивності різних гібридів соняшнику в природно-кліматичних умовах зони Степу України проводили в період 2019–2021 рр. на дослідному полі Миколаївської державної сільськогосподарської дослідної станції Інституту зрошувального землеробства Національної академії аграрних наук (ДСДС ІЗЗ НААН) України (рис. 1). Досліди проводилися без зрошення. Загальна

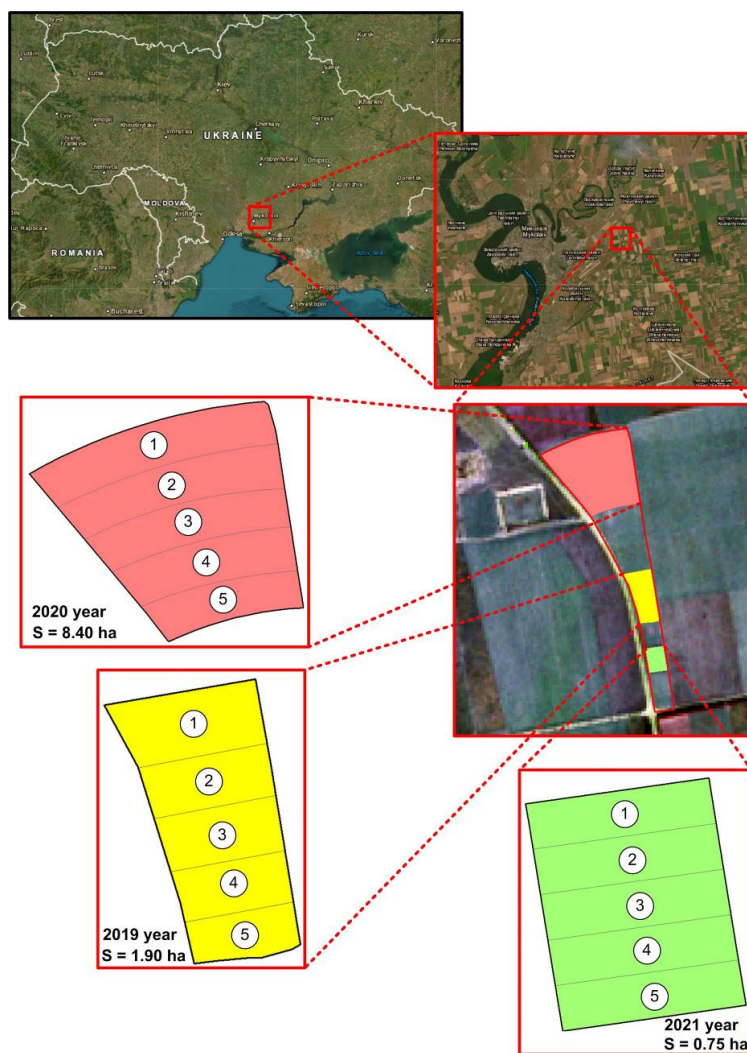


Рис. 1. Місце знаходження дослідних полів і порядок розташування посіві гібриду соняшнику у період 2019–2021 рр.: 1 – Оплот; 2 – Гектор; 3 – ДСЛ403; 4 – П64ГЕ133; 5 – 8Х477КЛ

площа дослідів: 2019 р. – 1,9 га, 2020 р. – 8,4 га, 2021 р. – 0,75 га.

Дослідні ділянки розташовані на малогумусних південних чорноземах із пилувато-важкосуглинковим гранулометричним складом. Вміст гумусу у ґрунтах варіює від 2,7 до 3,1%, глибина гумусового горизонту – 30–40 см. Реакція ґрунтового розчину наближена до нейтральної (рН 6,5–6,8), гідролітична кислотність в межах 2,00–2,52 мг екв. на 100 г ґрунту. Сума увібраних основ складає 32–35 мг екв. на 100 г ґрунту, ступінь насичення основами становить 95,7%. За вмістом рухомих елементів ґрунт дослідної ділянки характеризується середнім вмістом нітратного азоту в шарі ґрунту 0...20 см – 30,0 мг/кг та рухомого фосфору – 100 мг/кг і дуже високим вмістом обмінного калію – 300,0 мг/кг ґрунту.

У дослідженні використано фактичні дані приземної температури повітря ( $T$ , °C), сума атмосферних опадів ( $P$ , мм) за вегетаційний період за роками 2019, 2020, 2021 (метеорологічна станція Миколаїв).

Кліматичні норми для району досліджень розраховані за даними періоду 1970–2020 рр.

*Програма наукових досліджень.* Здійснено закладання двохфакторного польового дослідження, зокрема, фактор А – гібриди соняшнику високоолеїнового типу української та зарубіжної селекції, фактор В – позакореневі обробки рослин багатофункціональними рістрегулюючими препаратами з фунгіцидними властивостями.

Фактор А – українська селекція включала гібриди соняшнику Гектор і Оплот (оригіатор – Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва), зарубіжна – ДСЛ403 та П64ГЕ133 (виробник Corteva, Brevant) та 8Х477КЛ (виробник Dow Seeds).

Фактор В – багатофункціональні рістрегулюючі препарати хімічного походження Архітект™ (ідентифікаційний номер 30652554/SDS\_CPA\_UA/UK) та біологічного походження – Хелатіт Комбі (реєстраційне посвідчення UA № А07743 від 02/09/2019 р.). Ділянки під кожним гібридом було

поділено на три частини: 1 – препарат Архітект™, 2 – препарат Хелафіт Комбі, 3 – контроль, внесення препаратів не проводилося, обробіток рослин здійснювався чистою водою. Препарати було внесено у розрахунку 1 л/га у вигляді позакореневих обробок у період формування 6–8 справжніх листків (ВВСН 16–18) макростадії «формування листків». Слід відмітити, що багатофункціональність препаратів обумовлена рістрегулюючими властивостями та фунгіцидним ефектом. Обробіток рослин проводився ранцевим обприскувачем до 11 години дня у безвітряну погоду. На контрольному варіанті обробіток рослин здійснювався чистою водою.

Повторність дослідів була триразова (2019 р., 2020 р., 2021р.). У 2019 році строк сівби – 24/04, збір урожаю – 26/08, у 2020 році сівба – 29/04, збір урожаю – 22/08, у 2021 році сівба – 10/05, збір урожаю – 12/09. Щороку гібриди соняшнику розташовувалися зі збереженням однакової послідовності (рис. 1) у межах типових ґрунтово-кліматичних умов, попередник – пшениця озима. Посівна площа ділянки першого порядку складала 168 м<sup>2</sup>, облікова ділянка – 120 м<sup>2</sup>.

Сівбу проводили сівалкою точного висіву УПС-8, норма висіву – 48,7 тис. шт./га. Всі обліки і спостереження виконувалися у відповідності до методики наукових досліджень в агрономії [18, 19], методичних рекомендацій Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН [20], існуючих ДСТУ 7011:2009 «Соняшник. Технічні умови» [21] і ДСТУ 6068:2008 «Насіння соняшнику. Сортові та посівні якості. Технічні умови» [22]. Вологість ґрунту визначалася термостатно-ваговим методом під час сівби та збирання культури [23]. Облік урожаю насіння проводили вручну, з подальшим перерахунком врожайності у тони з 1 гектара посівної площі із вологістю насіння 8% і чистоти насіння 100%.

*Методи дешифрування космічних знімків та просторового аналізу.* Просторово-часова диференціація вегетації гібридів соняшнику визначалася на основі розрахунку *normalized difference vegetation index* (NDVI) [13, 14, 24] за даними дешифрування космічних знімків Sentinel 2 із просторовим дозволом на місцевості 10×10 м на піксель.

Значення NDVI розраховано за формулою:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (1)$$

де *NIR* – видимий та ближній інфрачервоний діапазон (Sentinel 2 – Band 8), *Red* – червоний діапазон електромагнітного спектра (Sentinel 2 – Band 4)

Значення NDVI має межі від 0 до 1,0. Відкритий ґрунт поля характеризується значеннями NDVI від 0,05 до 0,15. Значення NDVI на початок сівби за усіма роками дослідження становило 0,15. У період активної вегетації від макростадій «розвиток квіткових зачатків» (ВВСН 51–59) і до кінця макростадії

«цвітіння» (ВВСН 61–69) значення NDVI відображає стан розвитку посівів.

У дослідженнях використовували космічні знімки без наявності хмар над дослідним полем. Частота опрацювання знімків склала 10–16 днів, що надало можливості визначення значення NDVI для основних фенологічних фаз розвитку гібридів соняшнику, а саме: сходів (ВВСН 00-09), першої пари справжніх листків (ВВСН 10-12), утворення кошика (ВВСН 14-59), цвітіння (ВВСН 61-69), досягання (ВВСН 71-99).

Для покращення якості візуалізації картограм просторово-часового розподілу значень NDVI, підвищення достовірності інтерпретації вегетаційного індексу в межах окремих ділянок та характеристик неоднорідності вегетації гібридів соняшнику, було здійснено інтерполювання значень, отриманих на основі дешифрування космічних знімків Sentinel 2. Інтерполювання проведено із застосуванням методу геостатистичного аналізу радіально-базисної функції [25, 26]. Даний детерміністичний метод забезпечує встановлення точної інтепорляційної поверхні зміни значень NDVI із збереженням вхідних растрових даних. Обробка космічних знімків, побудова картограм та просторово-часовий аналіз здійснювався із застосуванням ліцензійного програмного продукту ArcGis 10.6.

**Виклад основного матеріалу.** Урожайність соняшнику переважно залежить від генетичних особливостей гібриду, його фітопотенціалу, ґрунтових та природно-кліматичних умов місцевості, елементів сортової агротехніки [27, 28]. Показником розвитку рослини є зміна активності його фотосинтетичних процесів і продукування вмісту хлорофілу на певній макростадії та фенологічній фазі. Дослідження змін фотосинтетичної активності гібридів соняшнику здійснювалося на основі аналізу значень NDVI, який є поширеним індексом для прогнозування продуктивності агроценозів.

Зональні умови дослідження характеризуються середньо-посушливими природно-кліматичними умовами. Середньостатистичне значення норми (період 1970–2020 рр.) температури повітря за вегетаційний період складає 18,0 °С, стандартне відхилення – 4,9 °С, рівнем варіації – 27,3%, сума середньомісячних температур – 89,9°С. Середньомісячне значення норми атмосферних опадів у вегетаційний період за 50 років (1970–2020 рр.) склало – 43,6 мм, стандартне відхилення – 12,6 мм, рівень варіації – 28,9%.

Добре розвинуті посіви соняшника за вегетаційний період споживають від 500 мм до 600 мм води, а мінімальна потреба у воді задовольняється при 300–400 мм атмосферних опадів. Значення норми суми атмосферних опадів території дослідження склало – 218 мм. Зокрема, у посушливих умовах зони Степу України рівень вологозабезпечення ґрунту є лімітуючим фактором формування продук-

тивності агроценозів. Визначено, що 60–70% сумарного водоспоживання соняшнику у період вегетації забезпечено атмосферними опадами, 30–40% – запасами вологи в ґрунті.

**Сереньовологий рік (2019р.).** У середньовологий рік середнє значення температури повітря за вегетаційний період склало 20,4°C, стандартне відхилення – 5,5°C, рівень варіації – 27,0%, сума середньомісячних температур – 102,0°C. Наближеним до типових умов кліматичних умов (норми) був 2019 рік, середньомісячне значення атмосферних опадів за вегетацію склало – 47,0 мм, стандартне відхилення – 13,3 мм, рівень варіації – 28,3%. За вегетаційний період у 2019 року сума атмосферних опадів склала – 235 мм. Передпосівні запаси вологи у метровому шарі ґрунту дослідних полів склали – 69 мм. Зокрема, друга половина терміну вегетації характеризувалася 23,9% дефіцитом відносно норми атмосферного зволоження та підвищенням температури на 11,5%, що викликало стрес у рослин, що стало причиною зниження урожайності.

У результаті дешифрування серії супутникових знімків у середньовологому році (2019 р.) на початку вегетаційного процесу (5 травня, 12 діб від строку сівби) у посівів гібридів соняшнику фіксовано дружні сходи (рис. 2) із середнім значенням індексу NDVI – 0,26±0,03 та незначним рівнем просторової варіації – 8,1%.

Після позакореневого обробітку гібридів соняшнику спостерігалася неоднорідна реакція рослин

на багатофункціональні рістрегулюючі препарати, що зафіксовано на супутниковому знімку 30 травня (37 діб від строку сівби). Слід відзначити позитивну реакцію і посилення розвитку рослин гібрида Оплот, значення NDVI варіювало в межах 0,54–0,77, гібрида Гектор із значеннями NDVI у межах 0,54–0,80 та гібрида ДСЛ403 із значеннями NDVI – 0,51–0,78. Пригнічена реакція на рістрегулюючі препарати спостерігалася у гібрида П64ГЕ133 зі значенням NDVI – 0,41–0,67 та гібрида 8Х477КЛ зі значенням NDVI 0,43–0,62. Наприкінці фенологічної фази «утворення кошику», 14 червня (52 доби від строку сівби) і початку фази «цвітіння», 19 червня (57 діб від строку сівби), зафіксовано гарний (0,55–0,7) та дуже гарний стан вегетації усіх гібридів соняшника (> 0,7). У це період середнє значення NDVI становило 0,72±0,06, рівень просторової неоднорідності – 8,2%. Однорідність вегетації рослин є являєтьс підтвердженням комплексної дії продуктивних опадів та багатофункціональних рістрегулюючих препаратів.

Друга половина періоду вегетації гібридів соняшнику у 2019 році включає другу половину фази цвітіння (ВВСН 67-69) та макростадії «утворення плодів» (ВВСН 71-79), «дозрівання плодів і насіння» (ВВСН 80-89) і «відмирання» (ВВСН 92-99), які є складовими фенологічної фази досягання (ВВСН 71-99). Слід відмітити, що другий період вегетації рослин характеризувався стресовими умовами, обумовленими дефіцитом вологи та підвищеною температурою повітря. Це стало причиною різкого погіршення

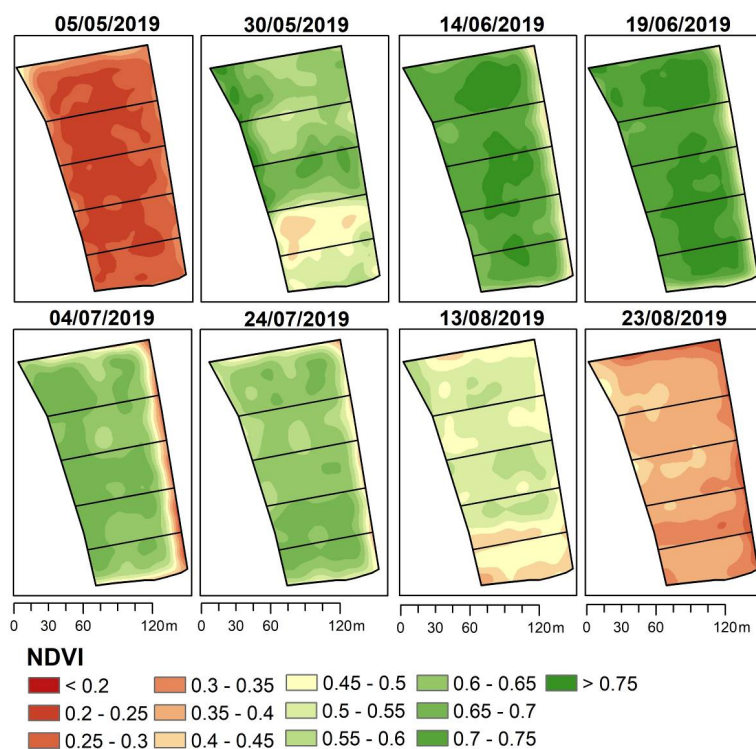


Рис. 2. Сезонний розподіл NDVI гібридів соняшнику на дослідному полі (2019 р.)



фотосинтетичних процесів і скорочення терміну макростадії «утворення плодів». 04 липня (72 доби від строку сівби) зафіксовано середнє значення NDVI –  $0,63 \pm 0,09$  з помітними проявами неоднорідності формування продуктивності гібридів соняшнику, рівень просторової варіації – 14,1% (рис. 5).

У вегетаційний період макростадії «дозрівання плодів і насіння», 24 липня і 13 серпня, зафіксовано швидке дозрівання насіння гібридів П64ГЕ133 та 8Х477КЛ. В макростадії «відмирання» від періоду повної стиглості (вологість насіння близько 10%, ВВСН 92) до збирання урожаю (23 серпня) середнє значення NDVI склало 0,37, 26 серпня – 0,30.

**Сухий рік (2020 р.).** Середнє значення температури повітря за вегетаційний період становило  $19,0^{\circ}\text{C}$ , стандартне відхилення –  $6,3^{\circ}\text{C}$ , рівнем варіації – 33,3%, сума середньомісячних температур –  $94,8^{\circ}\text{C}$ . Зафіксовано, що в останні 10–15 років підвищилася частота аномальних проявів зливого характеру. У липні місяці 2020 року спостерігалось екстремальне підвищення вегетаційного індексу в період цвітіння соняшнику (ВВСН 61-69), але зливовий характер атмосферних опадів не мав позитивної енергії та пролонгованої дії на формування продуктивності гібридів соняшнику. Зокрема, у сухому році (2020 р.) зафіксовано високе значення стандартної похибки (84,1 мм) та рівень варіації сезонних

змін атмосферних опадів (139,7%), які підтверджують їх аномальних прояви у вегетаційний період. За вегетаційний період сума атмосферних опадів склала 295 мм (у липні випало нетипово аномальна кількість 70,5% частки вегетаційного періоду, непродуктивні опади зливого характеру). Передпосівні запаси вологи у метровому шарі ґрунту дослідних полів склали – 41 мм.

У 2020 році зафіксовано екстремально сухі умови для вирощування гібридів соняшнику, що стало причиною скорочення вегетаційного періоду та термінів окремих фенологічних фаз рослин. Зокрема, початок вегетації у 2020 році характеризувався низьким рівнем ґрунтового зволоження та незначною кількістю надходження атмосферних опадів. Це обумовило слабку енергію сходів рослин та критично низький рівень фотосинтетичних процесів на початку фенологічної фази утворення кошику (рис. 3).

Після обробітку посівів у період формування 6–8 справжніх листків зафіксовано сповільнені реакції усіх гібридів на дію багатофункціональних рістрегулюючих препаратів, це обумовлено стресовими кліматичними умовами. За даними дешифрування супутникового знімку за 19 травня (21 доба від строку сівби) розраховано низький рівень значення NDVI –  $0,23 \pm 0,02$  (рис. 6) із незначним рівнем варіації – 8,2%.

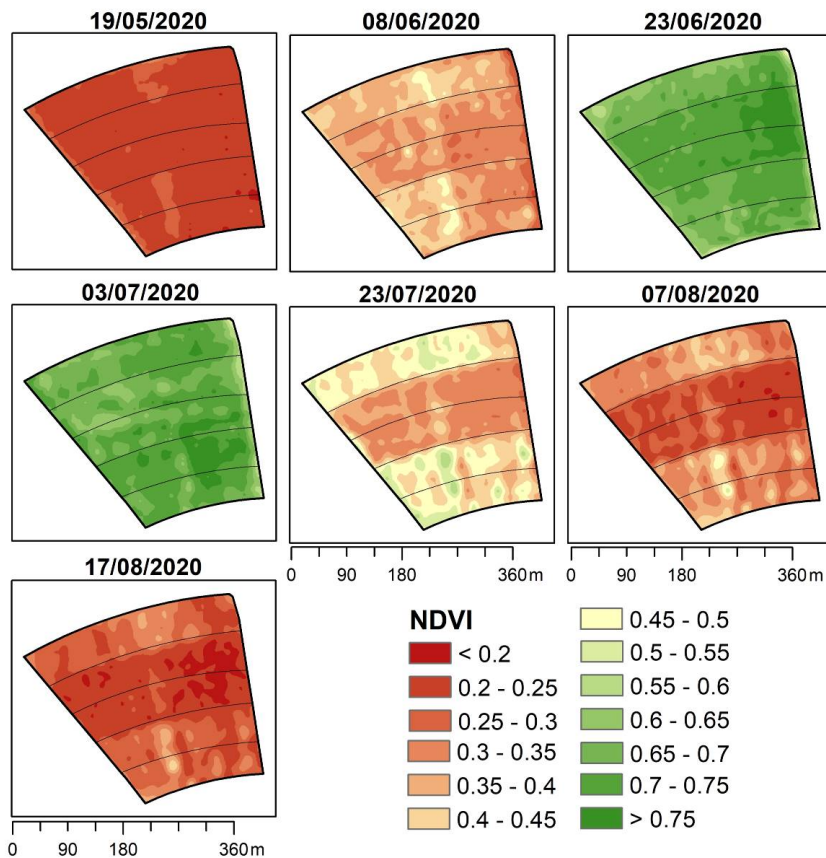


Рис. 3. Сезонний розподіл NDVI гібридів соняшнику на дослідному полі (2020 р.)

Дефіцит опадів спричинив подальше пригнічення розвитку рослини, що підтверджено результатами дешифрування супутникового знімку за 8 червня (41 доба від строку сівби), значення NDVI склало  $0,36 \pm 0,04$  із суттєвим рівнем варіації – 10,3%. Червень 2020 року характеризувався зливовими опадами, що активізувало дію рістрегулюючих препаратів на фотосинтетичні процеси у гібридів соняшнику. На початку фази цвітіння, 23 червня (56 доба від строку сівби), значення NDVI становило  $0,70 \pm 0,03$  із незначним рівнем варіації – 4,9%.

Кінець фази цвітіння, 3 липня (56 доба від строку сівби), також характеризувався високими значеннями NDVI –  $0,69 \pm 0,03$  із рівнем варіації – 9,8%. Нестача атмосферного та ґрунтового вологозабезпечення у другій половині вегетації рослин стала причиною різкого зниження фотосинтетичної активності гібридів соняшнику та з відповідним скороченням терміну макростадії «утворення плодів» (ВВСН 71-79), стимулювала прискорення «дозрівання плодів і насіння» (ВВСН 80-89) і «відмирання» (ВВСН 92-99) рослин, 23 липня (86 доба від строку сівби) значення NDVI склало  $0,41 \pm 0,04$  із рівнем варіації – 9,8%. Станом на 7 серпня (101 доба від строку сівби) значення NDVI становило  $0,30 \pm 0,04$  із високим рівнем варіації – 12,2%.

У макростадію «відмирання» рослин, 17–18 серпня (112 доба від строку сівби), значення NDVI –  $0,25 \pm 0,03$  із високим рівнем просторової варіації – 11,6%. Висока просторова варіація обумовлена значною просторовою неоднорідністю рослин в результаті стресу, викликаного кліматичними умовами. Встановлено, що гібриди соняшника Гектор та ДСЛ403 в сухі періоди дозрівали швидше. Процес неоднорідного дозрівання різних гібридів виокремлюється двома вершинами на гістограмі (рис. 7) та характеризується значним розсіюванням на графіку семіваріограми. Нестача вологи стала причиною погіршення фотосинтетичних процесів, суттєвим зниженням вмісту хлорофілу у рослинах, скороченням термінів важливих фенологічних фаз та періоду вегетації гібридів соняшника в цілому.

**Вологий рік (2021 р).** Середнє значення температури повітря за вегетаційний період становило  $18,4^{\circ}\text{C}$ , стандартне відхилення –  $6,6^{\circ}\text{C}$ , рівнем варіації – 35,8%, сума сердньомісячних температур –  $92,2^{\circ}\text{C}$ . Середньомісячне значенням атмосферних опадів склало – 72,8 мм, стандартним відділенням – 32,4 мм, та підвищеним рівнем варіації – 44,5%. За вегетаційний період сума атмосферних опадів склала – 364 мм. Передпосівні запаси вологи у метровому шарі ґрунту дослідних полів становили – 89 мм.

Початок вегетаційного періоду у 2021 році характеризувався сприятливими кліматичними умовами у передпосівний період, що забезпечило високий рівень вологозабезпечення ґрунту в період сівби. Це обумовило високу енергію та рівномірність сходів,

які зафіксовані 14 травня (5 діб від строку сівби), значення індексу NDVI –  $0,25 \pm 0,03$ , рівень просторової варіації – 6,2% (рис. 4).

Після обробки посівів, 8 червня (21 доба від строку сівби), спостерігалася висока неоднорідність реакції гібридів на багатофункціональні рістрегулюючі препарати, це обумовлено перерозподілом вологи на полі та пластичністю гібридів до кліматичних умов Степу. Значення NDVI становило  $0,42 \pm 0,04$  із високим рівнем просторової варіації – 14,0%. У цей період зафіксовано високу фотосинтетичну здатність гібрида Оплот, значення NDVI сягало рівня 0,56. Порівняно невисокий рівень фотосинтезу мали гібриди ДСЛ403 (NDVI – 0,39) і П64ГЕ133 (NDVI – 0,40).

В період фенологічної фази цвітіння рослини посівів соняшника усіх гібридів характеризувалися високим рівнем фотосинтетичного процесу, 23 червня (45 доба від строку сівби) значення NDVI склало  $0,75 \pm 0,06$  із рівнем просторової варіації – 8,5%. Систематичне надходження продуктивних атмосферних опадів та високе вологозабезпечення ґрунту в першій частині періоду вегетації обумовили пролонгацію фенологічної фази цвітіння, що сприяло підвищенню продуктивності рослин. У 2021 році фаза цвітіння становила 33 дні, що в 2,3 рази триваліше за попередні 2019 і 2020 роки. Максимальне значення NDVI у період цвітіння – 0,89–0,93. Високий рівень NDVI зафіксовано у фенологічну фазу досягання макростадії «утворення плодів» – 0,74 (76 доба від строку сівби) та макростадії «дозрівання плодів і насіння» – 0,54 (95 доба від строку сівби).

Високий рівень вологозабезпечення, використання комплексних багатофункціональних рістрегулюючих препаратів, продовження тривалості фази цвітіння забезпечили сприятливі умови утворення плодів та дозрівання насіння соняшнику. Наприкінці макростадії «дозрівання плодів і насіння», 6 вересня (119 доба від строку сівби), значення NDVI становило 0,39, у макрофазу «відмирання» та збору урожаю, 12 вересня, значення NDVI становило 0,32. Просторова варіація у період вегетації рослин була обумовлена просторовою диференціацією ґрунтової вологи, неоднорідністю реакції гібридів соняшнику на рістрегулюючі препарати та різним рівнем пластичності гібридів до погодних умов зони Степу.

**Аналіз урожайності гібридів соняшнику.** Результатами експериментальних польових досліджень та аналізом зміни стану посівів гібридів соняшника за різних кліматичних умов встановлено ефективність внесення багатофункціональних рістрегулюючих препаратів для покращення умов вегетації рослин з метою підвищення урожайності гібридів соняшника (табл. 1).

Позитивна реакція на внесення рістрегулюючих препаратів та пластичність до екстремальних погодних умов спостерігалася у гібридів соняшника

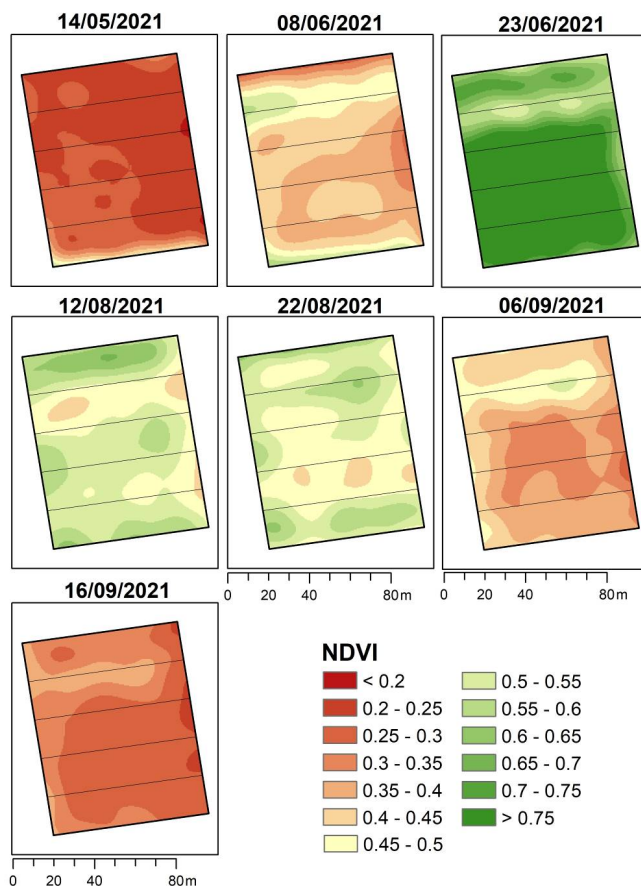


Рис. 4. Сезонний розподіл NDVI гібридів соняшнику на дослідному полі (2021 р.)

Таблиця 1

Урожайність соняшника залежно від позакоренових обробіток рістрегулюючими препаратами за роки проведення досліджень, т/га

Гібриди (фактор А)	Препарат (фактор В)	Роки			Середнє за 3 роки
		2019	2020	2021	
Оплот	Без препаратів (контроль)	2,82	1,98	2,88	2,56
	Архітект™	3,07	2,01	3,12	2,73
	Хелафіт Комбі	3,10	2,04	3,11	2,75
Гектор	Без препаратів (контроль)	1,92	1,54	2,04	1,83
	Архітект™	2,14	1,68	2,23	2,02
	Хелафіт Комбі	2,10	1,72	2,22	2,01
ДСЛ 403	Без препаратів (контроль)	2,44	1,83	2,54	2,27
	Архітект™	2,55	1,88	2,86	2,43
	Хелафіт Комбі	2,60	1,93	2,90	2,48
П64ГЕ133	Без препаратів (контроль)	2,71	1,90	2,92	2,51
	Архітект™	2,88	1,95	3,05	2,63
	Хелафіт Комбі	2,89	2,02	3,10	2,67
8Х477КЛ	Без препаратів (контроль)	2,22	1,68	2,41	2,10
	Архітект™	2,37	1,71	2,96	2,35
	Хелафіт Комбі	2,37	1,74	3,09	2,40
НІР05, т/га	Фактор А	0,09	0,07	0,09	–
	Фактор В	0,12	0,11	0,10	–
	Взаємодія факторів А і В	0,25	0,21	0,24	–

Оплот і П64ГЕ133, що підтверджено збільшенням їх урожайності. Урожайність зазначених гібридів була вищою у сухий рік – на 0,10–0,34 т/га, у середньовологий – на 0,38–0,86 т/га, у вологий – на 0,26–0,87 т/га. Низьку пластичність та зниження урожайності показав гібрид Гектор. Середніми показниками урожайності характеризувалися гібриди ДСЛ 403 та 8Х477КЛ, у сухий рік урожайність їх була нижчою ніж у середньовологий на 18,1–34,5%, а у вологий зросла на 0,3–30,4%.

Доведено, що позакореневе застосування комбінованих рістрегулюючих препаратів позитивно вплинуло на підвищення продуктивності гібридів сояшника. Так, найвищою середньою урожайністю за 2019–2021 роки характеризувався гібрид сояшника Оплот – 2,75 т/га (обробка біологічним рістрегулюючим препаратом Хелафіт Комбі).

В результаті аналізу реакції різних гібридів сояшнику на багатофункціональні рістрегулюючі препарати визначено, що препарат хімічного походження Архітект™ порівняно із контролем, забезпечив прибавку урожайності в сухий рік – від 1,5% до 9,1%, у середньовологий рік – в межах 4,5–11,5%, вологий рік – від 4,5% до 22,8%. Зокрема, використання біологічного препарату Хелафіт Комбі забезпечило прибавку урожаю гібридів сояшнику у сухий рік – в межах 3,0–11,7%, у середньовологий рік – від 6,6% до 9,9%, вологий рік – в межах 6,2% до 28,2%.

У результаті досліджень встановлено перевагу дії біологічного препарату Хелафіт Комбі над хімічним Архітект™ в 1,2 рази. Висока чутливість до препаратів у сухий та середньовологий роки зафіксовано у гібрида Гектор, прибавка урожайності становить 9,1–11,7%. У вологий рік використання препаратів забезпечило високу прибавку урожайності гібрида ДСЛ403, в межах 12,6–14,2%, і гібрида 8Х477КЛ, в межах 22,8–28,2%. Встановлено залежність реакції гібридів сояшника на багатофункціональні рістрегулюючі препарати від пластичності цих гібридів до природно-кліматичних умов зони Степу. Зафіксовано незначну реакцію на застосування рістрегулюючих препаратів у гібридів сояшника Оплот і П64ГЕ133, які мають високий рівень пластичності до природно-кліматичних умов зони Степу. У 80% варіантів кращі значення прибавки урожайності зафіксовано при застосуванні біологічного рістрегулюючого препарату Хелафіт Комбі. Застосування препарату біологічного походження Хелафіт Комбі перевищило рівень продуктивності агроценозів у порівнянні із препаратом хімічного походження Архітект™ на 1,1–5,4%.

**Головні висновки.** Встановлено просторово-часову залежність продуктивності сояшника від пластичності гібридів та внесення рістрегулюючих препаратів на основі аналізу диференціації вегетаційного індексу, який визначено за допомогою дешифрування супутникових знімків Sentinel 2 в період вирощування у 2019, 2020, 2021 роках. Встановлено, що зміни кліматичних умов суттєво впливають на інтенсивність фотосинтетичних процесів, продукування хлорофілу та фенологічні фази рослин. Доведено, що у сухий рік (2020 р.) було скорочення тривалості фази цвітіння гібридів сояшника, зафіксовано низький рівень вегетаційного індексу NDVI у фазу утворення кошику (0,22–0,40) та фазу досягання (0,30–0,40). У середньовологий рік в першій половині вегетації зафіксовано сприятливі умови розвитку рослин та позитивну реакцію на внесення багатофункціональних рістрегулюючих препаратів, а друга половина вегетації характеризувалася зниженням вологозапасу ґрунту та скороченням фази цвітіння гібридів сояшника. У вологий рік зафіксовано пролонгацію фази цвітіння, високі значення вегетаційного індексу протягом усіх фенологічних фаз розвитку рослин, позитивна реакція на багатофункціональні рістрегулюючі препарати. Доведено ефективність застосування багатофункціональних рістрегулюючих препаратів. Їх внесення сприяло прибавці урожайності гібридів сояшника: у сухий рік – 1,5–11,7%, середньовологий – 4,5–11,5%, вологий рік – 4,5–28,2%. Спостерігалось зменшення споживання вологи рослинами у сухий рік – в межах 1,2–10,0%, середньовологий рік – 3,8–8,6%, вологий рік – 3,7–21,9%. Встановлена залежність реакції гібридів сояшника від пластичності гібрида до природно-кліматичних умов зони Степу гібрида та дії багатофункціональних рістрегулюючих препаратів. Визначено підвищену чутливість до рістрегулюючих препаратів у сухий та середньовологий роки гібрида Гектор, прибавка урожайності становила 9,1–11,7%. У вологий рік використання препаратів забезпечило високу прибавку урожайності гібрида ДСЛ403 – 12,6–14,2%, і гібрида 8Х477КЛ – 22,8–28,2%. Незначну реакцію на застосування рістрегулюючих препаратів зафіксовано у гібридів сояшника Оплот і П64ГЕ133, прибавка урожайності – 1,5–9,9%. Отримані результати досліджень являються основою для прогнозування розвитку посівів гібридів сояшника з подальшим визначенням урожайності, що дозволяє встановити можливий рівень ефективності вирощування гібридів сільськогосподарськими виробниками у кліматичних умовах зони Степу.

#### Література

1. Lisetskii F., Pichura V. Steppe Ecosystem Functioning of East European Plain under Age-Long Climatic Change Influence. *Indian Journal of Science and Technology*. 2016. Vol. 9(18). P. 1–9. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i18/93780
2. Dudiak N.V., Potravka L.A., Stroganov A.A. Soil and Climatic Bonitation of Agricultural Lands of the Steppe Zone of Ukraine. *Indian Journal of Ecology*. 2019. Vol. 46 (3). P. 534–540.

3. Loison R, Audebert A., Debaeke Ph., Hoogenboom G., Leroux L., Oumarou P., Gérardaux E. Designing cotton ideotypes for the future: Reducing risk of crop failure for low input rainfed conditions in Northern Cameroon. *European Journal of Agronomy*. 2017. Vol. 90. P. 162–173. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.08.003>
4. Pichura V., Potravka L., Dudiak N., Stroganov A., Dyudyaeva O. Spatial differentiation of regulatory monetary valuation of agricultural land in conditions of widespread irrigation of steppe soils. *Journal of water and land development*. 2021. No. 48 (I–III). P. 182–196; <https://doi.org/10.24425/jwld.2021.136161>
5. Пічуря В.І., Потравка Л.О., Білошкурєнко О.С., Вознюк Н.М. Закономірності багаторічних змін клімату у зоні Степу України. *Науковий збірник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2022. № 3 (99). С. 89–104.
6. Pichura V., Potravka L., Vdovenko N., Biloshkurenko O., Strachuk N., Baysha K. Changes in Climate and Bioclimatic Potential in the Steppe Zone of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. 2022. Vol. 23 (12). P. 189–202. <https://doi.org/10.12911/22998993/154844>
7. Пічуря В.І., Потравка Л.О., Руття О.В. Просторово-часовий аналіз і прогноз кліматичних змін в зоні Степу України. *Екологічні науки*. 2022. № 6 (45). С. 110–118. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.18>
8. Kotova N. and Makhortyk S. Human adaptation to past climate changes in the northern Pontic steppe. *Quaternary International*. 2012. Vol. 220(1–2). P. 88–94.
9. Török P., Neuffer B., Heilmeyer H., Bernhardt K.-G., Wesche K. Climate, landscape history and management drive Eurasian steppe biodiversity. *Flora*. 2020. Vol. 271. 151685. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151685>
10. Domaratskiy E.O., Zhuykov O.G., Ivaniv M.O. Influence of Sowing Periods and Seeding Rates on Yield of Grain Sorghum Hybrids under Regional Climatic Transformations. *Indian Journal of Ecology*. 2018. Vol. 45(4). P. 785–789.
11. Domaratskiy Ye., Kozlova O., Kaplina A. Economic Efficiency of Applying Environmentally Friendly Fertilizers in Production Technologies in the South of Ukraine. *Indian Journal of Ecology*. 2020. Vol. 47 (3). P. 624–629.
12. Domaratskiy Ye., Bazaliy V., Dobrovol'skiy A., Pichura V., Kozlova O. Influence of Eco-Safe Growth-Regulating Substances on the Phytosanitary State of Agroecosystems of Wheat Varieties of Various Types of Development in Non-Irrigated Conditions of the Steppe Zone. *Journal of Ecological Engineering*. 2022. Vol. 23(8). P. 299–308. <https://doi.org/10.12911/22998993/150865>
13. Essaadia A., Abdellah A., Ahmed A., Abdelouahed F., Kamal E. The normalized difference vegetation index (NDVI) of the Zat valley, Marrakech: comparison and dynamics. *Heliyon*. 2022. Vol. 8 (12). e12204. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12204>
14. Ding Y., He X., Zhou Zh., Hu J., Cai H., Wang X., Li L., Xu J., Shi H. Response of vegetation to drought and yield monitoring based on NDVI and SIF. *CATENA*. 2022. Vol. 2019. 106328. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106328>
15. Koutroubas S.D., Antoniadis V., Damalas Ch.A., Fotiadis S. Sunflower growth and yield response to sewage sludge application under contrasting water availability conditions. *Industrial Crops and Products*. 2020. Vol. 154. 112670. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112670>
16. Domaratskiy Ye. Leaf Area Formation and Photosynthetic Activity of Sunflower Plants Depending on Fertilizers and Growth Regulators. *Journal of Ecological Engineering*. 2021. Vol. 22(6). P. 99–105. <https://doi.org/10.12911/22998993/137361>
17. Jan A.U., Hadi F., Ditta A., Suleman M., Ullah M. Zinc-induced anti-oxidative defense and osmotic adjustments to enhance drought stress tolerance in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Environmental and Experimental Botany*. 2022. Vol. 193. 104682. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104682>
18. Ермантраут Е.Р., Бобро М.А., Гопцій Т.І. та ін. *Методика наукових досліджень в агрономії: навчальний посібник*. Харківський національний аграрний університет ім. С.В. Докучаєва. Харків, 2008. 64 с.
19. Дідора В.Г., Смаглій О.Ф., Ермантраут Е.Р. *Методика наукових досліджень в агрономії: навчальний посібник*. Київ: Центр учбової літератури, 2013. 264 с.
20. Кириченко В.В., Сивенко В.І., Макляк К.М., Бурак Ю.І., Коломацька В.П., Лебеденко С.О., Сивенко О.А., Огурцов Ю.С., Андрієнко В.В., Сагаров О.З., Шепілов Б.П., Святченко С.І., Брагін О.М. *Вирощування насіння гібридів соняшнику: Методичні рекомендації*. Харків, 2014. 28 с.
21. ДСТУ 7011:2009. *Соняшник. Технічні умови*. [https://elevator.com.ua/sites/default/files/docs/dstu\\_7011.pdf](https://elevator.com.ua/sites/default/files/docs/dstu_7011.pdf)
22. ДСТУ 6068:2008. *Насіння соняшнику. Сортові та посівні якості*. Технічні умови. [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=74272](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=74272)
23. Папіш І. *Практикум з фізики ґрунту*. Частина 2. Гідрофізика ґрунтів. Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2001. 36 с.
24. Beyer M., Ahmad R., Yang B., Rodríguez-Bocca P. Deep spatial-temporal graph modeling for efficient NDVI forecasting. *Smart Agricultural Technology*. 2023. Vol. 4. 100172. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100172>
25. Kamińska A., Grzywna A. Comparison of deterministic interpolation methods for the estimation of groundwater level. *Journal of Ecological Engineering*. 2014. Vol. 15 (4). P. 55–60. DOI: 10.12911/22998993.1125458
26. Pichura V., Potravka L., Strachuk N., Drobitko A. Space-Time Modeling Steppe Soil Fertility Using Geo-Information Systems and Neuro-Technologies. *Bulgarian journal of agricultural science*. 2023. Vol. 29 (1). <https://www.agrojournal.org/>
27. Flagella Z., Rotunno T., Tarantano E., Caterina R.D. and Caro A.D. Changes in seed yield and oil fatty acid composition of high oleic sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids in relation to the sowing date and the water regime. *European Journal of Agronomy*. 2022. Vol. 17(3). P. 221–230. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00012-6](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00012-6)
28. Ibrahim H.M. Response of Some Sunflower Hybrids to Different Levels. *APCBEE Procedia*. 2012. Vol. 4. P. 175–182. <https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2012.11.030>

## ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БІОЕНЕРГЕТИКИ В АВІАЦІЙНІЙ ГАЛУЗІ

Поштаренко А.В., Решетняк Л.Р.  
Національний авіаційний університет  
пр. Любомира Гузара, 1, 03058, м. Київ  
[strutinskaya@ukr.net](mailto:strutinskaya@ukr.net), [ludres@ukr.net](mailto:ludres@ukr.net)

Оскільки кількість авіаційних перевезень в майбутньому зростатиме виникає проблема пов'язана зі збільшенням використання природних паливних ресурсів та кількості викидів парникових газів. Впровадження біоенергетичних технологій є важливим кроком, який допоможе авіаційній галузі у використанні альтернативних джерел енергії і водночас здобути незалежність від обмеженого нафтового палива.

Насьогодні існує велика кількість природної сировини, з якої можна отримати дешеве та екологічно безпечне біопаливо. Тому в даній роботі основна увага зосереджена на дослідженні різної вихідної сировини для одержання авіаційного біопалива. У розділі про вихідну сировину для біопалива, проаналізовано найбільш використовувану в Україні біомасу, зокрема наведено порівняльну характеристику сировини першого, другого та третього покоління для отримання біодизелю, вимоги до її вирощування, збору, обробки, економічну та екологічну доцільність. Показано вміст олії в рослинній сировині та водоростях. Також наведено шляхи використання відходів переробки ріпакової культури. Наведено критичний аналіз методів отримання біопалива з різної вихідної сировини, рекомендації та майбутні напрямки розвитку альтернативного авіаційного палива.

Представлено порівняння сумарної кількості викидів парникових газів, які утворюються за весь життєвий цикл біопалива з різної рослинної сировини. З'ясовано, що виробництво біопалива з олійних культур другого покоління та з відпрацьованої олії є одним із шляхів скорочення викидів парникових газів. Олія з мікродоростей дає набагато більший вихід авіаційного біопалива та зменшує кількість викидів парникових газів. Встановлено, що вибір сировини залежить від просторових та часових критеріїв, а скорочення викидів парникових газів пов'язані зі збільшенням вартості палива. Ключові висновки містяться в останньому розділі. *Ключові слова:* біопаливо, авіація, реактивне паливо, біоенергетика, парникові гази, енергетична сировина.

### Features of the use of bioenergy in the aviation industry. Poshtarenko A., Reshetnyak L.

Since the number of air transports will increase in the future, the problem arises related to the increase in the use of natural fuel resources and the amount of greenhouse gas emissions. The introduction of bioenergy technologies is an important step that will help the aviation industry to use alternative energy sources and at the same time gain independence from limited oil fuel.

Today, there is a large amount of natural raw materials from which you can get cheap and environmentally safe biofuel. Therefore, in this work, the main attention is focused on the study of various raw materials for the production of aviation biofuel. In the chapter on raw materials for biofuel, the most used biomass in Ukraine is analyzed, in particular, the characteristics of the first, second and third generation raw materials for obtaining biodiesel, the requirements for its cultivation, collection, processing, economic and ecological feasibility are given. The content of oil in vegetable raw materials and algae is shown. Ways of using rapeseed processing waste are also given. A critical analysis of the methods of obtaining biofuel from various raw materials, recommendations and future directions for the development of alternative aviation fuel is presented.

A comparison of the total amount of greenhouse gas emissions generated over the entire life cycle of biofuel from various plant materials is presented. It was found that the production of biofuel from second-generation oil crops and waste oil is one of the ways to reduce greenhouse gas emissions. Microalgae oil provides a much higher yield of aviation biofuel and reduces greenhouse gas emissions. It was established that the choice of raw materials depends on spatial and temporal criteria, and the reduction of greenhouse gas emissions is associated with an increase in the cost of fuel. Key conclusions are contained in the final section. *Key words:* biofuel, aviation, jet fuel, bioenergy, greenhouse gases, energy raw materials.

**Постановка проблеми.** Значні темпи індустріального розвитку більшості країн світу, об'єктивно вимагає від суспільства пошуку дієвих інструментів збереження екологічного балансу навколишнього середовища. В перспективі, одним із таких інструментів, буде заміна первинних джерел енергії альтернативними. Так, за розрахунками вчених, забезпечення нафтовими ресурсами у світовому просторі вистачить не більш як на 20–40 років і вироблені палива із сирової нафти забезпечують приблизно 96% транспортного попиту в світі, а річне видобування нафти за останнє століття зросло в 20 разів [1]. Крім того, це призводить до збільшення парникових газів в атмосфері і зміни клімату в цілому.

**Актуальність.** Насьогодні одним з важливих питань є раціональне використання запасів палива та зменшення впливу парникових газів на навколишнє середовище. Вчені розраховували, що для призупинення зміни клімату і утримання його на безпечному рівні, за якого можна уникнути небезпеки для існування екосистем, у XXI столітті слід використовувати лише чверть обсягу вичерпного палива, яке нині вважається економічно вигідним [2].

**Зв'язок автора доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Розвиток науково-технічного прогресу та гонитва за надлишками первинних енергоносіїв призводить до порушення природного балансу та біосистеми в цілому. Країни

світу та Україна гостро відчувають зміну клімату, природного балансу й їх вплив на здоров'я, економіку та природне середовище. Україні загрожують різні зміни температурних умов, перетворення степів південного регіону на пустелі, затоплення прибережних районів Чорного та Азовського морів, гостра нестача питної води у південних і східних областях [2]. Отже, наслідки життєдіяльності людства призводять до того, що уряди країн змушені до розгляду та впровадження нової екологічної політики щодо викидів парникових газів в атмосферу шляхом розвитку біоенергетики.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** За останні 10 років спостерігається зростаюча тенденція в дослідженнях авіаційного біопалива, що показує необхідність екологізації авіаційної галузі за допомогою різних видів альтернативних реактивних палив. В роботах Реймер і Чжен (2017) були представлені можливі стратегії комерційного використання авіаційного біопалива, такі як одночасне впровадження податків на традиційне паливо та заходи стимулювання використання біопалива. Можливість виробництва біопалива з різних видів сировини, таких як мікроводорості [5], лігноцелюлоза [6], міські та сільськогосподарські відходи [7] та рослинна олія [8]. Кандарамат Харі та ін. (2015) проаналізували шляхи виробництва з використанням сировини другого та третього покоління, які дають розуміння стану та майбутніх напрямків біоенергетики.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Проблеми, з якими стикається авіаційне біопаливо, загалом подібні до проблем біопалива: головна з них полягає в тому, як забезпечити, щоб сировина, яка надходить з біомаси, була безпечною, стійкою, дешевою та достатньо доступною. У зв'язку з тим, що авіаційна галузь разом із секторами опалення, наземного транспорту та електроенергії докладає зусиль, щоб позбутися залежності від викопного палива шляхом переходу на біомасу, її попит на ту саму сировину створює конкуренцію на постачання.

**Новизна.** Наявні наукові роботи обмежені окремими питаннями збору та обробки сировини для виробництва біопалива, і наразі відсутні дослідження щодо викидів парникових газів, які є результатом виробництва та реалізації біопалива. Тому новизною даної роботи є дослідження авіаційного біопалива шляхом аналізу сировини, технології отримання, економічної та екологічної доцільності виробництва.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Збільшення потужності виробництва авіаційного біопалива сприятиме енергетичній безпеці, стабільності цін та створенню робочих місць. Використання різної рослинної сировини для отримання біопалива може призвести до збільшення кількості сільськогосподарських угідь за рахунок використання неорних малопродуктивних земель.

Викладення основного матеріалу. Знайти швидке рішення для скорочення викидів парникових газів в авіаційній галузі є серйозною проблемою. Міжнародна організація цивільної авіації (ІСАО) пропонує чотири етапи для досягнення цієї мети: 1) вдосконалення технології; 2) вдосконалення операцій; 3) економічні заходи; 4) використання біопалива.

На сьогоднішній день технологічні вдосконалення вже почали сприяти скороченню викидів парникових газів. Виробники літаків і двигунів зробили значні технологічні зміни, використовуючи більш легкі та міцні композитні матеріали в конструкції літаків із покращеною аеродинамікою та ефективнішими двигунами. Використовуючи заходи, які пов'язані зі зменшенням ваги вантажних контейнерів, викиди парникових газів зменшилися на 10000 т/рік [4]. Однак, повільні поступові зміни вже розробленої технології двигунів і тривалий термін служби існуючих парків вказують на біопаливо як на набагато швидший і економічно ефективніший варіант зменшення викидів.

Паливо вироблене із сирової нафти, є сумішшю різних вуглеводнів гасу. В якості палива для авіації реактивному паливу надається перевага над бензином, оскільки воно менш летюче та густе, а в порівнянні з дизелем, реактивне паливо легше і менш схильне до утворення парафіну при низьких температурах [3]. Біопаливо повинно мати фізичні та хімічні властивості, подібні до традиційного. Авіаційне біопаливо повинне мати високу холодостійкість при температурах від  $-47$  до  $40$  °C і на висотах понад 30 000 футів, а також мати достатньо енергії для здійснення далеких рейсів [5].

Очевидно, що викиди літака, що працює на біопаливі будуть значно нижчими від загальних викидів вуглецю порівняно з нафтовим паливом.

Біопаливо – альтернативний вид палива, який отримують в результаті переробки тваринної або рослинної сировини, а також органічних промислових відходів і продуктів життєдіяльності. Біопаливо може використовуватись в чистому вигляді або в сумішах з традиційним нафтовим реактивним паливом.

Біомаса, яка на сьогоднішній день використовується для отримання нових видів палив, поділяється на чотири покоління. Рослинні культури, такі як рижій, пальмова олія, ріпак, соя, соняшник, салікома, пшениця, цукрова тростина, цукрові буряки належать до сировини першого покоління. До сировини другого покоління належить ятрофа, рицина, слоняча трава, міскантус, тополя, верба, евкаліпт, а також відходи с/г та лісового господарства, харчові та побутові відходи. Водорості використовують в якості третього покоління сировини. Четверте покоління сировини для біопалива представлено генетично модифікованими організмами та неорганічною сировиною.

У таблиці 1 наведено порівняльну характеристику сировини, яку використовують для отримання біопалива.

Наведені в табл. 1 дані демонструють перевагу мікродоростей як найбільш перспективну альтернативу в порівнянні з іншими сировинними ресурсами. Водорості мають найвищий темп росту, що робить їх життєздатним джерелом біомаси, що здебільшого містить ліпідну олію, яка дає в 10–30 разів вищий вихід біодизельного палива у порівнянні з іншими видами олійних культур при вирощуванні їх на однаковій площі.

Із культур першого покоління отримують цукор, крохмаль, жир та олію. Рослинна олія або тригліцериди (складні ефірів гліцеролу з жирними кислотами) вступають у хімічну взаємодію із спиртом при використанні основних або кислотних каталізаторів, в результаті чого утворюються біодизель та гліцерин. Цукор або крохмаль можна переробляти за новою технологією з використанням гомогенного або гетерогенного. Використання гомогенного каталізатора для отримання біопалива в Україні на теперішній час слід вважати потенційно перспективним, оскільки на території України є достатня

кількість промислових заводів з виробництва таких каталізаторів [10].

Використання гетерогенного каталізатора для отримання біодизеля дає змогу зменшити витрати на установку і закупівлю каталізатора та полегшити процес очищення продуктів реакції. Порівняно з гомогенним каталізатором гетерогенний не розчиняється, а отже не потрапляє в біодизельне паливо та гліцеринову фракцію, що є важливим фактором для забезпечення довгострокової та безпечної експлуатації техніки. Одним з основних недоліків широкого використання цього каталізатора слід вважати відсутність в Україні промислового виробництва гетерогенних каталізаторів, необхідних для виробництва біодизеля.

В Україні основною сировиною для виробництва біодизельного палива служить ріпакова олія. Температура її застигання  $-20 \dots -31,7$  °C, метиловий ефір ріпакової олії застигає при  $-9 \dots -17$  °C, соєвий при  $-1$  °C, соняшниковий при  $-4$  °C, тваринний жир вже при  $9$  °C. Таким чином, експлуатація транспорту з дизелем на чистому біодизельному паливі в холодну пору року на території України неможлива.

На рис. 1 показано вміст олії в рослинній сировині та водоростях.

Таблиця 1

## Порівняльна характеристика сировини для отримання біодизелю

Рослинна сировина	Показники			
	Джерело росту	Збір врожаю	Обсяг врожаю, т/га в рік	Продуктивність біопалива, кг/рік
Перше покоління	– сонячне світло; – CO <sub>2</sub> ; – вода; – добрива.	через 10–11 міс.	ріпак 1,5–4,0 соєя 1,8–2,3 соняшник 1,1–2,7	ріпак – 860 соєя – 560 соняшник – 950
Друге покоління			ятрофа 2,0–2,2 стрижень 9,6–10,1 кукурудзяний жом 3,4–3,9 цикорій 30–40 маніока – 5020,0	цукровий буряк 250–600 кукурудза 250–350 пшениця 150–280 жито 100–210 картопля 160–360 цикорій – 300–400
Третє покоління	– сонячне світло; – CO <sub>2</sub> ; – вода.	маса збільшується вдвічі через 40 год.	80–120	121000
Четверте покоління	– CO <sub>2</sub> ; – вода, – сонячне світло.	–	–	–

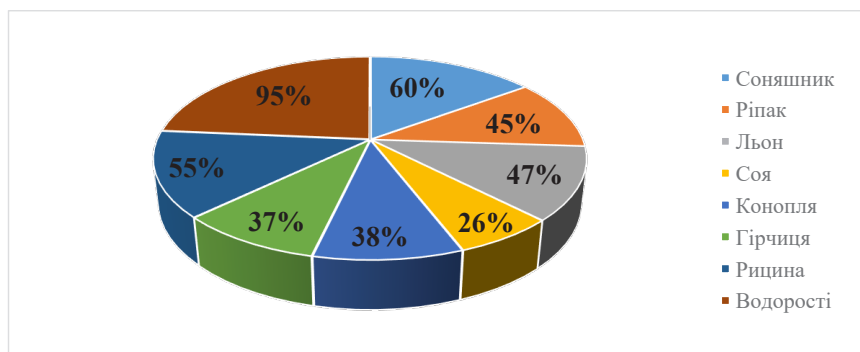


Рис. 1. Олійність сировини



Можливим шляхом вирішення даної проблеми є використання його сумішей з традиційним дизельним паливом або додаванням спеціальних присадок.

На підприємствах з виготовлення ріпакової олії, головною проблемою є утилізація відходів. Щоб виробництво біодизелю стало економічно доцільним потрібно під час переробки ріпакової культури налагодити комплексну переробку сировини та усіх побічних продуктів. Технології використання відходів переробки ріпакової олії наведені в таблиці 2 [10].

Одним із потенційних сировинних джерел другого покоління може бути сорго цукрове, оскільки в його соку стебла міститься 16–20% вуглеводів. Виробництво біопалива з сорго цукрового має економічні перспективи для розвитку цукрової, харчової промисловості та біоенергетичного виробництва України, оскільки природно-кліматичні умови відкривають можливості для сорго цукрового в посушливих південних районах, де вирощування буряку цукрового є економічно недоцільним, що забезпечує розширення географії розміщення підприємств та сприятиме створенню нових робочих місць та розвитку сільських регіонів [11].

Цінною сільськогосподарською культурою є цикорій, коренеплоди якого містять полісахарид інουλін у кількості 18–20%, до 2–3% фруктози, і є перспективним для виробництва паливного біоетанолу. Вихід спирту з одного центнера коренеплодів становить десять літрів. При забезпеченні врожайності коренеплодів на рівні 30–40 т/га, цикорій стає в один ряд з такими високопродуктивними енергетичними культурами як сорго, буряк цукровий, кукурудза. Основними факторами, які стримують розширення вирощування даної культури, є відсутність високопродуктивних сортів стійких до несприятливих чинників навколишнього середовища [12].

Топінамбур – багаторічна трав'яниста рослина, в пагонах якого міститься від 16–18% розчинного полісахариду інуліну, фруктоза, мікроелементи, азотисті речовини, каротин, вітаміни В1 та С, що необхідно для мікробного синтезу біоетанолу.

Маніок – чагарник, коріння якого містить 20–40% крохмалю і незначну кількість білка, має високу врожайність та може використовуватись в якості сировини для отримання паливного біоетанолу.

До деревних енергетичних культур для виробництва біопалива відносять тополь, вербу, евкаліпт. Деякі експериментальні дослідження показали, що верба є реальним джерелом прекурсорів реактивного палива, до яких входять спирти, синтетичний газ [13] і піролізна нафта [14]. На відміну від іншої сировини, енергетичні культури потребують меншої кількості добрив, а тому рекомендується їх вирощувати на неродючих землях, що може покращити біорізноманіття цих територій, призвести до фіторедації забруднених ділянок.

Тверді побутові відходи також все частіше розглядаються як вихідна сировина для отримання біопалива. Дослідження, щодо виробництва біопалива із відходів показують найменшу загальну вартість та мінімальні викиди парникових газів, що в майбутньому гарантуватиме зменшення викидів парникових газів авіаційною галузю. Транспортування та доступність біомаси відходів залишаються основними проблемами при використанні їх як сировини для виробництва біопалива. Збір, транспортування та зберігання великої кількості відходів біомаси, таких як гній тварин і тверді побутові відходи, створюють ризик для здоров'я та безпеки.

Мікроводорості як вихідна сировина третього покоління мають високу продуктивність через вміст жирних кислот, які легко можна перетворити на біопаливо. Серед всієї біологічної сировини найвищу олійність мають водорості (рис. 1). Таким чином, мікроводорості можуть використовуватись для виробництва біопалива у великих масштабах. Але існують проблеми з технологіями вирощування, збору врожаю та видобутку олії, які все ще є неефективними та дорогавартісними [5].

На рис. 2, наведена вихідна сировина, яка найчастіше використовується для отримання авіаційного біопалива. На стадіях вирощування, обробки сировини та при зберіганні, транспортуванні та використанні біопалива утворюються різноманітні викиди, в тому числі гази, що спричиняють парниковий ефект.

Аналізуючи дані наведені на рис. 2, можна зробити висновок, що вирощування ріпаку має найбільші викиди парникових газів, і потреба в енергії для отримання ріпакової олії також є найбільшою.

Таблиця 2

## Використання відходів переробки ріпакової культури

Відходи	Застосування
Солома	– на підстилку тваринам; – для виробництва енергії та будівельних атеріалів; – виробництво гранул та пелет.
Шрот	Сировина для комбікорму
Гліцерин	– спалювання; – виробництва біогазу; – хімічне, фармацевтичне та косметологічне виробництво; – виробництво фосфорних добрив.

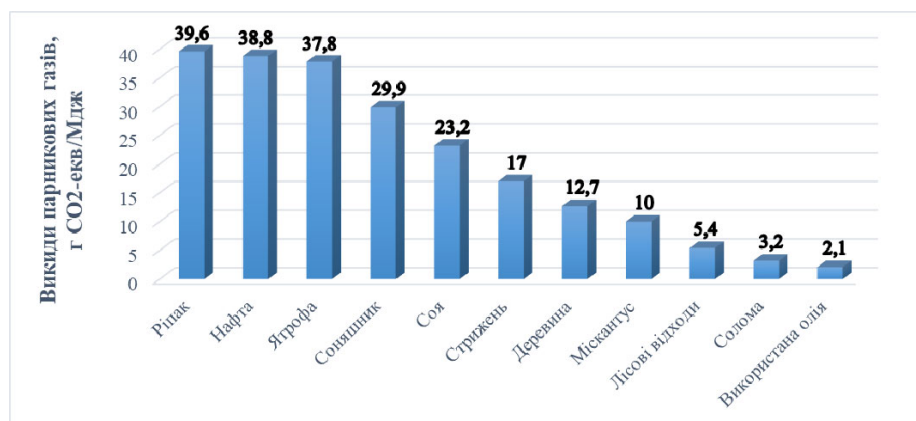


Рис. 2. Викиди парникових газів, які утворилися при виробництві та використанні біопалива

Викиди парникових газів протягом життєвого циклу біопалива з соняшника та сої в півтора рази менші в порівнянні з виробництвом нафтового палива, що підтверджує альтернативність виробництва авіаційного палива із сировини першого покоління.

Використання деревних енергетичних ресурсів та міскантусу зменшує викиди парникових газів у 3 рази в порівнянні з нафтовою сировиною. Але, масштабне вирубування деревини потенційно може призвести до значного збільшення атмосферного вуглецю. Тому рекомендується уникати використання деревних енергетичних культур для виробництва біопалива через непередбачувані екологічні наслідки.

У випадку вирощування ятрофи рівень викидів парникових газів подібний до нафти. Для ятрофи потрібні родючі сільськогосподарські чи лісові угіддя, це в свою чергу унеможливує її вирощування на неродючих землях, що потенційно може призвести до зміни екологічної стійкості родючих земель.

З рис. 2 видно, що відходи біомаси мають найнижчі викиди парникових газів протягом всього життєвого циклу біопалива, а лісові відходи є найбільш екологічно безпечними як на етапі

виробництва сировини, так і на етапі виробництва палива.

За рівнем викидів парникових газів даний аналіз показує, що відпрацьована олія є найбільш екологічно ефективною сировиною для виробництва авіаційного біопалива, але відсутність шляхів збору унеможливує її використання у великих масштабах.

Головні висновки. Встановлено, що негативний вплив на навколишнє середовище рослинних культур, таких як ріпак та ятрофа, обмежує їх застосування для виробництва біопалива, але використання відходів, таких як використана олія, відходи деревини та солома, дають можливість розширити шляхи їх утилізації з отриманням спиртового біопалива.

Великий потенціал використання в якості вихідної сировини для отримання авіаційного біодизелю можуть мати водорості, які завдяки своїй високій врожайності та безпечності для довкілля є економічно вигідними у довгостроковій перспективі.

**Перспективи використання результатів дослідження.** У цій статті наведено комплексний аналіз сировини, методів отримання, рівень викидів парникових газів всього життєвого циклу біопалива, які можуть в майбутньому допомогти розвитку галузі виробництва авіаційного біопалива та стати енергетично незалежними від вичерпних паливних ресурсів.

### Література

1. Гелетуа Г.Г. Українська біоенергетична асоціація. URL: <https://uabio.org/> (дата звернення: 27.02.2023)
2. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України, ІВЕ НАН України, 2020. 163 с.
3. Постачання та використання енергії. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення: 27.02.2023)
4. Yang, J., Xin, Z., He, Q. S., Corcadden K., and Niu H. An overview on performance characteristics of bio-jet fuels. Fuel 237, 2019. 916–936 p. DOI: 10.1016/j.fuel.2018.10.079
5. Reimer, J. J., Zheng X. Economic analysis of an aviation bioenergy supply chain. Renew. Sustain. Energy Rev. 77, 2017. 945–954 p. DOI: 10.1016/j.rser.2016.12.036
6. Swapwa J. K., Anandraj A., and Trois C. Conceptual process design and -simulation of microalgae oil-conversion to aviation fuel. Biofuels Bioprod. Bioref. 12, 2018. 935–948 p. DOI: 10.1002/bbb.1890
7. Cheng, F., and Brewer, C. E. Producing jet fuel from biomass lignin: potential pathways to alkyl-benzenes and cycloalkanes. Renew. Sustain. Energy Rev. 72, 2017. 673–722 p. DOI: 10.1016/j.rser.2017.01.030
8. Jiménez-Díaz, L., Caballero, A., Pérez-Hernández, N., and Segura, A. Microbial alkane production for jet fuel industry: motivation, state of the art and perspectives. Microb. Biotechnol. 10, 2017. 103–124 p. DOI: 10.1111/1751-7915.12423
9. Vásquez, M. C., Silva, E. E., and Castillo, E. F. Hydrotreatment of vegetable oils: a review of the technologies and its developments for jet biofuel production. Biomass Bioenergy 105, 2017. 197–206 p. DOI: 10.1016/j.biombioe.2017.07.008

10. Kandaramath Hari, T., Yaakob, Z., and Binitha, N. N. Aviation biofuel from renewable resources: routes, opportunities and challenges. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 42, 2015. 1234–1244 p. DOI: 10.1016/j.rser.2014.10.095
11. Будько М. О. Використання комплексної переробки ріпаку як один з варіантів зменшення собівартості виробництва біодизелю. Київ: НТУУ „КПІ”, 2013. С. 425–427.
12. Курило В. Л., Кулик. М. І. Енергетичні культури для виробництва біопалива: довідник. Полтава, 2017. 74 с.
13. Гелетуха Г. Г., Железна Т. А., Трибой О. В. Перспективи вирощування та використання енергетичних культур в Україні. Київ, 2014. 33 с.
14. Crawford, J. T., Shan, C. W., Budsberg, E., Morgan, H., Bura, R., and Gustafson, R. Hydrocarbon bio-jet fuel from bioconversion of poplar biomass: techno-economic assessment. *Biotechnol. Biofuels*, 9:141, 2016. DOI: 10.1186/s13068-016-0545-7
15. Giudicianni, P., Pindozzi, S., Grottole, C. M., Stanzone, F., Faugno, S., Fagnano, M., et al. Pyrolysis for exploitation of biomasses selected for soil phytoremediation: characterization of gaseous and solid products. *Waste Manage.* 61, 2017. 288–299 p. DOI: 10.1016/j.wasman.2017.01.031

УДК 549.516.22

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.2-47.34>

## СТРУКТУРА, ВЛАСТИВОСТІ, МЕТОДИ СИНТЕЗУ ЦИНКУ (II) ОКСИДУ – ПЕРСПЕКТИВНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО КАТАЛІЗАТОРА. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Феденко Ю.М.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
пр. Перемоги, 37, 03056, м. Київ  
fedenkoyura@ukr.net

Розглянуто основні властивості алотропної форми цинку (II) оксиду – «вюрциту» – перспективного каталізатора для використання в галузі екологічного каталізу. Згідно з літературними джерелами (як вітчизняними, так і закордонними) цинку (II) оксид переважно отримується у вигляді кристалічної форми правильної гексагональної сингонії, що отримала назву «вюрцит». За допомогою передового аналітичного обладнання та з використанням різноманітних методів досліджень вивчено та охарактеризовано ряд властивостей отриманої «вюрцитної» модифікації цинку (II) оксиду: оптичних, механічних та інших. Розглянуті властивості дають змогу використовувати «вюрцитну» модифікацію цинку (II) оксиду в якості високоєфективного каталізатора, який володіє високою стабільністю та ефективністю при видаленні поліюантів різного походження, а відтак і різної природи, які переважно утворюються на виробництвах, що спеціалізуються на використанні водних розчинів барвників або відходами діяльності яких є стічні води, забруднені барвниками. Дослідження та розуміння основних фізичних властивостей ZnO є важливими з багатьох причин. Наприклад, вони корисні для раціонального проектування функціональних пристроїв та для розвитку їх потенціалу в якості будівельних блоків для майбутніх нанорозмірних пристроїв. Відсутність експериментальних досліджень наноструктур ZnO, в основному, пояснюється деякими проблемами, що виникають при застосуванні методів характеристики нанорозмірного матеріалу, таких як маніпуляція зразком, вирівнювання та захоплення для досягнення бажаних граничних умов, і застосування та вимірювання сили і зміщення з дуже високою роздільною здатністю. Завдяки електричним властивостям ZnO представляє велику привабливість для оптоелектронних та електронних пристроїв. Оптичні властивості наноструктур ZnO пов'язані як із внутрішніми, так і з зовнішніми ефектами. Внутрішні оптичні переходи відбуваються між електронами в зоні провідності та дірками в валентній зоні, включаючи екситонні ефекти внаслідок кулонівської взаємодії. Цинку (II) оксид «вюрцитного» типу отримують за допомогою ряду методів синтезу: кульове розмелювання, гідротермальний метод, золь-гель синтез, які дають змогу варіювати не лише розміром отримуваних частинок, але й передбачати багато їх фізичних властивостей, як, наприклад: механічна міцність, термостійкість і т.п. *Ключові слова:* вюрцит, нанорозмірний матеріал, наноструктура, модуль Юнга, електричний транспорт, випромінювання.

### Structure, properties, methods of synthesis zinc (II) oxide, a promising ecological catalyst. Literature review. Fedenko Yu.

The basic properties of the allotropic form of zinc (II) oxide, wurtzite, a promising catalyst for use in the field of environmental catalysis, are considered. According to the literature (both domestic and foreign), zinc (II) oxide is mainly obtained in the form of a crystal form of regular hexagonal syngonies, called wurtzite. With the help of advanced analytical equipment and using various research methods, a number of properties of the obtained wurtzite modification of zinc (II) oxide have been studied and characterized: optical, mechanical, and other. The properties considered make it possible to use the “wurtzite” modification of zinc (II) oxide as a highly efficient catalyst with high stability and efficiency in the removal of pollutants of different origin and, therefore, different nature, which are mainly formed in industries specializing in the use of aqueous solutions of dyes or whose waste products are wastewater contaminated with dyes. Researching and understanding the basic physical properties of ZnO is important for many reasons. For example, they are useful for the rational design of functional devices and for developing their potential as building blocks for future nanoscale devices. The lack of experimental studies on ZnO nanostructures is mainly due to some of the challenges encountered in applying nanoscale material characterization techniques, such as sample manipulation, alignment and gripping to achieve the desired boundary conditions, and applying and measuring force and displacement with very high resolution. Due to its electrical properties, ZnO is of great appeal for optoelectronic and electronic devices. The optical properties of ZnO nanostructures are related to both internal and external effects. Internal optical transitions occur between electrons in the conduction band and holes in the valence band, including excitonic effects due to Coulomb interaction. Zinc (II) oxide of the «wurtzite» type is obtained by a number of synthesis methods: ball milling, hydrothermal method, sol-gel synthesis, which allow to vary not only the size of the obtained particles, but also to predict many of their physical properties, such as mechanical strength, heat resistance, etc. *Key words:* wurtzite, nanoscale material, nanostructure, Young's modulus, electric transport, radiation.

**Вступ.** При вивченні каталітичних процесів значна увага дослідників приділяється використанню фотокаталізаторів – наноструктурованих напівпровідників для видалення органічних та неорганічних речовин із водних та газових систем у процесах екологічного каталізу, очищення води тощо.

Оксид цинку, як фотокаталізатор, останнім часом привертає до себе значну увагу завдяки високій каталітичній стабільності, економічній ефективності, а також можливості проведення каталітичних процесів за умов навколишнього середовища.

Однією з важливих проблем сьогодення є очищення води від забрудників різної природи, в тому числі від азобарвників, які добре розчинні у воді, а тому важко видаляються з неї. Ці барвники можуть призводити до серйозних екологічних проблем, через їх високу стійкість в умовах навколишнього середовища, а також канцерогенну та мутагенну дію.

Тому розробка фотокаталізатора на основі оксиду цинку є одним із можливих шляхів вирішення проблеми забруднення води барвниками з використанням нового і перспективного методу фотокаталізу.

В сучасній літературі описано чимало методів отримання оксиду цинку, серед яких: гідротермальний синтез, золь-гель метод, метод хімічного осадження тощо. Незважаючи на різноманіття методів отримання наноструктур, існує нагальна потреба у використанні такого методу синтезу, який не тільки гарантує одержання фотокаталізатора із заданими фізико-хімічними властивостями, але й буде дешевим і простим у реалізації.

**Кристалічна структура цинку (II) оксиду.** Цинку (II) оксид (ZnO) – напівпровідник напівпровідникової групи II–VI. Він має кристалічну структуру вюрциту (гексагональна симетрія), цинкових сумішей або кам'яної солі (кубічна симетрія). Однак, кристали ZnO найчастіше стабілізуються в структурі вюрциту у вигляді гексагональної елементарної комірки (просторова група  $R\bar{3}m$ ). Кристали виявляють фазу кам'яної солі лише при високих тисках.

Структуру ZnO типу «вюрцит» можна вважати складеною з двох взаємопроникаючих гексагональних, щільно упакованих (hcp) підґраток катіона (Zn) та аніона (O), зміщених довжиною катіонно-аніонного зв'язку в напрямку  $c$ . Константи ґратки гексагональної елементарної комірки ZnO становлять:  $a = 3,2500 \text{ \AA}$ ,  $c = 5,2060 \text{ \AA}$  при 300 K.

Співвідношення  $c/a$  для ZnO дорівнює 1,60, що наближається до співвідношення 1,633 ідеальної шестикутної щільно упакованої структури. Кожна гексагональна щільна упаковка (hcp) складається з одного типу атома, переміщеного відносно один одного вздовж потрійної осі  $c$  на величину  $u = 3/8 = 0,375$  у дробових координатах (параметр  $u$  визначається як довжина зв'язку, паралельного осі  $c$ , в одиницях  $c$  або відстані найближчого сусіда  $b$ , розділеної  $c$ ).  $\alpha$  і  $\beta$  – кут зв'язку 109,070.

У такій структурі кожен аніон оточений чотирма катіонами на куті тетраедра і навпаки. Зв'язки в цих матеріалах зазвичай є ( $sp^3$ ) ковалентними (тетраедричними), але деякі іонні характеристики також були знайдені в цьому матеріалі. У справжньому кристалі ZnO структура вюрциту відхиляється від ідеального розташування, змінюючи співвідношення  $c/a$  або значення  $u$ . Відхилення від ідеального кристалу вюрциту, ймовірно, зумовлене стійкістю ґратки та іонністю.

Точкові дефекти, такі як антипозиції цинку, вакансії кисню та розширені дефекти, такі як дис-

локації різьблення, також збільшують константу ґратки в гетеро-епітаксійних шарах кристалу ZnO, але незначною мірою.

Існує висока залежність між коефіцієнтом  $c/a$  та параметром  $u$ , оскільки, коли коефіцієнт  $c/a$  зменшується, параметр  $u$  збільшується таким чином, що ці чотири тетраедричні відстані залишаються майже постійними через спотворення тетраедричних кутів внаслідок далеких полярних взаємодій.

**Фізичні властивості цинку (II) оксиду типу «вюрцит».** Дослідження та розуміння основних фізичних властивостей ZnO є важливими з багатьох причин. Наприклад, вони корисні для раціонального проектування функціональних пристроїв та для розвитку їх потенціалу в якості будівельних блоків для майбутніх нанорозмірних пристроїв. Варто зазначити, що в цих значеннях все ще існує певна невизначеність. Наприклад, у кількох звітах згадуються фізичні властивості лише типу ZnO, а отже, рухливість отвору та ефективна маса все ще обговорюються [1, 2]. Крім того, оскільки розмір напівпровідникових матеріалів безперервно зменшується до нанометра або навіть меншого масштабу, деякі їх фізичні властивості зазнають змін, відомих як «ефекти квантових розмірів». Квантове обмеження збільшує ширину забороненої зони нанодоту ZnO, що було підтверджено вимірами фотолюмінесценції [3, 4].

**Механічні властивості цинку (II) оксиду типу «вюрцит».** Безпосереднє вимірювання механічних властивостей окремих наноструктур ZnO є справді складним завданням. Тому експериментальних досліджень механічних властивостей наноструктур ZnO дуже мало. Насправді відсутність експериментальних досліджень наноструктур ZnO, в основному, пояснюється деякими проблемами, що виникають при застосуванні методів характеристики нанорозмірного матеріалу, таких як маніпуляція зразком, вирівнювання та захоплення для досягнення бажаних граничних умов, і застосування та вимірювання сили і зміщення з дуже високою роздільною здатністю [6]. Згідно з даними таблиці 1, ZnO – відносно м'який матеріал, твердістю 5 ГПа при глибині проникнення пластику 300 нм (для орієнтованої на осі  $c$  маси ZnO). Деякі дослідники випробували різні методики для вимірювання модуля Юнга наноструктур ZnO. На основі резонансного збудження, викликаного електричним полем, характеризували модуль вигину нанопоясів ZnO за допомогою трансмісійного електронного мікроскопа (ТЕМ) [7]. У цьому методі було виготовлено спеціальний тримач зразка ТЕМ для подачі коливального електричного поля між нанопоясом ZnO та нерухомим електродом. Це електричне поле приводило в дію вібрацію нанопояса, і резонансні коливання були досягнуті шляхом налаштування частоти руху. Дотримуючись класичної теорії пружності, був розрахований модуль вигину, який виявився рівним 50 ГПа.

Крім того, експерименти на основі атомного силового мікроскопа (АСМ) є популярними методами механічної характеристики наноструктур ZnO. Оскільки жорсткість наконечника АСМ дуже мала, роздільна здатність вимірювання сили дуже висока (нано-ньютони). У цій техніці для згинання нанодроти ZnO використовували дуже м'яку пружину (наприклад, консольну балку). Дослідники використовували цю методику для вимірювання модуля Юнга нанодротів ZnO [8, 9]. Вони повідомили про різні значення модуля Юнга  $29 \pm 8$  та  $97 \pm 18$  ГПа. У масовому масштабі модуль Юнга цинку (II) оксиду в напрямку [0001] становить 140 ГПа [10], що значно перевищує значення модуля, наведене для наноструктур ZnO.

**Електричні властивості цинку (II) оксиду типу «вюрцит».** Завдяки електричним властивостям ZnO представляє велику привабливість для оптоелектронних та електронних пристроїв. Наприклад, пристрій, виготовлений з матеріалу ZnO, має високу напругу пробою, менший рівень шуму і може працювати за більш високих температур із великою робочою потужністю. Фонова концентрація носія ZnO зазвичай становить  $10^{16} \text{ см}^{-3}$ , а ефективна електронна маса ZnO становить  $0,24 m_0$  ( $m_0$  – маса вільних електронів), тоді як ефективна маса дірки –  $0,59 m_0$  [5]. Крім того, дослідження електричного транспорту після конфігурування окремих нанодротів ZnO як польових транзисторів підтверджують, що вирощені нанодроти ZnO демонструють поведінку n-типу [11]. Зазвичай рухливість польових ефектів вирощених нанодротів становить 20–100  $\text{см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$  [12]. Пізніше вчені повідомили про рухливість електрона 1000  $\text{см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$  після покриття нанодротів шаром пасивації поліімиду для зменшення розсіювання та захоплення електронів на поверхні. Нещодавно було виявлено, що після покриття ZnO нанодріт з шаром  $\text{SiO}_2$ , за яким слідує  $\text{Si}_3\text{N}_4$  для пасивації поверхневих станів, рухливість нанодротів ZnO може бути значно збільшена до рівня понад 4000  $\text{см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$  [13]. Ці результати вказують на те, що пристрої на основі наноструктур ZnO мають винятковий потенціал для застосування у високошвидкісній електроніці.

**Оптичні властивості цинку (II) оксиду типу «вюрцит».** Оптичні властивості наноструктур ZnO були широко вивчені через їх перспективний потенціал в оптоелектроніці. Оптичні властивості наноструктур ZnO пов'язані як із внутрішніми, так і з зовнішніми ефектами. Внутрішні оптичні переходи відбуваються між електронами в зоні провідності та дірками в валентній зоні, включаючи екситонні ефекти внаслідок кулонівської взаємодії. Зовнішні властивості пов'язані з добавками або дефектами, які, як правило, створюють дискретні електронні стани в зазорі, і, отже, впливають як на процеси оптичного поглинання, так і на випромінювання. ZnO, як правило, утворюється як напівпровідниковий матеріал n-типу, в якому електрична провідність

обумовлена надлишком цинку, імовірно, інтерстиціально всередині решітки та вакансіями кисню [14]. Зовнішні дефекти, такі як водень, частіше включаються як дрібні донори [15]. Загалом, ZnO – широкий напівпровідниковий смуговий діапазон (3,4 eV), що робить його потенційно корисним для ефективних УФ-лазерних діодів та низьких порогів потужності для накачування при кімнатній температурі. Це також один з перспективних матеріалів для пристроїв з високою температурою та високою потужністю. Високотемпературна операція вимагає широкого діапазону заборонених зон, щоб внутрішня концентрація носія залишалася. Робота з великою потужністю є привабливою для напівпровідників із широкими смугами через більші поля пробою.

Експериментально широко повідомлялося про спектри фотолюмінесценції (ФЛ) наноструктур ZnO. Спектр ФЛ кімнатної температури ZnO, як правило, складається із близької смуги випромінювання ультрафіолету (380 нм) через перехід від смуги до смуги та зелено-жовтої смуги випромінювання, пов'язаної з вакансією кисню [16]. Крім того, також повідомлялося про червону смугу викидів, і це було пов'язано з вакансіями подвійно іонізованого кисню [17]. Повідомлялося, що інтенсивність зелених викидів ZnO збільшується із зменшенням діаметра нанопроволок. Це свідчило про те, що рівень дефекту був вищим у тонших нанопроволок через збільшення відношення поверхні до об'єму. Постійне зменшення діаметра нанопроволоки ZnO призводить до ефекту квантового розміру, який проявляється у синьому зсуві випромінювання крайової смуги в спектрах фотолюмінесценції [18].

Крім того, найважливішою перевагою наноструктур ZnO є висока енергія зв'язку екситону (60 меВ), яка в 2,4 рази перевищує ефективну теплову енергію (25 меВ) при кімнатній температурі, що призводить до ефективного екситонного випромінювання при кімнатній температурі. Це один з ключових параметрів, за яким ZnO проявляє генерацію генерації при кімнатній температурі. Додатковими перевагами нанопроволочних лазерів ZnO є те, що екситонна рекомбінація знижує поріг генерації, а квантове обмеження дає значну щільність станів на краях смуги і підвищує радіаційну ефективність. Більше того, завдяки своїй майже циліндричній геометрії та великому показнику заломлення ( $\sim 2,0$ ), наноструктури ZnO є природним кандидатом для оптичних хвилеводів [19].

**Виготовлення нанорозмірного цинку (II) оксиду.** Існує два основних методи, що використовуються при синтезі та виробництві наноструктур ZnO. Ці прийоми називаються зверху вниз і знизу вгору. Техніка зверху вниз відноситься до технології виготовлення, за допомогою якої об'єкт створюється обережним видаленням шматочків більшого об'єкта, по суті вирізаючи бажаний об'єкт. У цій техніці її починають з сипучого матеріалу, а потім розбива-

ють на менші шматки, використовуючи механічну, хімічну або іншу форму енергії. Підхід зверху вниз часто використовує традиційні методи майстерні або мікровиробництва, де інструменти, що контролюються зовні, використовуються для різання, фрезерування та формування матеріалів у бажану форму та порядок. Ключовою перевагою спадного підходу є те, що деталі формуються за зразком і збираються на місці, тому збірка не потрібна. Підхід знизу вгору, або його іноді називають підходом до самозбирання, використовував хімічні або фізичні сили, що діють на наномасштабі, для збирання основних одиниць у більші структури. На відміну від техніки зверху вниз, техніка знизу починається з невеликих конструкцій і закінчується великими одиницями.

**Кульове розмелювання.** Техніка кульового фрезерування є прикладом технологій зверху вниз, і вона застосовується для отримання нанокомпозитів та встановлення основних параметрів механохімічної реакції та процесу механічного легування. Вона також може бути використана для отримання сплавів, які в кінцевому рахунку є більш корисними, ніж окремі елементи, оскільки композитні сплави більш однорідні, ніж метали, менш їдкі, мають вищі температури плавлення та твердість. Насправді техніка кульового фрезерування є більш екологічно безпечною, ніж сучасний спосіб хімічного синтезу, утворюючи набагато менше хімічних відходів. З іншого боку, наночастинки ZnO, отримані шляхом стирання, мають досить широкий розподіл за розмірами та різноманітну форму або геометрію частинок. Крім того, вони можуть містити значну кількість домішок з розмельного середовища та дефекти, що виникають в результаті подрібнення.

**Синтез із розчинів.** Синтез на основі розчинів (SBC) визначається будь-якою хімічною реакцією, яка вимагає рідини. Як загальний метод синтезу, SBC має життєво важливе значення для виробництва різноманітних матеріалів, які часто важко виготовити за

допомогою інших методів. Як правило, методології, що базуються на рішеннях, мають низьку вартість, а також забезпечують контрольні матеріали з високим виходом та однорідністю. Однак ріст ускладнюється, і під час реакції утворюється багато дефектів. Найважливішими та найпоширенішими методами синтезу ZnO є гідротермальний та золь-гель синтез, обидва вони будуть розглянуті нижче.

**Золь-гель синтез.** Техніка золь-гель є давно встановленим промисловим процесом отримання колоїдних наночастинок з рідкої фази, який отримав подальший розвиток в останні роки для виробництва вдосконалених наноматеріалів та покриттів. Золь-гелеві процеси добре пристосовані для синтезу наночастинок оксиду та композитних нанопорошків. Основними перевагами золь-гелевих методів підготовки матеріалів є низька температура обробки, універсальність та гнучка технологія.

**Гідротермальний синтез.** Гідротермальний процес проводився для отримання кристалічних структур з 1970-х років. Як визначено, гідротермальний синтез є підмножиною сольвотермічного синтезу, який включає воду в підвищених умовах. Основний принцип полягає в тому, що дрібні кристали однорідно зароджуються і виростають із розчину при дії високих температур і тиску. Зазвичай використовується температура від 100 °C до 300 °C, а тиск перевищує 1 атм. Під час процесів зародження та росту вода є одночасно каталізатором і іноді твердотільним фазовим компонентом. В екстремальних умовах посудини для синтезу вода часто стає надкритичною, збільшуючи тим самим силу розчинення, дифузійність і масовий транспорт рідини за рахунок зменшення її в'язкості. Крім того, здатність регулювати тиск посудини забезпечує шлях до адаптації щільності кінцевого продукту. Порівняно з іншими методологіями, гідротермальний синтез є екологічно безпечним, недорогим і дозволяє зменшити вільні енергії для різних рівноваг [20, 21].

### Література

1. Min B. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coating of ZnO nanorods by atomic layer deposition. *Journal of Crystal Growth*. 2003. Vol. 252. № 4. P. 565–569.
2. Grasset F. Surface modification of zinc oxide nanoparticles by aminopropyltriethoxysilane. *Journal of Alloys and Compounds*. 2003. Vol. 360. № 2. P. 298–311.
3. Kim J.H. Preparation of mono-dispersed mixed metal oxide micro hollow spheres by homogeneous precipitation in a micro precipitator. *Powder Technology*. 2005. Vol. 153. № 3. P. 166–175.
4. Wang J.M. Synthesis and characterization of ZnO nanoparticles assembled in one-dimensional order. *Inorganic Chemistry Communications*. 2003. Vol. 6. № 7. P. 877–881.
5. Hu X.L. Sonochemical and microwave-assisted synthesis of linked single-crystalline ZnO rods. *Materials Chemistry and Physics*. 2004. Vol. 88. № 2. P. 421–426.
6. Sato T. Structure and optical spectrum of ZnO nanoparticles produced in RF plasma. *Journal of Crystal Growth*. 2003. Vol. 255. № 3. P. 313–316.
7. Rataboul F. Synthesis and characterization of monodisperse zinc and zinc oxide nanoparticles from the organometallic precursor [Zn(C<sub>6</sub>H<sub>11</sub>)<sub>2</sub>]. *Journal of Organometallic Chemistry*. 2002. Vol. 643. № 1. P. 307–312.
8. Okuyama K. Preparation of nanoparticles via spray route. *Chemical Engineering Science*. 2003. Vol. 58. № 3. P. 537–547.
9. Mondelaers D. Synthesis of ZnO nanopowder via an aqueous acetate–citrate gelation method. *Materials Research Bulletin*. 2002. Vol. 37. № 5. P. 901–914.
10. Hong R.Y. Experimental investigation and particle dynamic simulation for synthesizing titania nanoparticles using diffusion flame. *Chemical Engineering Journal*. 2005. Vol. 108. № 3. P. 203–212.

11. Vamathevan V. Silver metallisation of titania particles: effects on photoactivity for the oxidation of organics. *Chemical Engineering Journal*. 2004. Vol. 298. № 2. P. 127–139.
12. Takagi M. Production of titania nanoparticles by using a new microreactor assembled with same axle dual pipe. *Chemical Engineering Journal*. 2004. Vol. 101. № 3. P. 269–276.
13. Park S.B. Photocatalytic activity of nanometer size ZnO particles prepared by spray pyrolysis. *Journal of Aerosol Science*. 1997. Vol. 28. № 1. P. 473–474.
14. Hamminga G.M. Real-time in situ ATR-FTIR analysis of the liquid phase hydrogenation of gamma-butyrolactone over Cu-ZnO catalysts: A mechanistic study by varying lactone ring size. *Chemical Engineering Science*. 2004. Vol. 59. № 22. P. 5479–5485.
15. Kitano M. Bénard convection ZnO/resin lacquer coating — a new approach to electrostatic dissipative coating. *Powder Technology*. 1997. Vol. 93. № 3. P. 267–273.
16. Wu R. Formation of tetrapod ZnO nanowhiskers and its optical properties. *Materials Research Bulletin*. 2004. Vol. 39. № 4. P. 637–645.
17. Zheng M.J. Fabrication and optical properties of large-scale uniform zinc oxide nanowire arrays by one-step electrochemical deposition technique. *Chemical Physics Letters*. 2002. Vol. 363. № 1. P. 123–128.
18. Xu J.Q. Grain size control and gas sensing properties of ZnO gas sensor. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2000. Vol. 66. № 1. P. 277–279.
19. Lin H.M. Electrode effects on gas sensing properties of nanocrystalline zinc oxide. *Nanostructured Materials*. 1998. Vol. 10. № 3. P. 465–477.
20. Rezaei A. Investigation of the parameters affecting the morphology of zinc oxide (ZnO) nanoparticles synthesized by precipitation method. *Materials Today Chemistry*. 2022. Vol. 26. № 3. P. 278–286.
21. Khan M. Sol-gel synthesis of thorn-like ZnO nanoparticles endorsing mechanical stirring effect and their antimicrobial activities: Potential role as nano-antibiotics. *Scientific Reports*. 2016. № 6. P. 398–414.



УДК 574.4

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.2-47.35>

## ПЕРСПЕКТИВИ ДИСТАНЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАПАСІВ ПІДЗЕМНИХ ВОД СЛОВЕЧАНСЬКО-ОВРУЦЬКОГО КРЯЖУ

Хом'як І.В., Коцюба І.Ю., Козин М.С., Василенко О.М., Гарбар Д.А.  
Житомирський державний університет імені Івана Франка  
вул. Велика Бердичівська, 40, 10005, Житомир  
[ecosystem\\_lab@ukr.net](mailto:ecosystem_lab@ukr.net)

У зв'язку із ксерофітизацію Полісся, викликаною глобальними змінами клімату, важливим є моніторинг запасів підземних вод. Однак, такі дослідження складно проводити традиційними способами дистанційного зондування земної поверхні. Рослинність реагує на наближення водоносних горизонтів до поверхні нелінійно і різнопланово. Отже, методи мультиспектральної зйомки необхідно використовувати більш гнучко. Метою дослідження є встановлення синфітоіндикаційних характеристик оселищ, де підземні води наближаються до земної поверхні. Відповідно до мети було поставлено такі завдання: описати і класифікувати оселища на територіях із наближеними до поверхні підземними водами; встановити синфітоіндикаційні характеристики оселищ із приповерхневими підземними водами; визначити перспективи застосування дистанційного моніторингу стану та розвідки запасів підземних вод. У якості дослідницького полігону нами обрана територія Словечансько-Овруцького кряжу, яка має найбільшу в Україні кількість природних джерел різних типів та дуже високе флористичне і фітоценотичне різноманіття. Матеріалами є стандартні геоботанічні описи зроблені за стандартною методикою під час маршрутно-експедиційних та стаціонарних досліджень в період із 2004 до 2021 року. Оцінку запасів та якості приповерхневих підземних вод неможливо здійснити за допомогою звичайною мультиспектральної зйомки, направленої на одне конкретне угруповання. Потрібно застосовувати елементи штучного інтелекту, які будуть виділяти на знімках певні комбінації угруповань. Наближення підземних вод із нижніх водоносних горизонтів до поверхні ґрунту супроводжується комплексом угруповань, в центрі яких на луках та в похідних лісах знаходяться угруповання *Scirpetum sylvatici* (71%), оточені фітоценозами класу *Alnetea glutinosae*. Застій підповерхневих вод на глибині до 1 метра супроводжується формуванням рослинного угруповання *Juncetum effusi*. У корінних лісах найчастіше наявність приповерхневих водоносних горизонтів супроводжується формуванням лісів класу *Alnetea glutinosae* (45%). Цей показник не є надійним, тому що такі ліси формуються і в умовах перезволоження ґрунту із інших причин. **Ключові слова:** дистанційне зондування, мультиспектральна зйомка, природні джерела.

**Prospects for remote study of groundwater reserves of the Slovechansko-Ovrutskyi ridge. Khomiak I., Kotsiuba I., Kozyn M., Vasylenko O., Harbar D.**

Monitoring of underground water reserves is important in the conditions of xerophytization of forests during global climate changes. However, it is difficult for us to investigate this using the traditional method of remote sensing of the earth's surface. Vegetation reacts nonlinearly and in various ways to the approach of aquifers to the surface. Therefore, the methods of multispectral imaging must be used more flexibly. The purpose of our research is to establish the characteristics of habitats where groundwater approaches the earth's surface. In accordance with the goal, the following tasks were set: to describe and classify habitats in the territories with groundwater close to the surface; establish the characteristics of habitats with near-surface groundwater; to determine the prospects for the application of remote monitoring of the condition and exploration of underground water reserves. We have chosen the territory of the Slovakian-Ovrutsky Range as a research training ground. This territory has the largest number of natural springs of various types in Ukraine and a very high floristic and phytocenotic diversity. Standard geobotanical descriptions are research materials. They were made according to the standard method during route-expedition and stationary research in the period from 2004 to 2021. We cannot estimate the supply and quality of near-surface groundwater using conventional multispectral imaging directed at one specific community. We need to apply elements of artificial intelligence that will highlight certain combinations of groups in the pictures. The approach of underground water from the lower aquifers to the soil surface is accompanied by a complex of communities, in the center of which there are communities of *Scirpetum sylvatici* (71%) in meadows and deciduous forests, which are surrounded by phytocenoses of class of the *Alnetea glutinosae*. Stagnation of subsurface waters at a depth of up to 1 meter is accompanied by the formation of the *Juncetum effusi* plant community. In native forests, the presence of near-surface aquifers is often accompanied by the formation of forest of *Alnetea glutinosae* (45%). This indicator is not reliable, because such forests are also formed in conditions of overwetting of the soil for other reasons. **Key words:** distance sensing, multispectral imaging, natural springs.

**Постановка проблеми.** Загрози глобальних змін клімату ми часто сприймаємо однобоко та викривлено. Адже, цей процес характеризується не лише підвищенням температури, яка веде до танення льодовиків та підтоплення приморських низовин. Це глобальний перерозподіл кліматичних факторів на конкретних ділянках земної поверхні. Наприклад, замість відносно рівномірного випадання опадів в помірному кліматі ми спостерігаємо короткі періоди потужних злив

розділені тривалими засухами із високими температурними показниками. На території Полісся це спричиняє ксерофітизацію. Вона супроводжується не лише деградацією водних екосистем, а й зменшенням запасів підземних вод верхніх горизонтів. Таким чином, глобальні зміни клімату та ксерофітизація призводять до критичного дефіциту питної води. Він проявляється не лише на тих територіях, де вони напряму використовуються населенням, а й через водосховища на річках [1].

**Актуальність дослідження.** Оскільки від 10 до 50% річок живляться із підземних вод, то їхнє збереження є важливим фактором забезпечення міського населення питною водою. Ця проблема загострюється на фоні глобальних змін клімату, коли більшість опадів швидко проходить річковою системою після інтенсивних злив, після чого річки знову міліють. Таким чином, саме підземні води є більш надійним та сталим джерелом живлення річок. Для подолання наслідків впливу глобальної зміни клімату на запаси питної води необхідно здійснювати моніторинг запасів води в верхніх горизонтах ґрунту. Оскільки традиційним методом технічно важко охопити великі території, необхідно отримати технологію дистанційного моніторингу стану підземних вод.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Опублікований матеріал є частиною досліджень, які проводяться в рамках наукового консультування Овруцької міської об'єднаної територіальної громади. Консультування пов'язані із збереженням елементів довкілля на території громади та розробки програм щодо гармонізації її відносин із навколишнім середовищем [2, 3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Більшість сучасних досліджень пов'язані із дистанційним визначенням зволоження поверхневих шарів ґрунту, а не запасів води в водоносних горизонтах [4, 5]. Це обумовлено потребами сільського господарства, які все частіше використовують дані дистанційного зондування Землі. Для цього використовують можливості супутникового комплексу Sentinel-2 (ШСЗ Sentinel-2A та Sentinel-2B), який належить Європейській космічній агенції [6]. Він здійснює мультиспектральну зйомку поверхні Землі від видимого до інфрачервоного короткохвильового спектру. Для визначення вологості верхніх шарів ґрунту використовуються різноманітні індекси. NDWI – це диференційований нормалізований водний індекс, який застосовують із 1996 року. Він використовує співвідношення ближнього інфрачервоного і середнього інфрачервоного діапазонів. MNDWI – це аналогічний попередньому індекс, який опирається на показники відбитого випромінення води в приповерхневому шарі ґрунту та відкритої поверхневої води. Індекс DeGreen використовує відбиття у видимому зеленому спектрі (третій канал у Sentinel-2) та середньому інфрачервоному спектрі (дванадцятий канал у Sentinel-2). Цей індекс найкраще працює для картування малих водойм, боліт та зон підтоплення [7, 8].

Однак, ці поширені методи можуть лише опосередковано визначати наявність підземних вод та оцінити їхні запаси і якість. Використовувати в якості посередника зволоження поверхневого рівня не завжди доцільно та не завжди це приносить бажаний ефект. Тут справа не лише в неповній залежності між водоносними горизонтами і поверхнею ґрунту,

а й у тому, що ця поверхня може бути прикрита рослинністю. В той час, як на сільськогосподарських угіддях відносно одноманітний рослинний покрив, який лінійно реагує на зміну вологості, в природних екосистемах існує велике число варіантів рослинних угруповань. Оскільки, ми розглядаємо підземні води як стабілізатори водного балансу в річках та джерело питної води, то нас найбільше цікавлять території із природною рослинністю. В такому випадку нам потрібно використовувати, як посередник між мультиспектральною зйомкою та підземними водоносними горизонтами, системну реакцію природних екосистем на нього. Для цієї мети найкраще підходить геосинфітоіндикація.

У якості дослідницького полігону нами обрана територія Словечансько-Овруцького кряжу, яка має найбільшу в Україні кількість природних джерел різних типів [9] та дуже високе флористичне і фітоценотичне різноманіття [10, 11].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Метою дослідження є встановлення характеристик оселищ, де підземні води наближаються до земної поверхні. Відповідно до мети було поставлено такі завдання:

- описати і класифікувати оселища в на територіях із наближеними до поверхні підземних вод;
- встановити характеристики оселищ із приповерхневими підземними водами;
- визначити перспективи застосування дистанційного моніторингу стану та розвідки запасів підземних вод.

**Матеріали та методи досліджень.** Матеріалами є стандартні геоботанічні описи зроблені за стандартною методикою під час маршрутно-експедиційних та стаціонарних досліджень в період із 2004 до 2021 року. Нами було застосовано загальноприйняті польові та камеральні методи. Класифікація рослинності здійснювалася згідно із принципами швейцарсько-французької школи Браун-Бланке [12, 13]. Синфітоіндикація проводилася за допомогою програми Simargl із використанням шкали Дідуха-Плюти для абіотичних факторів, Дідуха-Хом'яка для антропогенного фактору та оригінальної шкали показника природної динаміки, розробленої в лабораторії «Теорії екосистем» [14, 15].

**Новизна.** Вперше було проведено критичний аналіз застосування методів дистанційного зондування поверхні землі для визначення характеристики підземних вод в природних екосистемах.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Матеріал дослідження надає нові можливості для моделювання та прогнозування змін взаємопов'язаних компонентів довкілля. Це розширює можливості для системного вивчення динаміки екосистем та побудови об'єднаної екосистемної теорії.

**Викладення основного матеріалу.** Підземні води що знаходяться неподалік від поверхні ґрунту

можна розділити на дві, відмінні за якістю та походженням, категорії. До першої належать так звані «підшкірні» води, які утворюються із атмосферних опадів над наближеними до поверхні водонепроникними горизонтами ґрунту. Вони мають низьку якість, через перенасичення розчиненими мінеральними та органічними рештками, в тому числі й тими, що знижують якість води та становлять загрозу для здоров'я людини і сталості довкілля. Така вода практично не використовується як питна, а через низькі запаси і як технічна. Однак, наявність таких вод має критичний вплив на безпеку будівництва. Інженерні споруди та житлові будинки, розміщені над місцями зосередження «підшкірних» вод, нестабільні та знаходяться під загрозою руйнування, унеможливають існування підземних приміщень чи комунікацій або вимагають додаткових затрат для стабілізації.

До другої категорії належать приповерхневі води, які піднімаються із більш глибоких горизонтів. Вони частково або повністю формуються джерельною водою і відіграють ключову роль в стабілізації живлення річок якісною водою і запобігають їхній евтрофікації. Таку воду в окремих випадках можна вживати як питну без попередньої обробки.

Угруповання в районі джерела можуть знаходитися на різних стадіях автогенної сукцесії [16]. При цьому на різній відстані від джерела можуть зустрічатися екосистеми на різній стадії природної динаміки та антропогенної трансформації. Візьмемо для порівняння два джерела в районі села Полохачів (Овруцька територіальна громада) – одне із них розташоване в молодому лісі, а інше – посеред лук. У першому випадку джерело та струмок, який від нього відходить, знаходяться посеред вологих лук (*Molinio-Arrhenatheretea* R.Tx 1937: *Molinetalia* Koch. 1926: *Calthion palustris* R.Tx 1937: *Scirpetum sylvatici* Ralski 1931). Тут домінує *Scirpus sylvaticus* L. Також присутні *Rubus caesius* L., *Urtica dioica* L., *Mentha arvensis* L. та *Calamagrostis canescens* (Web.) Roth. Спостерігається підріст *Populus tremula* L. Угруповання формує оселище із Резолюції 4 Бернської конвенції – «Мокрі або вологі евтрофні і мезотрофні луки» (E3.4 Moist or wet eutropic and mesotrophic grassland) [16]. Навколо лучної ділянки – неширока смуга молодих вільхових лісів (*Alnetea glutinosae* Br.-Bl. et Tüxen ex Westhoff, Dijk et al. 1946: *Alnetalia glutinosae* R.Tx 1937: *Alnion glutinosae* Malcuit 1929: *Carici elongatae-Alnetum glutinosae* Schwickerath 1933). В деревному ярусі крім *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. зустрічаються *Pinus sylvestris* L. та *Betula pendula* Roth. Трохи далі іде широка смуга відновлення лісів за участі *Pinus sylvestris*. Сформованого трав'яного ярусу, характерного для класу *Vaccinio-Piceetea* Br.-Bl. in Br.-Bl. et al. 1939 чи *Pyrolo-Pinetea* Korneck 1974, не спостерігається. Тут присутні види мезоксерофітних лук, розташованих на схід від джерела. Цими луками є угруповання: *Molinio-Arrhenatheretea: Galietalia veri* Mirk.

et Naum. 1986: *Agrostion vinealis* Sipaylova, Mirk., Shelyag et V.Sl. 1985: *Koelerio-Agrostietum vinealis* (Sipaylova et al. 1985) Shelyag et al. 1987, *Agrostio vinealis-Calamagrostietum epigeioris* (Shelyag et al. 1981) Shelyag, V.Sl. et Sipaylova 1985, *Agrostietum vinealis-tenuis* Shelyag et al. 1985, *Carici praecoci-Alopecuretum pratensis* Mirkin in Denisova et al. 1986, *Poa angustifoliae-Arrhenatheretum elatiori* Shevchyk et V.Sl. in Shevchyk et al., 1996, *Achillea submiefolium-Dactyletum glomeratae* Smetana, Derpoluk, Krasova 1997. Домінантами у всіх цих лучних угрупованнях виступають *Agrostis vinealis* Schreb., *Agrostis capillaris* L. та *Poa angustifolia* L. Територія водозбору, крім вищевказаних оселищ, вкрита типовими сосновими лісами: *Vaccinio-Piceetea: Pinetalia sylvestris* Oberdorfer 1957: *Dicrano-Pinion* (Libbert 1933) Matuszkiewicz 1962: *Cladonio-Pinetum* Juraszek 1927, *Dicrano-Pinetum* Preising et Knapp ex Oberdorfer 1957, *Peucedano-Pinetum* W.Mat (1962) 1973, *Veronico incanae-Pinetum* Bulokhov et Solomeshch 2003, *Molinio-Pinetum* W.Mat et J.Mat 1973.

Друге джерело розташоване ближче до дороги та населеного пункту. Безпосередньо навколо нього та вздовж струмка, який від нього витікає спостерігаються вологі луки (*Molinio-Arrhenatheretea: Molinetalia: Mentho longifoliae-Juncion inflexi* T. Müller et Görs ex de Foucault 2009: *Juncetum effusi* (Pauca 1941). Soó 1947). Тут переважають *Juncus effusus* L., *Lysimachia vulgaris* L., *Poa trivialis* L., *Coronaria flos-cuculi* (L.) A. Br. та *Athyrium filix-femina* (L.) Roth., *Poa pratensis* L. Цей лучний масив тягнеться на захід долиною річки Полохачівки. В 50 метрах від джерела знайдено червонокнижний вид *Dactylorhiza maculata* (L.) Soó. Із півдня до джерела прилягають верболози (*Franguletea* Doing ex Westhoff in Westhoff et Den Held 1969: *Salicetalia auritae* Doing 1962: *Salicion cinereae* Th. Müll et Görs ex Pass 1961: *Salicetum pentandro-cinereae* Pass 1961). Обидва рослинні угруповання присутні в Резолюції 4 Бернської конвенції – «Мокрі або вологі евтрофні і мезотрофні луки» (E3.4 Moist or wet eutropic and mesotrophic grassland) та «Прирічкові чагарники» (F9.1 Riverine scrub). Територія водозбору вкрита лучними, рудеральними та лісовими угрупованнями. Луки на схід від джерела плавно переходять від мезофітних (*Molinio-Arrhenatheretea: Arrhenatheretalia elatioris* Tüxen 1931: *Arrhenatherion elatioris* Luquet 1926: *Festucetum pratensis* Soó 1938, *Poëtum pratensis* Ravarut, Cazac et Turenschi 1956, *Trifolio-Festucetum rubrae* Oberdorfer 1957, *Anthoxantho odorati-Agrostietum tenuis* Sillinger 1933) до мезоксерофітних (*Molinio-Arrhenatheretea: Galietalia veri: Agrostion vinealis: Koelerio-Agrostietum vinealis, Agrostio vinealis-Calamagrostietum epigeioris, Agrostietum vinealis-tenuis, Potentillo argenteae-Poetum angustifoliae, Achillea submiefolium-Dactyletum glomeratae*). Лісові угруповання представлені типовими сосновими лісами: *Vaccinio-Piceetea:*

*Pinetalia sylvestris: Dicrano-Pinion: Dicrano-Pinetum, Molinio-Pinetum*. Рудеральні угруповання зустрічаються в південній частині території водозбору. *Artemisietea vulgaris* Lohmeyer et al. ex von Rochow 1951: *Agropyretalia intermedio-repentis* Th.Müll et Görs 1969: *Convolvulo-Agropyron repentis* Görs 1966: *Agropyretum repentis* Felföldy 1942, *Onopordetalia acanthii* Br.-Bl. et Tx. ex Klika et Hadač 1944: *Arction lappae* R.Tx 1937: *Echio-Verbascetum* Sissingh 1950; *Dauco-Melilotenion* Görs ex Rostański et Gutte 1971: *Berteroëtum incanae* Sissingh et Tideman ex Sissingh 1950, *Artemisio-Tanacetetum vulgaris* Br.-Bl 1931, *Dauco-Picridetum hieracioidis* Görs 1966, *Onopordion acanthii* Br.-Bl et al. 1926: *Potentilo-Artemisietum absintii* Faliński 1965, *Tanaceto-Artemisietum vulgaris* Br.-Bl (1931) 1949. Там, де відбувається активний рух води, в тому числі підйом на денну поверхню вод із нижніх горизонтів, частіше за все ми спостерігаємо комплекс, в центрі якого стоїть угруповання вологих лук *Scirpetum sylvatici*. Це відбувається в 45% обстежених нами джерел. Якщо відокремити від них ті, що розташовані в зрілих лісах, то показник зростає до 71%. Там, де відбувається застій води на глибині не більше 1 метра частіше за все зустрічається *Juncetum effusi*. Активні джерела із угрупованнями *Juncetum effusi* зустрічаються лише в 9%. Це спостерігається в так званих «петрівських криницях». Такі джерела є активними до середини літа, а потім їхній дебіт знижується практично до нуля. Отже, вони живляться із запасів талих вод та весняних опадів. Їхні водні запаси розташовані настільки близько до поверхні, що не здатні поповнитися із літніх опадів через нагрівання та інтенсивне випаровування. Ще однією ознакою, яка супроводжує формування цього угруповання є наявність підвищеного антропогенного впливу. Такі угруповання зустрічаються на дорогах і пасовищах, за наявності водонепроникного горизонту на глибині не більше 1 метра. Можливо, додатковим фактором для його форму-

вання є часткова залежність від ущільнення ґрунту копитами тварин, рекреаційним навантаженням чи транспортом. На пізніших стадіях автогенної сукцесії над обома типами запасів підземних вод формуються вільхові ліси класу *Alnetea glutinosae* 45% або, на пізніших стадіях, класу *Vaccinio-Piceetea* (27%). На досить порушених екотопах зустрічаються угруповання похідних лісів класу *Robinietea* (36%).

**Головні висновки.** Оцінку запасів та якості приповерхневих підземних вод неможливо здійснити за допомогою звичайною мультиспектральної зйомки, направленої на одне конкретне угруповання. Потрібно застосовувати елементи штучного інтелекту, які будуть виділяти на знімках певні комбінації угруповань.

Наближення підземних вод із нижніх водоносних горизонтів до поверхні ґрунту супроводжується виникненням комплексу угруповань, в центрі яких на луках та в похідних лісах знаходяться угруповання *Scirpetum sylvatici* (71%), оточені фітоценозами класу *Alnetea glutinosae*. Застій приповерхневих вод на глибині до 1 метра супроводжується формуванням рослинного угруповання *Juncetum effusi*.

У корінних лісах найчастіше наявність приповерхневих водоносних горизонтів супроводжується формуванням лісів класу *Alnetea glutinosae* (45%). Проте, Цей показник не є надійним, тому що такі ліси формуються і в умовах перезволоження ґрунту із інших причин.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Результати дослідження можуть бути використані для розробки більш досконалих методів пошуку природних джерел якісної питної води із використанням дистанційного зондування земної поверхні. Також, це зробить більш ефективним попереднє проектування житлових та індустріальних об'єктів в місцях із потужними підповерхневими водами.

### Література

1. Хом'як І.В., Козин М.С., Коцюба І.Ю., Василенко О.М., Власенко Р.П. Обґрунтування необхідності охорони витоків малих річок на прикладі Словечансько-Овруцького кряжу. *Екологічні науки*. 2022. № 1 (40). С. 28–32.
2. Козин М.С., Хом'як І.В. Синтаксономічна та екозоологічна характеристика природного джерела «Кам'яний брід». *Сталій розвиток країни в рамках Європейської інтеграції*: Тези Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених. Житомир : ЖДТУ, 2021. С. 104
3. Андрійчук Т.В., Хом'як І.В., Демчук Н.С., Власенко Р.П., Костюк В.С. Еколого-просвітницький маршрут «Священні джерела Словечансько-Овруцького кряжу». *Географія та туризм*. 2021. Т. 64. С. 53–60.
4. Bahrawi J. A., Elhag M. Consideration of seasonal variations on water radiometric indices for the estimation of soil moisture content in arid environment in Saudi Arabia. *Applied ecology and environmental research*. 2019. V.17(1). pp. 285–303.
5. Joao Serrano, Shakib Shahidian, Jose Marques da Silva. Evaluation of Normalized Difference Water Index as a Tool for Monitoring Pasture Seasonal and Inter-Annual Variability in a Medi-terranean Agro-Silvo-Pastoral System. *Water*. 2019. V. 11. pp. 62–82.
6. Yun Du, Yihang Zhang, Feng Ling, Qunming Wang, Wenbo Li, Xiaodong Li. Water Bodies Mapping from Sentinel-2 Imagery with Modified Normalized Difference Water Index at 10-m Spatial Resolution Produced by Sharpening the SWIR Band. *Remote Sensing*. 2016. V.8. pp. 354–373.
7. Gao B.C. NDWI – a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*. 1996. V.58. pp.257–266.
8. Xu H. Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 2006. Vol. 27. No. 14. pp. 3025–3033.

9. Тутковский П.А. Словечансько-Овруцький кряж і узбережжя ріки Словечни. Геологічний та геоморфологічний опис. Київ: Видавництво УАН, 1923. 59 с.
10. Смык Г.К. Овручско-Словечанский кряж. *Природа*. 1964. № 12. С. 63–66.
11. Harbar Oleksandr, Khomiak Ivan, Kotsiuba Iryna, Demchuk Nataliia and Onyshchuk Iryna. Anthropogenic and natural dynamics of landscape ecosystems of the Slovechansko-Ovruchsky ridge (Ukraine). *Socijalna ekologija*. 2021. № 3. P. 347–367.
12. Дубина, Д. В., Дзюба, Т. П., Ємельянова, С. М. та ін. Продромус рослинності України. Київ: Наукова думка, 2019. 784 с.
13. Westhoff V., Maarel E. van der. The Braun-Blanquet approach. *Handbook of Vegetation Science* / Ed. By R.H. Whittaker. The Hague, 1973. P. 619–726.
14. Дідух Я.П., Плюта П.Г. Фітоіндикація екологічних факторів Київ: Наукова думка, 1994. 280 с.
15. Хом'як І.В., Демчук Н.С., Василенко О.М. Фітоіндикація антропогенної трансформації екосистем на прикладі Українського Полісся. *Екологічні науки*. 2018. Вип. 3(22). С. 113–118.
16. Khomiak Ivan, Harbar Oleksandr, Demchuk Nataliia, Kotsiuba Iryna, and Onyshchuk Iryna. Above-ground phytomas dynamics in autogenic succession of an ecosystem. *Forestry ideas*. 2019. № 1. P. 136–146.
17. Davies C. E., Moss D., Hill M. O. EUNIS Habitat Classification Revised. Report to the European Environment Agency. European Topic Centre on Nature Protection and Biodiversity. Paris, 2004. 310 p.

---

# ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ

---

УДК 628.4.043:628.46/.47(477.42)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.2-47.36>

## АНАЛІЗ СТРАТЕГІЙ ПОВОДЖЕННЯ З ТВЕРДИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ В УМОВАХ КОРОСТИШІВСЬКОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ

Герасимчук Л.О.<sup>1</sup>, Валерко Р.А.<sup>2</sup>, Долінська Н.Ф.<sup>1,3</sup>, Вітер О.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Поліський національний університет  
бульвар Старий, 7, 10008, м. Житомир

<sup>2</sup>Державний університет «Житомирська політехніка»  
вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир

<sup>3</sup>Коростишівська міська рада  
вул. Володимирська, 1, 12501, м. Коростишів

[gerasim4uk@ukr.net](mailto:gerasim4uk@ukr.net), [valerko\\_ruslana@ukr.net](mailto:valerko_ruslana@ukr.net), [ndolinska4@gmail.com](mailto:ndolinska4@gmail.com), [Sashaviter3009@ukr.net](mailto:Sashaviter3009@ukr.net)

Наразі в Україні спостерігається щорічне підвищення кількості твердих побутових відходів. Крім того, обсяги відходів, що виробляються в Україні, є найбільшими серед європейських країн, а тому розробка дієвих систем управління відходами на місцевому рівні допоможе досягти сталого розвитку території. Дослідження проходили на території Коростишівської громади, до складу якої входить 1 місто і 28 сільських населених пунктів. Об'єктом дослідження був морфологічний склад твердих побутових відходів громади, а предметом – можливі моделі поводження із ТПВ.

Установлено, що у складі твердих побутових відходів громади 30% займають відходи, що містять цінну вторинну сировину, а саме: ПЕТ-пляшки майже 12%, макулатура і папір – 9%, пластик – 4,5% та скло – близько 4%. При розробці положень схеми санітарного очищення населених пунктів території Коростишівської громади було розглянуто 3 варіанти: впровадження роздільного збирання вторинної сировини; будівництво сміттєперевантажувальної станції; спорудження сміттєсортувальної станції. Проведений аналіз можливих варіантів показав, що найбільш екологічно та економічно прийнятною стратегією управління відходами є роздільне збирання відходів із подальшою реалізацією вторинної сировини. З метою успішної реалізації даної стратегії необхідним є здійснення просвітницької роботи серед населення громади щодо необхідності роздільного збирання відходів; запровадження сортування побутових відходів на декілька фракцій: пластик, папір, скло, органіка та інші відходи із встановленням спеціальних контейнерів, також створення мережі пунктів прийому небезпечних відходів від населення.

Отримані результати досліджень можуть бути використані органами самоврядування громад для покращення системи управління твердими побутовими відходами та проведення просвітницької діяльності серед місцевого населення. *Ключові слова:* тверді побутові відходи, роздільне збирання відходів, вторинна сировина, сміттєперевантажувальна станція, сміттєсортувальна станція.

**Analysis of solid domestic waste management strategies in the conditions of Korostyshiv territorial community. Herasimchuk L., Valerko R., Dolinska N., Viter O.**

Currently, there is an annual increase in the amount of solid household waste in Ukraine. In addition, the volume of waste produced in Ukraine is the largest among European countries, and therefore the development of effective waste management systems at the local level will help achieve sustainable development of the territory. The research took place on the territory of the Korostyshiv community, which includes 1 city and 28 rural settlements. The object of the study was the morphological composition of the community's solid household waste, and the subject was possible models of solid waste management.

It was established that 30% of the community's solid waste consists of waste containing valuable secondary raw materials, namely: PET bottles – almost 12%, waste paper and paper – 9%, plastic – 4.5% and glass – about 4%. When developing the provisions of the scheme for sanitary cleaning of settlements in the territory of the Korostyshiv community, 3 options were considered: implementation of separate collection of secondary raw materials; construction of a garbage transfer station; construction of a waste sorting station. The analysis of possible options showed that the most ecologically and economically acceptable waste management strategy is the separate collection of waste with the subsequent sale of secondary raw materials. In order to successfully implement this strategy, it is necessary to carry out educational work among the population of the community regarding the need for separate collection of waste; introducing the sorting of household waste into several fractions: plastic, paper, glass, organics and other waste with the installation of special containers, as well as the creation of a network of points for receiving hazardous waste from the population.

The obtained research results can be used by the self-governing bodies of the communities to improve the solid waste management system and conduct educational activities among the local population. *Key words:* solid household waste, separate collection of waste, secondary raw materials, waste transfer station, waste sorting station.

**Постановка проблеми.** Сучасна ситуація у сфері поводження з твердими побутовими відходами (ТПВ) в Україні характеризується щорічним збільшенням їх утворення. Основною формою поводження з ТПВ

є вивезення відходів із населених пунктів та їх захоронення. Як наслідок, у 2018 році понад 97% зібраних твердих побутових відходів було захоронено на понад 6 тисячах сміттєзвалищ і полігонів, більшість із яких не відповідали стандартам екологічної безпеки. Такий підхід призводить до швидкої деградації навколишнього середовища, зниження якості життя населення, втрати матеріальних та енергетичних ресурсів [1].

За даними World Bank Group [2] середня кількість відходів на душу населення становить 0,74 кг на добу, а до 2050 року кількість ТПВ зросте до 3,4 млрд. т. Обсяги відходів, що виробляються в Україні, є найбільшими серед європейських країн і складають у середньому 300–400 кг на рік або 0,82–1,1 кг на добу [3].

**Актуальність дослідження.** Підписання Угоди про Асоціацію України з ЄС зобов'язало гармонізувати вітчизняне законодавство у галузі управління відходами і ресурсами із законодавством Європейського Союзу, пріоритетною метою якої є перетворення відходів на ресурси і зниження обсягів їх утворення. Імплементация європейських стандартів передбачає перехід України на нову концептуальну основу у сфері поводження з відходами, що дозволить вирішити проблеми енерго- та ресурсозалежності держави та знизити рівень забруднення довкілля.

Створення дієвих систем управління відходами на місцевому рівні допоможе досягти сталого розвитку території, який включає екологічну стабільність, економічну та соціальну вигоду.

**Зв'язок авторського доробку із важливими та практичними завданнями.** Дослідження є частиною науково-дослідної роботи «Еколого-соціальна оцінка стану сільських селітебних територій у контексті сталого розвитку» (№ 0120U104233) та може бути використано Управлінням екології та природних ресурсів Житомирської обласної військової адміністрації при розробці регіонального плану управління відходами.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблеми твердих побутових відходів урбанізованих територій на регіональному рівні описано у працях багатьох дослідників, у різних її аспектах, зокрема у сфері екологічного менеджменту поводження з побутовими відходами [4], державного контролю у сфері поводження з відходами [5], правового регулювання та управління процесом поводження з ТПВ [6], утилізації ТПВ [7], морфологічного складу ТПВ [8], іноземного досвіду у сфері управління ТПВ [9, 10] тощо.

Таким чином, проблема управління твердими побутовими відходами урбанізованих територій розглядається у різних аспектах і потребує постійного дослідження і доопрацювання.

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

**стаття та новизна.** Наведені дослідження щодо управління у сфері поводження із твердими побутовими відходами проводяться, зазвичай, у межах обласних центрів, а моделі поводження із відходами на територіях об'єднаних громад, описані не достатньо, що й зумовлює актуальність даного дослідження.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Дослідження проводились на території Коростишівської територіальної громади, яка була утворена 05.08.2016 року. До складу громади входять 1 місто (Коростишів) та 28 сільських населених пунктів із загальною чисельністю населення у 29737 осіб. Площа громади складає 426,7 км<sup>2</sup>, щільність населення становить 69,7 чол./км<sup>2</sup>.

**Викладення основного матеріалу.** Відповідно до Закону України «Про відходи» побутові відходи – це відходи, що утворюються в процесі життя і діяльності людини в житлових та нежитлових будинках (тверді, великогабаритні, ремонтні, рідкі, крім відходів, пов'язаних з виробничою діяльністю підприємств) і не використовуються за місцем їх накопичення [11]. На відміну від промислових, характеризуються розосередженістю, багатокомпонентністю та значним впливом на глобальні процеси у довкіллі, а, тому потребують найбільшої уваги [4].

Доведено, що накопичення побутових відходів значно залежить від рівня життя населення, ступеня благоустрою житлових будинків, пори року, погодних умов тощо. Зокрема, у дослідженні [8] наведено особливості морфологічного складу ТПВ в умовах м. Житомира і доведено, що у весняно-літній період збільшується кількість пластикової тари, кількість кольорових металів у вигляді алюмінієвих банок з-під напоїв, а також змінюється склад харчових відходів у зв'язку із зміною якості й асортименту продуктів харчування.

У складі побутових відходів Коростишівської громади найбільшу частину займають органічні рештки – 41%, дрібні фракції – 11,7, пластик – 8,4 та скло – 7,5% (рис. 1).

У складі побутових відходів наявна значна кількість відходів, які придатні до вторинного використання – близько 30%.

До ресурсоцінних компонентів ТПВ відносять ті, що можуть бути використані у промисловості як вторинна сировина або з яких можна безпосередньо виготовити продукти, що знайдуть своє застосування: папір, картон, скло, полімери, чорні та кольорові метали, а також харчові та інші органічні відходи, що легко загнивають. ПЕТ-пляшки як цінний компонент вторинної сировини становлять майже 12%, макулатура і папір – 9%, пластик – 4,5% та скло – близько 4%. Також серед цінних компонентів відходів громади наявні метал та тетрапак упаковка (рис. 2).

Відповідно до Директиви 2008/98/ЄС «Про відходи» [12] найбільш прийнятними способами пово-

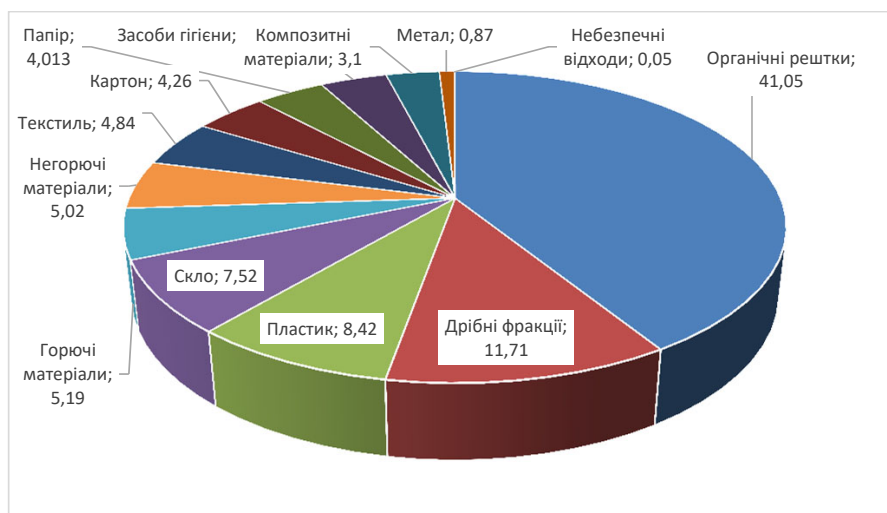


Рис. 1. Морфологічний склад побутових відходів населених пунктів Коростишівської громади, %

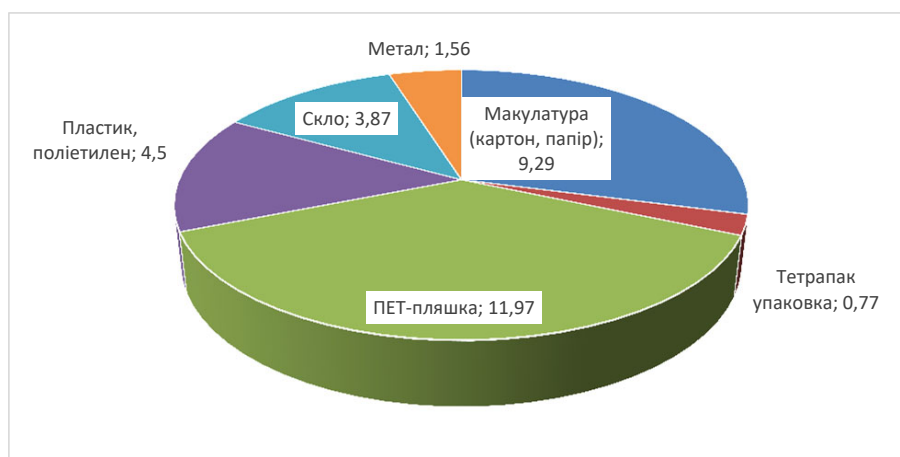


Рис. 2. Вміст цінних компонентів вторинної сировини у твердих побутових відходах Коростишівської громади, %

дження із відходами є: попередження виникнення відходів, їх мінімізація, повторне використання та переробка, а найменш прийнятними – утилізація та видалення.

Розробка положення схеми санітарного очищення населених пунктів на території Коростишівської громади передбачає 3 варіанти розвитку системи управління відходами:

- роздільне збирання вторинної сировини.
- будівництво сміттеперевантажувальної станції.
- будівництво сміттесортувальної станції.

Головною метою роздільного збирання ТПВ є зменшення кількості їх захоронення на полігонах, покращення екологічного стану довкілля та одержання вторинної сировини. Впровадження роздільного збирання ТПВ доцільно проводити двома послідовними етапами (рис. 3).

Враховуючи вимоги санітарних норм і правил щодо обмеження до 5 одиниць кількості контейнерів, які можна встановлювати на одному контейнер-

ному майданчику, рекомендується розміщення контейнерів за чотирма схемами (табл. 1).

Відбір вторинної сировини з побутових відходів, що зібрані у контейнери або завантажені у сміттєвози, дозволяється тільки на спеціалізованих підприємствах з сортування та переробки побутових відходів.

Зокрема, організація збору вторинної сировини у місті дозволить отримати значне скорочення обсягів ТПВ, що підлягають захороненню та отримати додаткові кошти від реалізації вторинної сировини.

Для того, щоб знизити загальні експлуатаційні витрати, пов'язані зі збором і транспортуванням ТПВ, при дальності вивезення ТПВ більше 20 км доцільно реалізувати двоетапне вивезення відходів за допомогою застосування сміттєперевантажувальних станцій (СПС) або майданчиків. Двоетапна система включає 5 послідовних технологічних процесів (рис. 4).

Використання СПС дозволить знизити витрати на транспортування ТПВ в місця знешкодження,





Рис. 3. Етапи впровадження роздільного збирання відходів

Таблиця 1

Кількість контейнерів для сміття відповідно до схем роздільного збирання відходів [13]

№ схеми	Кількість контейнерів, шт.	Функціональне призначення контейнерів
1	2	Перший – збирання ресурсоцінних складових ТПВ
		Другий – збирання решти змішаних відходів
2	3	Перший – один певний вид ресурсоцінних компонентів
		Другий – інші ресурсоцінних компонентів
		Третій – змішані відходи
3	4	Перший – один певний вид ресурсоцінних відходів
		Другий – другий вид ресурсоцінних відходів
		Третій – інші ресурсоцінні компоненти
		Четвертий – змішані відходи
4	5	Перший – полімерні відходи
		Другий – скло
		Третій – папір
		Четвертий – харчові відходи
		П'ятий – змішані ТПВ

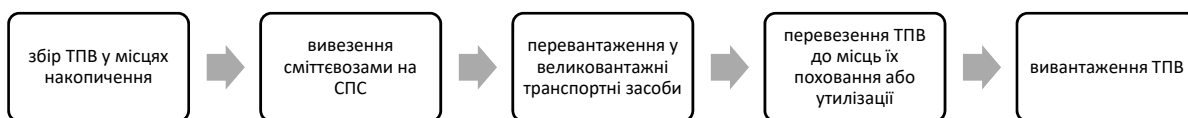


Рис. 4. Процес двоетапного вивезення відходів за допомогою СПС

зменшити кількість сміттевозів, скоротити сумарні викиди у атмосферне повітря від сміттевозного транспорту та поліпшити технологічний процес складування ТПВ.

Проте, з огляду на добовий обсяг утворення ТПВ на території громади, а також оцінюючи можливу відстань транспортування відходів до об'єкта їх утилізації будівництво станції перевантаження економічно недоцільно, оскільки мінімальна потужність станції складає 240 м<sup>3</sup>/добу.

Сортування побутових відходів – це технологічний процес поділу ТПВ на фракції на сміттепереробних заводах вручну або за допомогою автоматизованих конвеєрів. Метою сортування, поряд із зменшенням маси відходів, що підлягають захороненню, отримання максимальної економічної вигоди

від переробки вторинної сировини. Схема роботи сміттепереробної компанії включає 4 послідовні етапи (рис. 5).

Для задоволення потреб з переробки відходів у населених пунктах Коростишівської громади необхідна сміттесортувальна лінія потужністю близько 10 тис. тонн на рік, а тому будівництво лінії є економічно недоцільним через недостатню завантаженість відходами населених пунктів.

Таким чином, враховуючи економічну доцільність та екологічний вплив запропонованих моделей поводження з твердими побутовими відходами, можна зробити висновок, що найбільш екологічно та економічно прийнятним є роздільне збирання відходів із подальшою реалізацією вторинної сировини (рис. 6).



Рис. 5. Етапи роботи сміттесортувальної станції

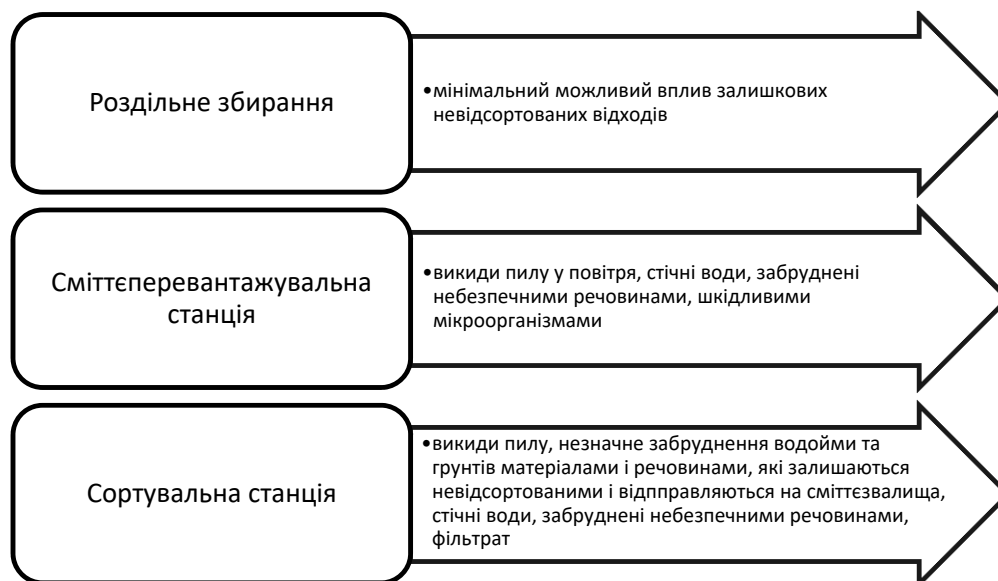


Рис. 6. Екологічні наслідки від впровадження моделей поводження з ТПВ

Для успішного впровадження оптимальної моделі поводження з ТПВ населених пунктів Коростишівської громади необхідним є проведення таких заходів:

- 1) здійснення просвітницької роботи серед населення громади щодо необхідності роздільного збирання відходів;
- 2) укладення договорів на реалізацію вторинної сировини;
- 3) запровадження сортування побутових відходів на декілька фракцій: пластик, папір, скло, органіка та інші відходи із встановленням спеціальних контейнерів;
- 4) створення мережі пунктів прийому небезпечних відходів від населення.

**Висновки.** Таким чином, у результаті проведеного дослідження встановлено, що найбільш прийнятною і реалістичною моделлю процесу управління відходами у межах Коростишівської ТГ є запровадження роздільного збирання відходів із подальшою реалізацією вторинної сировини.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Отримані результати досліджень можуть бути використані органами самоврядування досліджуваних громад для покращення системи управління твердими побутовими відходами та проведення просвітницької діяльності серед місцевого населення.

### Література

1. Хандогіна О. В. Теоретико-методичні підходи до функціонування і розвитку системи управління твердими побутовими відходами в регіонах України: автореф. дис. ... канд. екон. наук : 08.00.05 / Хандогіна Ольга Вадимівна ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків, 2021. 24 с.
2. Kaza, S., Yao, L.C., Bhada-Tata, P., Van Woerden, F. (2018). What a Waste 2.0 : A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Urban Development. Washington, DC: World Bank. URL: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>
3. Михайлова Є. О., Панчева Г. М., Резніченко Г. М. Ефективні механізми поводження з твердими побутовими відходами. *Комунальне господарство міст*. 2019. Т. 5. Вип. 151. С. 37–44.
4. Екологічний менеджмент у поводженні із побутовими відходами на регіональному рівні: прогнозування екологічної ситуації : монографія / В. В. Попович, А. І. Делятинчук, Н. П. Попович, М. С. Мальований. Львів : СПОЛЮМ, 2021. 210 с.

5. Герасимчук Л. О., Валерко Р. А., Ясінський В. В., Соловійова О. О. Державний контроль у сфері поводження з відходами на території Житомирської області. *Екологічні науки*. 2022. № 5(44). С. 255-259. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.есо.5-44.39>
6. Павлова О., Павлов К., Козлов В. Правове регулювання та управління процесом поводження з твердими побутовими відходами в Україні. *Economic journal of Lesia Ukrainka Eastern European National University*. 2019. № 1. С. 76–85. doi:10.29038/2411-4014-2019-01-76-85
7. Веденіна Ю. Ю., Петрухненко Л. С., Велькін Б. О. Утилізація твердих побутових відходів як основа сталого економічного розвитку. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2020. № 1. С. 192-196.
8. Коцюба І. Г., Давидова І. В., Стріха В. А. Дослідження сезонного морфологічного складу твердих побутових відходів м. Житомира. *Вісник НУВГП. Серія «Технічні науки»*. 2016. Вип. 4(76). С. 312–319.
9. Попова Ю. М., Свистун Л. А., Панасенко Д. І. Публічне управління твердими побутовими відходами: іноземний досвід. Електронне наукове фахове видання з економічних наук «*Modern Economics*». 2019. № 15. С. 153–158. URL: <https://modecon.mnau.edu.ua>.
10. Самойлов О. О. Зарубіжний досвід управління твердими побутовими відходами. *Інвестиції: практика та досвід*. 2021. № 19. С. 45–50. DOI: 10.32702/2306 6814.2021.19.45
11. Закон України «Про відходи» від 05.03.1998 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/187/98-вр>
12. Директива Європейського Парламенту і Ради 2008/98/ЄС від 19 листопада 2008 року про відходи та про скасування деяких директив. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984\\_029-08#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_029-08#Text)
13. «Про затвердження Методики роздільного збирання побутових відходів»: Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України № 133 від 01.08.11 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1157-11#Text>

УДК 504.064.45

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.2-47.37>

## ЗАСТОСУВАННЯ ФЕРИТНОГО МЕТОДУ ДЛЯ ЗНЕШКОДЖЕННЯ ТОКСИЧНИХ ГАЗОВИХ ВІДХОДІВ

Іваненко О.І., Довголап С.Д.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
пр. Перемоги, 37, 03056, м. Київ  
olenka.vasaynovich@gmail.com, s.dovholap@gmail.com

У даній роботі був проведений розрахунок каталітичного реактора для окислення CO, та дослідження ефективності каталізаторів, що були розроблені для реальних витрат димових газів ПрАТ «Український графіт» з температурою від 270 до 390 °С, що виходять з камери печі випалювання Рідгамера «першого вогню», яка підігрівается димовими газами. Для дослідження процесу окислення CO використовувалась партія цеолітової породи виробництва ТОВ «Закарпатський цеолітовий завод» розміром 3–5–8 мм. За даними підприємства, досліджувана партія цеоліту виготовляється із цеолітованих туфів кліноптилолітового типу з вмістом кліноптилоліту  $(\text{Na,K})_6[(\text{Al}_6\text{Si}_{30})\text{O}_{72}]\cdot 20\text{H}_2\text{O}$  в породі близько 77%. За основний каталізатор було взято хром-феритний каталізатор. Для розрахунку каталітичного окислення CO використовувалась технологічна схема, представлена на рис. 1. На основі технологічної схеми що зображена на рис.1 була розроблена та змонтована експериментальна установка. Дослідження процесу окислення проводилися при порівнянні ряду перспективних каталізаторів в реакторі при робочій температурі (200–400 °С), слід зазначити, що при відсутності каталізатору в реакторі перетворення монооксиду вуглецю дорівнювала 0.

В експериментальній частині хром-феритного каталізатору, віддалася перевага за рахунок його доступності у вигляді побічного продукту при очищенні стічних вод гальванічного виробництва.

Оптимальний діапазон для хром-феритного каталізатору є температурний режим в діапазоні температур з 325 °С до 390 °С, а ефективність даного каталізатору становить 82,4%, що є відмінним результатом порівняно із більш дорогими аналогами на основі коштовних металів, які використовувалися раніше. Також слід відзначити простоту утилізацію даного каталізатору після використання на виробництві, бо даний каталізатор характеризується інертністю та стійкістю у довкіллі. *Ключові слова:* каталітичний реактор, димові газу, монооксид вуглецю, ферит, діоксид вуглецю, каталізатор, хром-ферит, окислення.

### Application of ferritic method for disposal of toxic gas wastes. Ivanenko O., Dovholap S.

In this work, a catalytic reactor for CO oxidation was calculated and the efficiency of catalysts developed for real flue gas flow rates of PJSC “Ukrainian Graphite” with a temperature of 270 to 390 °C, which exit the chamber of the Riegamer “first fire” roasting furnace, which is heated by flue gases, was studied. To study the process of CO oxidation, a batch of zeolite rock produced by Zakarpattia Zeolite Plant LLC (3–5–8 mm in size) was used. According to the company, the studied batch of zeolite is made from zeolitized tuffs of the clinoptilolite type with a content of clinoptilolite  $(\text{Na,K})_6[(\text{Al}_6\text{Si}_{30})\text{O}_{72}]\cdot 20\text{H}_2\text{O}$  in the rock of about 77%. The main catalyst was a chromium-ferrite catalyst. To calculate the catalytic oxidation of CO, we used the technological scheme shown in Fig. 1. Based on the flow diagram shown in Fig. 1, an experimental setup was designed and assembled. The oxidation process was studied by comparing a number of promising catalysts in a reactor at an operating temperature (200–400 °C), it should be noted that in the absence of a catalyst in the reactor, the conversion of carbon monoxide was 0.

In the experimental part, the chromium-ferrite catalyst was preferred due to its availability as a by-product in the treatment of wastewater from electroplating.

The optimum range for the chromium-ferrite catalyst is the temperature range from 325 °C to 390 °C, and the efficiency of this catalyst is 82.4%, which is an excellent result compared to more expensive analogues based on precious metals that were used earlier. It should also be noted that this catalyst is easy to dispose of after use in production, since this catalyst is characterized by inertness and stability in the environment. *Key words:* catalytic reactor, flue gases, carbon monoxide, ferrite, carbon dioxide, catalyst, chromium-ferrite, oxidation.

**Постановка проблеми.** Екологічні проблеми пов'язані із викидами в атмосферу шкідливих газів від промислових виробництв є актуальними уже декілька десятиліть. Найбільш небезпечним для навколишнього середовища та для здоров'я людини є монооксид вуглецю. Для здоров'я людини CO небезпечний тим, що може призвести до гіпоксії та задухи а також може спричинити раптову смерть, а летальність для людини від CO становить 17,5%, що є найбільшою часткою смертей від інтоксикації газами в світі.

**Актуальність роботи.** Дослідження по утилізації та знешкодження CO за допомогою феритного

методу з використанням каталізаторів, дає можливість зниження концентрації CO у викидах або можливе його перетворення в менш токсичний продукт – діоксид вуглецю.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз науково технічної літератури показав, що в на даний час для вирішення даної проблеми використовується два методи, що базуються на фізико-хімічних методах вилучення або на термічному або каталітичному методі окислення. Фізико-хімічний метод та термоокислення характеризуються високим споживання ресурсів та великих капітальних вкладень при цьому

дані методи не гарантують повне вилучення СО з газів. Виходячи з даних зазначених вище найбільш актуальним є термокаталітичний метод окислення монооксиду вуглецю на гетерогенних каталізаторах.

**Новизна.** На даний час технологія каталітичного окислення СО достатньо освоєна та використовується лише в сфері автотранспорту. Слід відзначити що до процесу каталітичного окислення ставиться ряд жорстких вимог як до самого процесу так і до каталізаторів. Відомо що існуючі каталізатори які мають в свою складі дорожочінні матеріали, такі як Pt, Pd, Sm, потребує заміни на більш дешеві та простіші у своєму використанні, але показник ефективності не повинен бути менший ніж в існуючих каталізаторів.

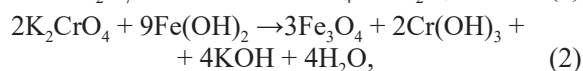
**Методологічне або загальнонаукове значення.**

В сучасних публікаціях багато робіт присвячених на вивчення механізму та кінетики процесів каталітичного окислення СО в різних температурних умовах, але недостатньо інформації та результатів моделювання процесу окислення в умовах окислення в реакторі з нерухомим шаром каталізатора. Задачею даної праці є побудова моделі окислення СО в трубчастому реакторі на композиційному хром-феритовому каталізаторі з наступним визначенням параметрів обладнання для опалювання залишкових газів промислових печей опалювання.

**Виклад основного матеріалу.** У експериментальному процесі каталітичного окислення СО був використаний цеоліт для будівельних матеріалів Сокирницького родовища Закарпатської області виробництва ТОВ «Закарпатський цеолітовий завод» розміром 3-5-8 мм. За даними підприємства, досліджувана партія цеоліту виготовляється із цеолітизованих туфів кліноптилолітового типу з вмістом кліноптилоліту  $(\text{Na,K})_6[(\text{Al}_6\text{Si}_{30})\text{O}_{72}] \cdot 20\text{H}_2\text{O}$  [2] в породі близько 77%.

За основний каталізатор було взято хром-феритний каталізатор. Отримання хром-феритного каталізатору ( $\text{Cr}^{6+}:\text{Fe}^{2+}=1:15$ ) на основі цеоліту [3]

Наважку цеоліту обробляли сумішшю розчинів 0,028М  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  та 0,332М  $\text{FeSO}_4$  протягом 1 год, після чого осаджували на цеоліті осад фериту хрому 25% розчином  $\text{NH}_4\text{OH}$  за реакціями:



та витримували протягом 24 годин. Після цього цеоліт відділяли від водної фази декантацією, промивали та сушили на повітрі до постійної маси. [1]

Розрахунок каталітичного окислення СО виконувався для реальних витрат димових газів ПрАТ «Український графіт» з даною характеристикою:

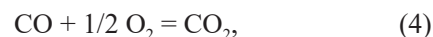
- $V=18500 \text{ м}^3/\text{год}$
- Температура 270–390 °С
- $[\text{CO}] = 0,13\%$
- $[\text{O}_2] = 14,4\%$
- $[\text{CO}_2] = 3,71\%$
- $[\text{N}_2] = 81,76\%$

Залишковий вміст СО у викиді має бути менш  $250 \text{ мг}/\text{м}^3 = 0,02\% \text{ об.}$  Таким чином, ступінь окислення СО повинно складати:

$$X = (0,13 - 0,02) / 0,13 = 85\%. \quad (3)$$

Для розрахунку каталітичного окислення СО використовувалась технологічна схема, представлена на рис. 1.

Відомо, що реакція окислення монооксиду вуглецю є екзотермічною ( $\Delta H^\circ_{298} = -282,6 \text{ кДж}/\text{моль}$ ) і є незворотною до 1500 К ( $\Delta G^\circ_{298} = -256,7 \text{ кДж}/\text{моль}$ ;  $\Delta S^\circ_{298} = -86,5 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$  реакція за якою протікає окислення:



На основі технологічної схеми що зображена на рис. 1 була розроблена та змонтована експериментальна установка. Розроблена установка (рис. 2) включає в себе термокамеру (8), що складається з металевої трубки з нержавіючої сталі (9) та керамічної трубки (10) з нагрівальним елементом (11),

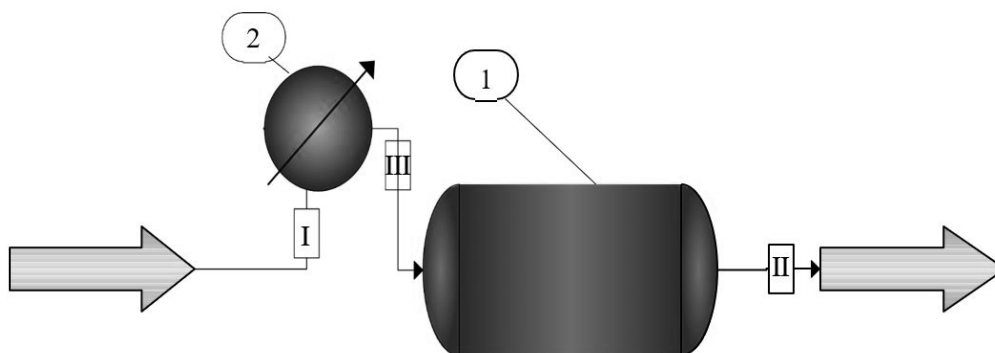


Рис. 1. Технологічна схема каталітичного окислення

Опис схеми: Обладнання: 1 – кінетичний реактор; 2 – теплообмінник

Процеси: I – склад газу при нормальних умовах до подачі в кінетичний реактор;

II – склад газу після каталізатора; III – склад газу на виході з теплообмінника при температурі 350 °С

в якій за допомогою термопар (12) та термореле (14) підтримується за допомогою елемента (11) задана температура. Зразок каталізатора у циліндричному контейнері (13) поміщали в металеву трубку (9) таким чином, щоб виключити проходження газової суміші повз каталізатор. Об'ємну швидкість газового потоку варіювали в інтервалі 1–5 дм<sup>3</sup>/хв. У процесі нагрівання постійно контролювали склад газової суміші на вході та виході з термокамери. Концентрацію продуктів реакції аналізували за допомогою газоаналізатора (2). Безпосередньо перед проведенням каталітичного експерименту зерно каталізатора піддавали термообробці за температури 450 °С протягом 2 годин. Перед та після нагрівання і охолодження визначали втрату маси каталізатора. Каталітичну очистку газової суміші від СО досліджували в інтервалі 200–400 °С. Концентрація монооксиду вуглецю в початковій газовій суміші на вході в реактор дорівнювала 1,1 об.%. [1]

Формула для розрахунку ступеню окислення монооксиду вуглецю:

$$X_{CO} = \frac{C_{CO}^{in} - C_{CO}^{out}}{C_{CO}^{in}} \cdot 100\%, \quad (5)$$

де  $C_{CO}^{in}$  – мольна частка СО на вході в реактор,  $C_{CO}^{out}$  – мольна частка СО на виході з реактору.

Дослідження процесу окислення проводилися при порівнянні ряду перспективних каталізаторів в реакторі при робочій температурі (200–400 °С), слід зазначити, що при відсутності каталізатору

в реакторі перетворення монооксиду вуглецю дорівнювала 0.

В експериментальній частині крім хром-феритного каталізатору якому віддалася перевага за рахунок його доступності у вигляді побічного продукту при очищенні стічних вод гальванічного виробництва, досліджувалися наступні види каталізаторів:

- оксидно-марганцевий;
- оксидно-хромовий;
- оксидно-мідно-марганцевий (30% CuO + 70% MnO<sub>2</sub>);
- оксидно-мідно-марганцевий (40% CuO + 60% MnO<sub>2</sub>);
- мідь-феритний;
- феритний.

З наведених на рис. 3. температурних залежностей конверсії монооксиду вуглецю на досліджених каталізаторах видно, при досягненні температури у реакторі до рівня 390°C досягається 100%-ва конверсія монооксиду вуглецю у разі використання каталізатора Gr70. Наступним по ефективності є оксидно-марганцевого каталізатора ступінь конверсії СО сягає 93,8%. Схожі результати перетворення монооксиду вуглецю показали каталізатори Gr60 та хром-феритному каталізатор ефективність яких становить 85,3% та 82,4%. Мідь-феритний, феритний та оксидно-хромовий каталізатора показали наступні результати відповідно 41,2%, 48,5% та 55,9% окислення СО за температури 390 °С.

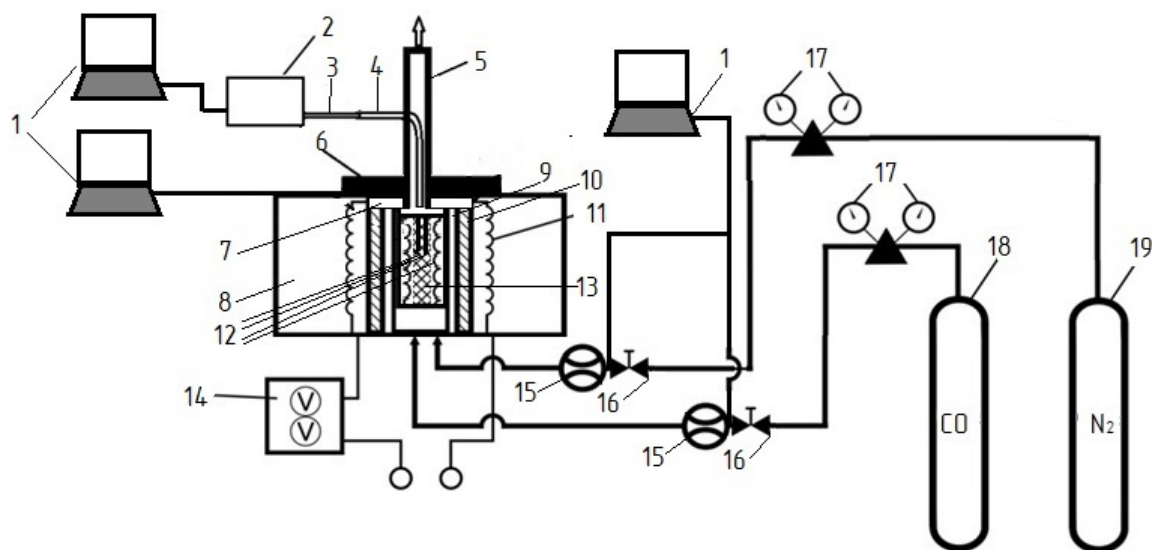


Рис. 2. Схема лабораторної установки для вивчення процесів каталітичного окислення монооксиду вуглецю

Опис схеми: 1 – цифровий інтерфейс вимірювань; 2 – газоаналізатор VARIO PLUS industrial analyzer MRU air fair; 3 – газовідбірник газоаналізатора; 4 – трубка для відбору газової суміші з камери в газоаналізатор; 5 – відведення газової суміші; 6 – металеві прокладки; 7 – азбестові прокладки; 8 – термокамера; 9 – трубка із нержавіючої сталі; 10 – керамічна трубка; 11 – нагрівальний елемент; 12 – термопари; 13 – контейнер для каталізатора із сітки з нержавіючої сталі; 14 – регулятор температури; 15 – газові витратоміри Bronkhorst EL-FLOW F-111AC; 16 – регулюючі клапани F-001AC; 17 – редуктори; 18 – балон із монооксидом вуглецю; 19 – балон із азотом

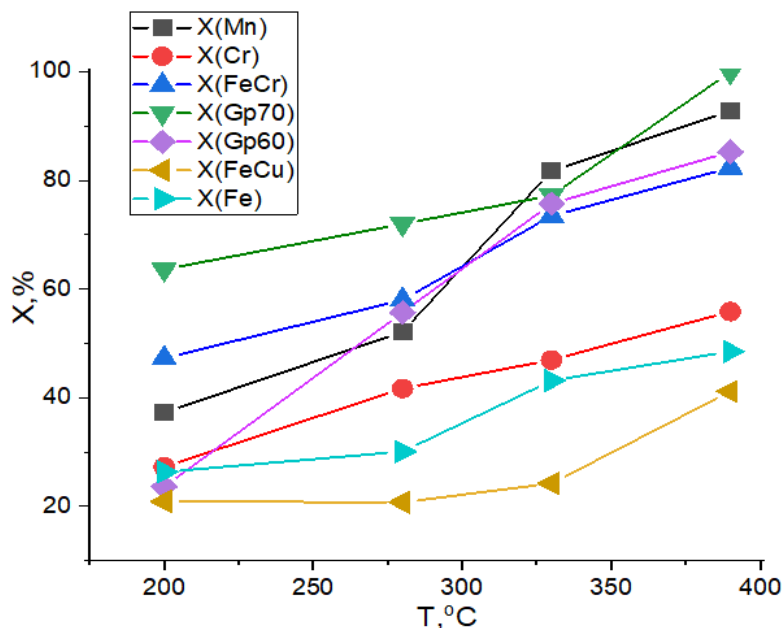


Рис. 3. Температурні залежності ступеня перетворення монооксиду вуглецю на каталізаторах на основі цеоліту: Mn – оксидно-марганцевому, Cr – оксидно-хромовому, FeCr – хром-феритному, Gp70 – оксидно-мідно-марганцевому (30% CuO + 70% MnO<sub>2</sub>), Gp60 – оксидно-мідно-марганцевому (40% CuO + 60% MnO<sub>2</sub>), FCu – мідь-феритному, Fe – феритному

Більш детально по результатам обраного хром-феритного каталізатора. Було доцільно відмітити, що хром-феритний каталізатор показав задовільні результати при початку експерименту, коли температура досягла рівня 200 °C, ефективність даного каталізатора становила 49%, що на порядок більше ніж ефективність інших феритних каталізаторів на кінці дослідження при оптимальній температурі для конверсії монооксиду вуглецю. Також слід відзначити стрімкий приріст ефективності при переході з температури 275 °C до 325 °C, але слід зазначити негативний результат з температури 200 °C до 275 °C в даному діапазоні температур спостерігається низька ефективність каталізатора відносно оксидно-мідно-марганцевого каталізатора (Gp70). Оптимальний діапазон для хром-феритного каталізатору є температурний режим в діапазоні температур з 325 °C до 390 °C.

**Головні висновки.** Таким чином підсумовуючі всі результати по моделюванню та розробці експериментальної установки по конверсії CO з димових газів, можна стверджувати що каталізатори на основі хром-феритових матеріалів є ефективними. Ефективність даного каталізатору становить 82,4%, що є відмінним результатом порівняно із більш дорогими аналогами на основі коштовних металів, які використовувалися раніше.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Дані результати були змодельовані для реальних витрат димових газів ПрАТ «Український графіт», що є перспективою для використання даної технології на промисловому виробництві. Також слід відзначити простоту утилізацію даного каталізатору після використання на виробництві, бо даний каталізатор характеризується інертністю та стійкістю у довкіллі

#### Література

1. Довголап С.Д., Іваненко О.І. Використання хром-феритного каталізатора для очищення димових газів металургійного виробництва/Матеріали XXII Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, Україна, 2021 р.), 161–163.
2. Grechanovskaya E. E. 2010. Unit cell metric and Si/Al ratio in zeolites of the heulandite– clinoptilolite series of the Sokirnytsya deposit (Transcarpathia, Ukraine). Mineralogical Journal, 32(4), 12–22.
3. Радовенчик В. М., Іваненко О. І., Радовенчик Я. В., Крисенко Т. В. Застосування феритних матеріалів в процесах очищення води / Монографія. Біла Церква: Видавництво О. В. Пшонківський, 2020. 215 с. ISBN 978-617-604-065-2

УДК 502.14:353.1

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.2-47.38>

## АНАЛІЗ ПРОВЕДЕННЯ СТРАТЕГІЧНОЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ РЕГІОНАЛЬНИХ ПЛАНІВ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ

Хандогіна О.В.<sup>1</sup>, Дрозд О.М.<sup>1,2</sup>, Дядін Д.В.<sup>1</sup><sup>1</sup>Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова  
вул. Маршала Бажанова, 17, 61002, м. Харків<sup>2</sup>Estación Experimental de Aula Dei, EEAD-CSIC

Avenida Montañana, 1005, 50059, Zaragoza, España

olga.khandogina@kname.edu.ua, olena.drozd@kname.edu.ua,

dmytro.diadin@kname.edu.ua, odrozd@eead.csic.es

Проведення стратегічної екологічної оцінки (СЕО) документів державного планування (ДДП) є одним із ключових аспектів сталого розвитку країни та її регіонів. Методологічна основа проведення СЕО продовжує розвиватися і потребує удосконалення, у тому числі за таким важливим напрямом як управління та поводження з відходами в умовах зміни клімату. У статті проаналізовано оприлюднені звіти про стратегічну екологічну оцінку регіональних планів управління відходами (РПУВ), розроблених для окремих областей України на період до 2030 року. Результати аналізу показали, що у звітах недостатньо висвітлена низка важливих питань, зокрема тих, що стосуються зв'язку РПУВ з іншими ДДП, опису поточного стану довкілля, опису поточних екологічних проблем території, зв'язку з цілями сталого розвитку, розгляду виправданих альтернатив. По вказаних питаннях у роботі проведено аналіз повноти їх розкриття у звітах про СЕО, виділено певні проблеми, характерні для багатьох звітів, надано коментарі та пропозиції щодо підвищення об'єктивності проведення оцінки. Зокрема, звернено увагу на необхідність розширення переліку інших ДДП, з якими РПУВ мають зв'язок, у тому числі тих, що стосуються зміни клімату й адаптації та інших важливих екологічних питань. У розділах опису поточного стану довкілля спостерігається недостатнє висвітлення таких компонентів навколишнього середовища, як ґрунти, лісові ресурси, рекреаційні ресурси, надра та інших, які прями́м чи опосередкованим чином зазнають впливу сфери управління відходами. У розділах опису екологічних проблем, увага розробників здебільшого концентрується саме на проблемах у сфері відходів, тоді як проблеми в інших сферах довкілля залишаються без достатнього рівня деталізації та доказовості. Недостатньо чітко окреслюються також і зв'язки РПУВ із цілями сталого розвитку, що є обов'язковою складовою СЕО. Певні складнощі викликає і розгляд можливих альтернатив, в якому в більшості випадків розробники звіту про СЕО пропонують лише два варіанти – базовий і нульовий сценарії. Отримані результати доцільно використовувати для удосконалення процедури складання звітів СЕО, що дозволить підвищити ступінь комплексності і об'єктивності оцінок. *Ключові слова:* сталий розвиток, стратегічна екологічна оцінка, управління відходами, екологічні проблеми, довкілля, зміна клімату.

### Analysis of the strategic environmental assessment of regional waste management plans. Khandogina O., Drozd O., Diadin D.

Strategic environmental assessment (SEA) of state planning documents is one of the key aspects of sustainable development of the country and its regions. The methodological basis for conducting SEA is still evolving and needs to be improved, including in such an important area as waste management and treatment in the context of climate change. The article examines the published reports on strategic environmental assessment of regional waste management plans (RWMPs) developed for certain regions of Ukraine for the period up to 2030. The results of the analysis have shown that the reports do not sufficiently cover a number of important issues, in particular, those related to the connection of RWMPs with other state planning documents, description of the current state of the environment, description of current environmental problems of the territory, linkage with sustainable development goals, and consideration of reasonable alternatives. The paper explores the completeness of their coverage in SEA reports, identifies certain problems common to many reports, and provides comments and suggestions for improving the objectivity of the assessment. In particular, attention is drawn to the need to expand the list of other state planning documents with which the SEA reports are linked, including those related to climate change and adaptation and other important environmental issues. In the sections describing the current state of the environment, there is insufficient coverage of such environmental components as soils, forest resources, recreational resources, subsoil and others that are directly or indirectly affected by waste management. In the sections describing environmental issues, the developers' attention is mostly focused on waste issues, while issues in other areas of the environment remain without sufficient detail and evidence. The links between the RWMPs and the sustainable development goals, which are a mandatory component of the SEA, are also not clearly defined. Consideration of possible alternatives also causes some difficulties, as in most cases, the authors of the SEA report offer only two options – baseline and zero scenarios. The obtained results could be used to improve the SEA reports development procedure, which will increase the degree of comprehensiveness and objectivity of assessments. *Key words:* sustainable development, strategic environmental assessment, waste management, environmental problems, environment, climate change.

Постановка проблеми. Однією з передумов сталого розвитку держави є сталий розвиток територій, що забезпечує спрямований послідовний рух у напрямку збереження природи та навколишнього середовища, зростання суспільного добробуту, покращення умов життя і діяльності людини,

суспільства та держави в цілому, а також зменшення диспропорцій у розвитку регіонів. Концепція сталого розвитку базується на ряді принципів, які дозволяють вимірювати прогрес та визначати перспективи, адже необхідно узгодити між собою бачення та інтереси різних верств суспільства, інституцій, органів влади,



питання збереження довкілля тощо [1, 2]. В даному контексті беззаперечним є необхідність стратегічного планування розвитку окремих секторів економіки чи територій, адміністративно-територіальних одиниць, під час якого визначаються цілі, завдання та пріоритети, встановлюються цільові показники, визначаються часові та просторові масштаби діяльності, та необхідні для впровадження заходи.

Одним із ключових аспектів стратегічного планування розвитку територій є вирішення проблеми відходів, темпи утворення яких зростають в усьому світі. Причому, для України проблема полягає не тільки в обсягах утворення, а і в недостатньому використанні технологій перероблення та утилізації відходів, що не дозволяє у повній мірі використовувати сировинний та енергетичний потенціал відходів та перешкоджає втіленню в життя принципів сталого розвитку та підходів циркулярної економіки.

Утворення відходів тісно пов'язане з ще однією глобальною проблемою – зміною клімату. За даними Програми ООН з навколишнього середовища щороку у світі накопичується приблизно 11,2 мільярда тонн твердих відходів, а розпад органічної частини твердих відходів спричиняє близько 5% глобальних викидів парникових газів [3]. Таким чином, збільшення обсягів і складності відходів, пов'язаних із сучасною економікою, створюючи значний внесок у зміну клімату, становить серйозний ризик для екосистем і здоров'я населення.

Актуальність дослідження. Розбудова всіх сфер та секторів економіки на засадах сталого розвитку для України є одним з пріоритетних завдань у процесі євроінтеграції. Сфера управління відходами є одним з актуальних напрямів, який останнім часом перебуває в стані постійного реформування з метою удосконалення для відповідності європейським принципам. У червні 2022 року Урядом України було прийнято новий рамковий Закон «Про управління відходами» (набирає чинності у липні 2023 року), який має наблизити її до кращих практик, стандартів та норм Європейського Союзу. Серед іншого, тепер на рівні Закону передбачається розроблення планів управління відходами на національному, регіональному та місцевому рівнях, на рівні підприємств, організацій та установ [4] різних галузей. Плани управління відходами на національному, регіональному та місцевому рівнях є документами державного планування (ДДП) та підлягають стратегічній екологічній оцінці (СЕО) згідно вимог Закону України «Про СЕО» [5] та новоприйнятого Закону України «Про управління відходами». Відповідно, набуває актуальності удосконалення існуючих та розробка нових підходів до проведення СЕО для цих документів.

Необхідність врахування поточних і прогнозованих наслідків зміни клімату в стратегічному плануванні передбачено Стратегією екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату в Україні до 2030 року [6] та Законом «Про СЕО». При цьому СЕО, вочевидь,

є одним з найбільш дієвих інструментів для інтеграції кліматичної політики, яка забезпечує дотримання пріоритетів політики запобігання зміні клімату, пом'якшення її наслідків та адаптації на міжнародному, національному, регіональному, місцевому рівнях.

Отже, питання забезпечення стратегічного планування на різних рівнях сфери управління відходами з урахуванням впливу на довкілля та зміни клімату наразі набувають виключної актуальності.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Тема роботи відповідає напрямам державної політики щодо управління відходами, державного планування, адаптації до зміни клімату та екологічної безпеки в цілому, що в свою чергу безпосередньо спрямовані на досягнення цілей сталого розвитку. Важливість авторського доробку та зв'язок з практичними завданнями полягає у можливості подальшого удосконалення звітів СЕО шляхом усунення зазначених у статті основних недоліків, що визначені на основі комплексного аналізу наявних звітів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сталий розвиток регіонів потребує ефективних підходів екологічного врядування, що базуються на взаємоузгодженості законодавчих та нормативно-методичних документів різних рівнів, спрямованих на вирішення широкого кола екологічних проблем. СЕО як систематичний процес оцінки екологічних наслідків запропонованої політики, плану чи програми, є важливим інструментом реалізації принципів сталого розвитку при розробці документів стратегічного планування на ранній стадії прийняття рішень. Проведення СЕО забезпечує системність, об'єктивність, демократичність, прозорість та комплексність прийняття рішень з урахуванням кумулятивних впливів від планових заходів. Усі звіти СЕО розробляються відповідно до Закону України «Про СЕО», структура звіту та ключові питання, що він має розглядати, зазначені у ст. 11 даного закону. Міністерством розвитку громад та територій на виконання норм Закону розроблено та затверджено Методичні рекомендації із здійснення стратегічної екологічної оцінки документів державного планування [7], які визначають основні підходи, аналітичні інструменти та методи при проведенні СЕО.

Фахівцями та експертами розроблено та опубліковано низку практичних посібників, рекомендацій щодо проведення процедури СЕО для документів державного планування [8, 9].

Процедура СЕО є предметом обговорення багатьох вітчизняних дослідників у контексті її використання як інструменту забезпечення сталого розвитку та ефективного екологічного управління. Так, дослідники приділяють увагу концептуальним засадам СЕО (Козаченко Т. [10], Чернихівська А.В. [11]), висвітленню практичного досвіду проведення СЕО документів державного планування (Стратічук Н.В. [12, 13]) і т.і.

Питання врахування зміни клімату у документах стратегічного планування наразі є одними з пріоритетних. Проте, у наявних наукових публікаціях дане питання висвітлено недостатньо. Досвід європейських країн показує, що питання зміни клімату є обов'язковими при розробці СЕО програм поводження з відходами різного рівня. При цьому ключовим показником є моделювання вуглецевого впливу з урахуванням оцінки життєвого циклу. Такий підхід є одним з базових для прийняття рішень та подальшої розробки адаптаційних заходів щодо пом'якшення наслідків зміни клімату [14, 15, 16].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Розмаїтість документів, що підлягають проведенню СЕО, як в плані тематики, так і масштабу охоплення питань, зумовлює відсутність чітко визначеного підходу та диференціації інструментарію до проведення СЕО. Виконавці можуть використовувати різні форми та рівні деталізації оцінки відповідно до конкретних потреб. Отже питання повноти, всебічності, комплексності висвітлення екологічних питань, що визначають об'єктивність проведення СЕО і відповідають специфіці конкретних ДДП та поставленим цілям, потребує удосконалення на основі аналізу виявлених суперечностей в наявних звітах.

Новизна. На основі комплексного аналізу розроблених звітів стратегічної екологічної оцінки регіональних планів управління відходів виділено основні недоліки у висвітленні екологічних та кліматичних питань, врахування яких у подальшому дозволить підвищити ступінь комплексності і об'єктивності оцінок.

Методологічне або загальнонаукове значення. У статті розглянуто й критично проаналізовано звіти про СЕО РПУВ за низкою важливих питань з позиції повноти та об'єктивності їх висвітлення. Таким чином, проведена робота має методологічне значення для покращення підходів до проведення СЕО в сфері регіонального планування управління відходами в Україні.

Викладення основного матеріалу. В роботі проведено аналіз звітів про СЕО РПУВ семи областей, оприлюднених для громадського обговорення у відкритих джерелах. Зокрема проаналізовано РПУВ в Сумській області до 2030 року, РПУВ Вінницької області на період до 2030 року, РПУВ у Дніпропетровській області до 2030 року, РПУВ Київської області, РПУВ у Волинській області до 2030 року, РПУВ у Хмельницькій області до 2030 року, РПУВ Чернігівської області на предмет комплексності, системності, забезпечення повноти розкриття екологічних питань за нижче наведеним переліком:

1) зв'язок РПУВ з іншими ДДП, у тому числі з тими, що стосуються зміни клімату й адаптації;

2) опис компонентів стану довкілля на територіях, які ймовірно зазнають впливу;

3) охопленість кола екологічних проблем, у тому числі ризиків впливу на здоров'я населення;

4) опис наслідків для компонентів довкілля;

5) пом'якшення наслідків зміни клімату.

Висвітлення саме цих питань з точки зору авторів має певні недоліки та неточності та потребує удосконалення в проаналізованих звітах про СЕО. Разом з тим, варто зауважити, що безперечно неможливо охопити, охарактеризувати та проаналізувати абсолютно всі аспекти діяльності, тому деякі неточності, неповнота інформації та припущення цілком зрозумілі.

Визначення зв'язку оцінюваного ДДП з іншими ДДП має висвітлюватися в розділі 2 Звіту про СЕО (абзац 2, п. 2, ст. 11 Закону про СЕО). У проаналізованих звітах у двох із семи розглянутих РПУВ вказувалися посилання лише на Національну стратегію та Національний план управління відходами в Україні до 2030 року. Вказані ДДП, безперечно, є безпосередньо пов'язаними з цілями та завданнями будь-якого РПУВ, і мають бути наведеними в першу чергу, проте необхідно звернути увагу на цілу низку інших документів міжнародного, національного та регіонального рівнів, які пов'язані з РПУВ та повинні узгоджуватись із даним ДДП. Серед найбільш вагомих можна вказати такі: Державна стратегія регіонального розвитку на 2021–2027 роки [17], регіональні стратегії сталого розвитку, Концепція реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року [18] (прийнята пізніше, ніж були розроблені деякі з проаналізованих РПУВ), Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року [19], Концепція розвитку сільських територій (2015 р.) [20] та план заходів з її реалізації (2017 р.) [21].

При наведенні характеристики поточного стану довкілля, умов життєдіяльності населення та стану його здоров'я на територіях, які ймовірно зазнають впливу (абзац 4, п. 2, ст. 11 Закону «Про стратегічну екологічну оцінку»), виконавці СЕО, як правило, зазначали інформацію про основні компоненти довкілля, проте такі важливі складові, як характеристики природно-ресурсного потенціалу, рекреаційних ресурсів, тощо залишалися поза увагою. В таблиці 1 наведено порівняльну характеристику компонентів довкілля та інших аспектів, які в проаналізованих звітах було висвітлено в рамках розділу «Характеристика стану довкілля, умов життєдіяльності населення та стану його здоров'я на територіях, які ймовірно зазнають впливу».

Як бачимо, найбільш часто розробники звітів про СЕО РПУВ розглядають поточний стан таких компонентів довкілля, як атмосферне повітря та водні ресурси (в усіх проаналізованих випадках). Обмеженість включення до документів описів стану лісових, рекреаційних ресурсів, надр тощо можна пояснити нерелевантністю даної інформації для СЕО ДДП в сфері управління відходами, або відсутністю

**Ступінь висвітлення характеристики довкілля та його компонентів  
у проаналізованих звітах про СЕО РПУВ**

Компонент довкілля	РПУВ по областях						
	Вінницька	Волинська	Хмельницька	Дніпропетровська	Чернігівська	Київська	Сумська
Загальна інформація про регіон		+		+	+	+	
Атмосферне повітря	+	+	+	+	+	+	+
Клімат (метеорологічні умови), зміни клімату	+		+	+		+	
Водні ресурси	+	+	+	+	+	+	+
Земельні ресурси та ґрунти	+		+	+	+	+	+
Лісові ресурси					+	+	+
Відходи	+	+ <sup>1</sup>	+	+		+	+
Біорізноманіття (флора, фауна), природно-заповідний фонд, природні середовища існування	+	+	+		+	+	+
Надра						+	+
Екологічна безпека / Техногенна небезпека						+	+
Природно-ресурсний потенціал				+			
Рекреаційні ресурси та розвиток курортних зон, туризму	+						
Соціально-економічний стан			+				
Здоров'я населення	+	+	+	+	+	+	+ <sup>2</sup>

Примітки:

<sup>1</sup> розглянуто тільки побутові та промислові відходи;

<sup>2</sup> питання здоров'я населення в загальному, недеталізованому вигляді розкриваються в іншому розділі документу.

чи суперечливістю даних для такого опису (хоча, це варто було б зазначити в тексті звіту про СЕО). Викликає подив у деяких випадках відсутність або поверхневість опису сфери поводження з відходами в регіоні, оскільки ці характеристики безпосередньо належать до області досліджень. Щодо прогнозних змін стану довкілля, то, як правило, ця інформація подається в узагальненому вигляді, недеталізовано, без вказання найбільш ймовірних тенденцій та трендів. У цілому, як свідчать результати аналізу, питання прогнозування можливих змін навколишнього середовища в стратегічних документах перебуває, як правило, на низькому рівні.

СЕО являє собою процес, що покликаний забезпечити адекватний всебічний аналіз екологічних аспектів при підготовці певних планів і програм. Однак, у розділі, присвяченому екологічним проблемам, у тому числі ризикам впливу на здоров'я населення (абзац 5, п. 2, ст. 11 Закону "Про стратегічну екологічну оцінку"), в проаналізованих звітах про СЕО в багатьох випадках висвітлюються лише проблеми, пов'язані безпосередньо з функціонуванням сфери поводження з відходами, зокрема: переповнення місць захоронення твердих побутових відходів, недостатня кількість місць видалення відходів, змішування різних типів відходів, наявність об'єктів накопичення небезпечних відходів та інші (табл. 2).

Перелічені проблеми, безумовно, призводять до низки негативних впливів на довкілля, але по суті є скоріше недоліками наявних систем поводження з відходами та, у деяких випадках, порушення чинних природоохоронних вимог до них.

Водночас, в деяких звітах про СЕО характеризуються окремі проблеми впливу систем поводження з відходами на компоненти довкілля – гідросферу, атмосферу, біосферу. Зокрема, звертається увага на такі проблеми як висока забрудненість осадів міських стічних вод патогенними мікроорганізмами, вплив мулових майданчиків на стан атмосфери, накопичення заборонених і непридатних до використання хімічних засобів захисту рослин, забруднення підземних вод у місцях накопичення відходів, проблеми збереження об'єктів природно-заповідного фонду (ПЗФ) тощо. Слід відзначити, що лише в одному з проаналізованих звітів в розділі з описом екологічних проблем, було згадано можливий вплив на зміну клімату через збільшення обсягів викидів парникових газів, проте детальних оцінок не наведено.

Варто відмітити також необхідність врахування й інших екологічних проблем, пов'язаних з поводженням з відходами в регіоні, зокрема проблеми нераціонального використання територій, недотримання СЗЗ об'єктів поводження з відходами та ін.

## Екологічні проблеми, що аналізувалися в звітах про СЕО РПУВ

Екологічні проблеми	РПУВ по областях						
	Вінницька	Волинська	Хмельницька	Дніпропетровська	Чернігівська	Київська	Сумська
1	2	3	4	5	6	7	8
Проблеми в сфері управління відходами							
Переповнення місць захоронення ТПВ	+	+	+	+			+
Недостатня кількість місць видалення відходів	+						
Змішування різних типів відходів	+	+		+	+	+	+
Відсутність ефективних заходів, спрямованих на запобігання утворенню, перероблення, утилізацію, знешкодження та екологічно безпечне видалення, збільшення обсягів накопичення відходів			+		+	+	
Наявність об'єктів накопичення відходів (в тому числі небезпечних, багатотоннажних) – в золошлаковідвалах, на полях фільтрації, в худобомогильниках, біотермічних ямах – в т.ч. в незадовільному стані	+	+	+	+		+	+
Наявність безхазяйних небезпечних відходів в незадовільному або близькому до незадовільного стані	+						
Відсутність актуальної та достовірної інформації про різні види відходів	+	+		+			+
Відсутність установок з оброблення / перероблення різних видів відходів	+	+	+		+	+	+
Відсутність системи управління відходами будівництва та знесення	+	+		+			
Відсутність системи управління відходів електричного та електронного обладнання, відпрацьованих батарейок, батарей та акумуляторів	+	+		+	+	+	+
Відсутність системи управління відходами упаковки		+		+			+
Залишення власниками транспортних засобів, які потребують утилізації, у непризначених для цього місцях. Підвищення рівня екологічної небезпеки на прилеглих територіях, де розбирають транспортні засоби без належної інфраструктури							+
Зношеність обладнання (ветсанзаводів)	+					+	
Невідповідність об'єктів поводження з відходами вимогам екологічної та ветеринарно-санітарної безпеки			+			+	+
Низький рівень технічного забезпечення інфраструктури управління деякими видами відходів (медичні)	+	+		+		+	+
Низький рівень контролю за обсягами утворення деяких видів відходів (осад стічних вод)	+	+	+	+			
Низький рівень охоплення послугою з вивезення твердих побутових відходів			+				+
Несанкціоновані звалища			+				
Відсутність моніторингу складу різних типів відходів							+

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5	6	7	8
Перевантаження мулових майданчиків міських очисних споруд, висока забрудненість осаду патогенною мікробіотою та життєздатними яйцями гельмінтів, вплив мулових майданчиків на стан атмосфери							+
Накопичення заборонених і непридатних до використання хімічних засобів захисту рослин					+	+	+
Проблеми системного використання та утилізації золи					+		
Погіршення стану водних ресурсів							
Забруднення водних ресурсів (підземних водоносних горизонтів) у зонах впливу місць видалення відходів			+	+	+	+	
Незадовільна робота каналізаційних очисних споруд					+	+	
Погіршення здоров'я населення							
Негативний вплив на здоров'я людей, особливо тих, що проживають у безпосередній близькості до об'єктів поводження з відходами			+				
Забруднення атмосферного повітря та зміна клімату							
Забруднення повітря в місцях накопичення відходів			+	+			
Вплив на зміну клімату через збільшення обсягів викидів парникових газів			+				
Забруднення ґрунтів							
Забруднення сільськогосподарських земель та інших угідь			+				
Забруднення ґрунтів у зонах впливу місць видалення відходів			+	+			
Проблеми раціонального природокористування							
Негативний вплив на екосистеми			+				
Надмірне використання природних ресурсів,			+				
Проблеми збереження об'єктів природно-заповідного фонду					+		

Оцінку наслідків для довкілля виконано в усіх без винятку проаналізованих звітах про СЕО РПУВ відповідно вимог (абзац 7, п. 2, ст. 11 Закону «Про стратегічну екологічну оцінку»), проте підходи та глибина оцінки по звітах відрізнялися. В усіх звітах було проведено якісну експертну оцінку ймовірних негативних і позитивних впливів для всіх компонентів довкілля, результати якої ми згрупували за такими категоріями:

- 1) якісна оцінка показала можливість як негативного, так і позитивного впливу;
- 2) якісна оцінка показала відсутність ймовірного негативного впливу;
- 3) якісна оцінка показала не лише відсутність ймовірного негативного впливу, але й пом'якшення ситуації.

Результати якісної оцінки наслідків для довкілля по всіх його компонентах узагальнено в таблиці 3.



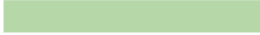
Як бачимо з таблиці, майже в усіх звітах про СЕО РПУВ передбачена наявність ймовірних негативних впливів на атмосферне повітря через створення об'єктів інфраструктури оброблення відходів, збільшення автопарку сміттєвозів, збільшення обсягів та відстаней транспортування відходів (зокрема, через збільшення охоплення населення послугою із вивезення відходів та транспортування відходів в межах кожного кластеру).

Вплив на сферу управління відходами в досліджених звітах про СЕО РПУВ в цілому оцінено як позитивний, хоча в окремих випадках висунуто припущення про ймовірне збільшення кількості утворених чи накопичених промислових відходів, побутових відходів (як ефект від зростання сфери охоплення послугою з поводження з відходами), а також про ймовірний негативний вплив від спорудження об'єктів поводження з відходами (для таких

## Результати якісної оцінки наслідків для довкілля

	РПУВ по областях						
	Вінницька	Волинська	Хмельницька	Дніпропетровська	Чернігівська	Київська	Сумська
Атмосферне повітря							
Зміна клімату							
Водні ресурси							
Земельні ресурси							
Відходи							
Природно-ресурсний потенціал						не оцінов.	
Об'єкти природно-заповідного фонду, екомережа та біорізноманіття							
Рекреаційні ресурси, культурна спадщина							
Населення та інфраструктура							
Екологічне управління та моніторинг							
Суттєве порушення якості природного середовища							

Умовні позначення:

	Якісна оцінка показала можливість як негативного, так і позитивного впливу
	Якісна оцінка показала відсутність ймовірного негативного впливу
	Якісна оцінка показала не лише відсутність негативного впливу, але й покращення ситуації

об'єктів зазначено необхідність проведення оцінки впливу на довкілля).

У деяких випадках ймовірність негативного впливу планованої діяльності зазначено також для таких складових як зміна клімату, земельні ресурси та природно-ресурсний потенціал.

Інші сфери та компоненти довкілля в усіх проаналізованих звітах про СЕО РПУВ характеризуються відсутністю негативних впливів, а у більшості випадків і покращенням ситуації після впровадження планованої діяльності.

Разом з тим, на нашу думку, деякі ймовірні впливи від планованих операцій поводження з відходами в проаналізованих звітах розглянуті недостатньо. Зокрема, в деяких РПУВ йдеться про об'єкти поглибленого перероблення відходів (або їх аналоги) – можна припустити, що йдеться саме про комплекси механіко-біологічного перероблення відходів, а також спорудження нових чи переобладнання існуючих полігонів для захоронення відходів. Ці об'єкти є джерелами надходження в повітря, ґрунт та воду в тому числі (разом з розглянутими парниковими газами) фосфору, аміаку та азоту, що сприяє процесу евтрофікації [22].

Створення регіональних об'єктів поводження з відходами (полігонів, переробних комплексів)

може призвести до їх масштабування, збільшення розмірів, в результаті чого відповідно збільшується площа земель, які необхідно зайняти, та площа санітарно-захисних зон таких об'єктів.

Вплив на водні ресурси в усіх проаналізованих звітах був оцінений як позитивний і, навіть, із покращенням ситуації. Проте, будівництво та експлуатація регіональних полігонів, об'єктів поглибленого перероблення відходів може створювати ризики забруднення підземних і поверхневих вод, що має бути відображено принаймні як “наявність ймовірного негативного впливу”.

Об'єкти поводження з відходами є традиційним середовищем існування деяких видів дрібних тварин і, особливо, птахів, тому збільшення кількості об'єктів інфраструктури управління відходами, ймовірно, може спричинити перебудову структури екосистем, зміну їх кількісного, видового складу та міграційної поведінки, а також шляхів біогенної міграції речовин, що містяться у відходах.

Кількісні оцінки впливу планованої діяльності в проаналізованих звітах про СЕО РПУВ застосовано обмежено. Для напряму зміни клімату лише в одному звіті було представлено результати розрахунків обсягів утворення парникових газів у місцях захоронення відходів. Для земельних ресурсів також

лише в одному звіті було наведено кількісні значення очікуваних результатів реалізації РПУВ щодо очищення та реабілітації земельних ділянок. У сфері відходів в усіх звітах було визначено кількісні параметри очікуваних результатів реалізації РПУВ в сфері управління відходами – на скільки відсотків планується збільшення обсягів перероблених відходів різних видів, зменшення обсягів захоронення тощо. У ході оцінки впливу на природно-ресурсний потенціал розробники двох звітів навели кількісні показники очікуваних результатів реалізації РПУВ щодо перероблення відходів. У деяких планах зазначено, що кількісні значення очікуваного зниження викидів визначити неможливо внаслідок значних невизначеностей відносно параметрів проектів.

Опис наслідків для довкілля у вказаних документах проведено здебільшого по компонентам навколишнього середовища та окремим напрямкам діяльності: атмосферне повітря, кліматичні зміни, водні ресурси, відходи, земельні ресурси, об'єкти ПЗФ, екомережа, біорізноманіття, рекреаційні зони, культурна спадщина, населення та інфраструктура, екологічне управління та моніторинг, та інші. В окремих випадках опис наслідків наведено по стадіям впровадження заходів РПУВ (наслідки під час виконання робіт зі створення об'єктів інфраструктури поводження з відходами, наслідки від транспорту, тощо). Також є приклади, коли наслідки реалізації ДДП для довкілля не деталізовано. При цьому наголошено, що вони не будуть перевищувати нормативно-допустимих рівнів. Також викликають сумніви деякі результати такого аналізу, зокрема повна відсутність негативних наслідків при реалізації регіонального плану управління відходами (Волинська область), або наслідків для якості повітря (Дніпропетровська область), що є дискусійним питанням. Крім того, Закон України «Про стратегічну екологічну оцінку» вимагає подавати «опис наслідків для довкілля, у тому числі для здоров'я населення, у тому числі вторинних, кумулятивних, синергічних, коротко-, середньо- та довгострокових, постійних і тимчасових, позитивних і негативних наслідків»). Таку класифікацію та деталізацію наслідків впливу ДДП подано не в усіх випадках, що може бути свідченням недостатньо глибокого аналізу документу та можливого впливу визначених в ньому заходів.

Щодо обґрунтування вибору виправданих альтернатив (абзац 9, п. 2, ст. 11 Закону «Про стратегічну екологічну оцінку»), то в п'яти з семи проаналізованих звітів про СЕО розглядалися всього два варіанти, один з яких – коли РПУВ буде затверджено, а інший – так званий «нульовий сценарій», коли документ не розроблено або не затверджено (продовження існуючої практики без розробки та затвердження ДДП). У двох звітах (для Вінницької та Сумської областей) розробники вказали більше двох варіантів: нульовий сценарій, базовий сценарій, альтернативи другого рівня. Таким чином, до

плану, що розглядається, розробники у більшості випадків наводять переважно лише одну альтернативу – варіант 'business as usual', що суперечить чинному нормативно-методичному забезпеченню СЕО, зокрема в частині обґрунтування обрання саме цього ДДП серед інших виправданих альтернатив. У складі звіту про СЕО рекомендується розглянути альтернативні сценарії, які можуть містити відповідно альтернативні пріоритети і цілі розвитку, альтернативні шляхи досягнення обраних цілей і пріоритетів, альтернативні шляхи просторового розвитку [7].

Серед ускладнень, з якими стикались виконавці під час проведення СЕО, деякими розробниками вказано труднощі у зв'язку з недостатністю та якістю даних, відсутністю досвіду реалізації окремих заходів в Україні.

На наш погляд, ще одним важливим аспектом проаналізованих звітів є недостатність висвітлення зв'язку запланованої діяльності з цілями сталого розвитку. За своєю сутністю РПУВ за замовчуванням націлені на досягнення цілей 9 Промисловість, інновації та інфраструктура, 11 Сталий розвиток міст і громад, 12 Відповідальне споживання і виробництво, про що має бути сказано в звітах про СЕО. Але, разом з тим, якщо РПУВ передбачають зниження обсягів утворення відходів за рахунок впровадження систем роздільного збору, ліквідацію несанкціонованих звалищ, покращення умов зберігання і транспортування відходів, ці заходи сприяють також збереженню компонентів довкілля і, таким чином, наближують досягнення інших цілей сталого розвитку – 6 Чиста вода та належні, санітарні умови, 13 Пом'якшення наслідків зміни клімату, 15 Захист і відновлення екосистем суші та інших.

#### Головні висновки

1. Аналіз семи обраних звітів про СЕО показав, що їх зміст загалом відповідає вимогам та рекомендаціям, визначеним у нормативних документах, проте питання зв'язку РПУВ з іншими ДДП, у тому числі з тими, що стосуються зміни клімату й адаптації, опису компонентів стану довкілля на територіях, які ймовірно зазнають впливу, охоплення кола екологічних проблем, у тому числі ризиків впливу на здоров'я населення, опису наслідків для компонентів довкілля та пом'якшення наслідків зміни клімату в СЕО висвітлюються недостатньо глибоко.

2. Зважаючи на те, що під час опису зв'язку РПУВ з іншими ДДП більшість розробників посиляються виключно на Національну стратегію та Національний план управління відходами в Україні до 2030 року, доцільним є приділення уваги низці інших важливих документів міжнародного, національного та регіонального рівнів, що спрямовані на вирішення важливих екологічних питань та екологічно збалансованого розвитку територій, в тому числі таких, що стосуються тематики ДДП опосередковано. Це дозволить забезпечити комплексність

підходів та знизити ризики неузгодженості окремих стратегічних цілей.

3. У рамках опису поточного стану довкілля розробники здебільшого наводять узагальнену характеристику компонентів довкілля на основі аналізу літературних джерел. При цьому спостерігається дисбаланс повноти та комплексності характеристики основних складових довкілля. Найбільш детально, як правило, охарактеризовано стан атмосферного повітря та водних ресурсів, проте характеристика ґрунтів, лісових, рекреаційних ресурсів, надр, загальної екологічної безпеки, природно-ресурсного потенціалу включається в звіти достатньо обмежено, а в деяких з них взагалі не представлена. Важливим видається більш детальне включення питань прогнозування можливих змін навколишнього середовища в стратегічних документах, яке зазвичай подається також в узагальненому вигляді без розгляду можливих сценаріїв і ймовірних тенденцій.

4. У складі опису екологічних проблем, у тому числі ризиків впливу на здоров'я населення, розробники звітів здебільшого концентрують увагу на проблемах, пов'язаних безпосередньо з функціонуванням сфери поводження з відходами, в той час як проблеми якості компонентів довкілля висвітлюються з меншим рівнем деталізації та доказовості. Здебільшого оцінки у звітах є якісними, в основі яких лежать припущення. Наведені в окремих звітах кількісні оцінки виглядали би переконливіше, достовірніше і прозоріше, якби містили пояснення або посилання на джерела отриманих даних. У звітах здебільшого не розглядаються конкретні питання

внеску сфери поводження з відходами у зміну клімату, цілі та можливі підходи зі скорочення викидів вуглецю. В розглянутих звітах констатувалося зниження викидів вуглецю, проте, зазвичай, не наведено конкретних моделей, що дозволили отримати числові значення та не наведено механізмів забезпечення такого скорочення.

5. На наш погляд, також серед недоліків проаналізованих звітів є недостатність висвітлення зв'язку з цілями сталого розвитку, на які доцільно посилається при розгляді ключових складових звіту.

6. Розгляд можливих альтернатив обмежується, як правило, лише двома сценаріями – прийняття чи не прийняття певного РПУВ, що суперечить чинному нормативно-методичному забезпеченню стратегічної екологічної оцінки. З нашої точки зору доцільно розглядати в якості виправданих альтернатив в контексті екологічної оцінки як “нульовий” сценарій, так і альтернативи, запропоновані в самому РПУВ, а також інші, зокрема альтернативи просторового розміщення запланованих об'єктів поводження з відходами.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати даного дослідження доцільно використовувати для удосконалення звітів CEO, для підвищення ступеня комплексності і об'єктивності оцінок. Дослідження доцільно розвивати в напрямі розроблення методичних підходів щодо отримання параметрів кількісних показників для оцінювання якості компонентів довкілля та внеску сфери поводження з відходами у зміну клімату, що підвищить достовірність, прозорість отриманих результатів та обґрунтованість висновків.

### Література

1. Principles B. Assessing sustainable development: principles in practice. IISSD. Canada, 1997. 175 p.
2. Білорус О.Г., Мацейко Ю.М. Глобальна перспектива і сталий розвиток. Київ. МАУП. 2005. 496 с.
3. Solid waste management. UNEP. URL: <https://www.unep.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/cities/solid-waste-management>
4. Про управління відходами : Закон України від 20.06.2022 р. № 2320-20 / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text> (дата звернення 15.03.2023).
5. Про стратегічну екологічну оцінку : Закон України від 13.12.2022 р. № 2849-IX / Верховна рада України URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2354-19#Text> (дата звернення 15.03.2023).
6. Стратегія екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату в Україні до 2030 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 21.10.2021 р №1363-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1363-2021-%D1%80#Text> (дата звернення 15.03.2023).
7. Методичні рекомендації із здійснення стратегічної екологічної оцінки документів державного планування : Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України від 10.08.2018 р. № 296 URL: [https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2019/04/MR-provedennya-SEO\\_iz-zminami.pdf](https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2019/04/MR-provedennya-SEO_iz-zminami.pdf) (дата звернення 02.03.2023).
8. Постатейний коментар до Закону України «Про стратегічну екологічну оцінку» / С. Шутяк [за заг. ред. О. Кравченко]. Видавництво «Компанія “Манускрипт”». Львів, 2019. 128 с. URL: [http://epl.org.ua/wp-content/uploads/2020/01/2632\\_EPL\\_Komentar\\_CEO\\_NET\\_SAIT.pdf](http://epl.org.ua/wp-content/uploads/2020/01/2632_EPL_Komentar_CEO_NET_SAIT.pdf)
9. Стратегічна екологічна оцінка : метод. реком. для слухач. / [уклад. : Г. Б. Марушевський, О. В. Берданова]. К. : К.І.С., 2014. 44 с. URL: [http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2016/Marush\\_2014\\_47.pdf](http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2016/Marush_2014_47.pdf)
10. Козаченко Т. П. Стратегічна екологічна оцінка в Україні: проблеми та перспективи. *Інвестиції: практика та досвід*. 2018. № 16. С. 98–101. URL: <http://www.investplan.com.ua/?op=1&z=6255&i=18>
11. Чернихівська А. В. Стратегічна екологічна оцінка документів державного планування – вектор сталого розвитку на місцевому рівні. *Економічний простір*, № 161. 2020. С. 110–113. DOI: <https://doi.org/10.32782/2224-6282/161-20>
12. Стратічук Н.В. Проблематика запровадження стратегічної екологічної оцінки. *Таврійський науковий вісник*, № 107. 2019. С. 352–358. DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.107.47>



13. Стратічук Н.В. Впровадження стратегічної екологічної оцінки як інструменту управління соціально-екологічним розвитком регіонів. *Таврійський науковий вісник*, № 1. 2021. С. 55-61. <https://doi.org/10.32851/tmv-pub.2021.1.9>
14. Strategic environmental assessment and climate change: guidance for practitioners. Environment Agency. 2011.13p. URL: [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/297039/geho0811buc-a-e-e.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/297039/geho0811buc-a-e-e.pdf)
15. Salhofer S., Wassermann G., Binner E. Strategic environmental assessment as an approach to assess waste management systems. Experiences from an Austrian case study. *Environmental Modelling and Software*, 22(5). 2007. P. 610–618. DOI:10.1016/j.envsoft.2005.12.031
16. Fischer T.B., Potter K., Donaldson S., Scott T. Municipal waste management strategies, strategic environmental assessment and the consideration of climate change in England. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, Vol. 13, № 4. 2011. P. 541–565. <https://doi.org/10.1142/S1464333211004000>
17. Державна стратегія регіонального розвитку на 2021 – 2027 роки : Постанова Кабінету Міністрів України від 5.08. 2020 р. № 695. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/695-2020-%D0%BF#Text> (дата звернення 25.03.2023).
18. Концепція реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 07.12.2016 р № 932-р. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npras/249573705> (дата звернення 25.03.2023).
19. Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року : указ Президента України від 30.09.2019 р. № 722/2019 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text> (дата звернення 05.03.2023).
20. Концепція розвитку сільських територій : Розпорядження Кабінету Міністрів України від від 23 вересня 2015 р. № 995-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995-2015-%D1%80#Text> (дата звернення 05.03.2023).
21. План заходів з реалізації Концепції розвитку сільських територій, Розпорядження Кабінету Міністрів України від 19 липня 2017 р. № 489-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/489-2017-%D1%80#Text> (дата звернення 22.03.2023).
22. Bates J. Environmental Impacts Of Managing Residual Municipal Solid Waste. The IEA Bioenergy Technology Collaboration Programme. P. 1–15. URL: [https://task36.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/34/2016/06/Chapter\\_3\\_Final.pdf](https://task36.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/34/2016/06/Chapter_3_Final.pdf)

---

# ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ВОЄННИХ ДІЙ В УКРАЇНІ

---

УДК 504.778.28.5

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.2-47.39>

## ВПЛИВ ВОЄННИХ ДІЙ НА ВОДНЕ, ГРУНТОВЕ ТА ПОВІТРЯНЕ СЕРЕДОВИЩЕ УКРАЇНИ

Кратко О.В., Головатюк Л.М., Бондаренко Т.Є.

Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія імені Тараса Шевченка  
вул. Олени Теліги, 3, 47003, м. Кременець  
[kratkoolya@gmail.com](mailto:kratkoolya@gmail.com)

В результаті вторгнення російської федерації наша природа зазнає колосальної шкоди. На сьогоднішній день окупантами знищено природних угідь площею понад 397,7 тис. га., близько 44% території України знаходиться під впливом агресора. Це стосується, перш за все, узбережжя Азовського та Чорного морів, а також територій у нижній течії річок Дунаю та Дніпра. Під загрозою знищення знаходяться близько 200 територій Смарагдової мережі площею 2,9 млн га. Наразі внаслідок російської агресії постраждали понад 20 природно-біосферних заповідників і національних природних парків. Збитки на заповідних територіях України важко оцінити. Зазвичай під антропогенним чи техногенним впливом ми розуміємо певні екозлочини і на основі ґрунтового аналізу геологічних сфер, біоти можна говорити про масштаби завданої шкоди для певної території та можливі екологічні ризики. У статті проаналізовано вплив воєнних дій на геологічні середовища території України, зокрема – водне середовище, ґрунтове та повітряне; ряд міжнародно-правових документів які регламентують використання та охорону природного середовища. Вказані найпоширені види забруднень, деградації внаслідок воєнної агресії та названі алгоритми щодо відновлення та попередження можливих екологічних ризиків. Проаналізовано сучасний стан геологічних сфер та названі найбільш поширені токсичні, небезпечні речовини які призводять до деградацій та числених порушень, впливають як на біоту так і на здоров'я людини. Вплив російської агресії на довкілля нашої країни і світу вілному є надзвичайно руйнівним. Адже через активні військові дії повітря, вода та ґрунти України зазнають званого забруднення та деградацій. На сьогоднішній день існує нерозривний зв'язок між захистом довкілля та захистом цивільного населення адже безпечне довкілля є запорукою безпеки населення. Реаліями наслідків воєнних дій є пошкоджена інфраструктура, вирубка лісів та забруднення довкілля, проблеми з доступом та якістю водних ресурсів тощо. *Ключові слова:* воєнні дії, атмосфера, гідросфера, літосфера, біота, поверхневі води, геологічні сфери, токсичні речовини, деградації, екосистема, моніторинг.

### **The impact of military actions on the water, soil and air environment of Ukraine. Kratto O., Holovatyuk L., Bondarenko T.**

As a result of the invasion of the Russian Federation, our nature will suffer enormous damage. To date, the occupiers have destroyed more than 397.7 thousand hectares of natural lands, about 44% of the territory of Ukraine is under the influence of the aggressor. This applies, first of all, to the coasts of the Azov and Black seas, as well as the territories in the lower reaches of the Danube and Dnieper rivers. About 200 territories of the Emerald Network with an area of 2.9 million hectares are under threat of destruction. Currently, as a result of Russian aggression, more than 20 natural and biosphere reserves and national natural parks have been affected. It is difficult to assess the damage in the protected areas of Ukraine. Usually, under anthropogenic or man-made influence we understand certain ecocrimes and based on a thorough analysis of geological spheres, biota, we can talk about the extent of the damage caused to a certain area and possible ecological risks. The article analyzes the impact of military actions on the geological environment of the territory of Ukraine, in particular – the water, soil and air environment; a number of international legal documents regulating the use and protection of the natural environment. The most common types of pollution, degradation as a result of military aggression are specified, and the algorithms for restoration and prevention of possible environmental risks are named. The current state of the geological spheres was analyzed and the most common toxic, dangerous substances that lead to degradation and numerous disturbances, affecting both biota and human health, were named. The impact of Russian aggression on the environment of our country and the rest of the world is extremely destructive. After all, due to active military actions, the air, water and soil of Ukraine are subject to known pollution and degradation. Today, there is an inseparable connection between the protection of the environment and the protection of the civilian population, because a safe environment is a guarantee of the safety of the population. The realities of the consequences of military actions are damaged infrastructure, felling forests and environmental pollution, problems with access and quality of water resources, etc. *Key words:* military operations, atmosphere, hydrosphere, lithosphere, biota, surface waters, geological spheres, toxic substances, degradation, ecosystem, monitoring.

**Постановка проблеми.** У статті проаналізовано вплив воєнних дій на геологічні середовища території України, зокрема – водне, ґрунтове та повітряне. Вказані найпоширені види забруднень та названі причини, алгоритми відновлення та попередження

можливих екологічних ризиків. Проаналізовано сучасний стан геологічних сфер та названі найбільш поширені токсичні, небезпечні речовини які призводять до деградацій та числених порушень. Зазвичай під антропогенним чи техногенним впли-

вом ми розуміємо певні екозлочини, де проводяться військові дії і лише на основі ґрунтового аналізу можна говорити про завдану шкоду для цієї території та можливі екологічні ризики. Але при цьому слід враховувати що негативний вплив здійснюється комплексно, впливаючи як на живі організми (знижуючи їх біорізноманіття в результаті гибелі, міграції, непристосованості (стенотермні види) до тих чи інших видів забруднень чи подразнень) так і на живу природу. І з потоками повітря, води токсичні, хімічні речовини можуть поширювати не лише територію України а і далеко поза її межами.

**Актуальність дослідження.** Внаслідок впливу воєнних дій природне середовище України піддається різним видам порушень, таких як фізичним, біологічним та хімічним. виправлення яких потребує багато років або ж і століть. Адже різновиди порушень призводять до зниження якості, деградацій, порушень звичних середовищ існування. В науковій роботі було здійснено обґрунтування загроз, ризиків та викликів, що несуть в собі сучасні антропогенні трансформації довкілля. Було визначено, що рівень екологічної безпеки держави формується у тісному взаємозв'язку із техногенними та іншими екологічними загрозами, які виникають в наслідок негативного впливу з боку загостреної політичної та соціально-економічної ситуації в Україні [4].

*Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.* Сучасний стан поверхневих та підземних вод, атмосферного повітря та ґрунтового середовища України характеризується антропогенним та техногенним тисками різних суб'єктів господарювання та наслідками військових дій. Причиною цього, як правило, є незадовільна робота застарілих очисних споруд адже саме через відсутність належного очищення разом із стоками використаної (забрудненої) води велика кількість токсичних, небезпечних речовин потрапляє у водні об'єкти і з їх потоком поширюється по гідрологічній та гідрографічній мережі не лише України а й світу. Тому дуже важливо систематично та вчасно моніторити кількість (відповідно до ГДК) речовин які потрапляють у середовище та порівнювати їх наявність із попередніми даними [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням стану екологічної безпеки України, а також заходам щодо оптимізації державного управління природоохоронною діяльністю в контексті стимулювання сталого розвитку присвячено праці багатьох науковців [3]. Численні дослідження екологів показали, що у водних об'єктах спостерігається – перевищення вмісту ГДК різних форм азоту, фосфору, сульфатів та нітратів; масштабні розливи нафтопродуктів із підірваних резервуарів від знищеної техніки та інших бойових дій що є повсюдним як для підземних так і поверхневих вод; поширення токсинів у море відповідно до частини другої статті 21 Водного кодексу України Кабінет Міністрів України.

*Новизна.* Проаналізовано вплив воєнних дій на геологічні середовища території України, зокрема – водне, ґрунтове та повітряне. Вказані найпоширені види забруднень, деградації внаслідок воєнної агресії та названі причини, алгоритми відновлення та попередження можливих екологічних ризиків.

*Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.* Види деградацій внаслідок воєнної агресії та причини, алгоритми відновлення та попередження можливих екологічних ризиків.

*Методологічне або загальнонаукове значення.* Доведено важливість систематичного та вчасного моніторингу кількості (відповідно до ГДК) речовин які потрапляють у геологічні середовища та порівнювати їх наявність із попередніми даними з метою попередження можливих екологічних ризиків.

**Викладення основного матеріалу.** Відомий факт, що під час воєнних дій, зокрема, пуску ракет можуть спостерігатися різні види забруднень водних об'єктів, пошкоджені дамби на річкових об'єктах в результаті чого може спостерігатися скид біогенних сполук у природні водойми що може призвести до цвітіння та евтрофікації водойми; зниження рівня насиченості води киснем; підвищення вмісту біогенних і органічних речовин; зростання каламутності води (погіршення органолептичних показників); забруднення патогенними мікроорганізмами, і як наслідок – загрозову дію для здоров'я людини та гідробіонтів що може спричинити як техногенну так і санітарну катастрофи [2]. Відомо, що шкідлива дія токсичних речовин, які потрапляють у водні об'єкти, посилюється за рахунок так званого кумулятивного ефекту. Тому, у фітопланктоні концентрація шкідливої сполуки, як правило виявляється в декілька разів вищою, ніж у воді, у зоопланктоні – в десятки разів вищою, ніж у фітопланктоні, а в рибі, яка харчується зоопланктоном, – ще в десятки разів вищою. В організмі хижих риб концентрація отрути збільшується ще в десять разів і, отже, буде в десять тисяч разів вищою, ніж у воді [2].

Саме тому, вважаємо, важливим та актуальним є пошук нових перспективних технологій очищення стічних вод, що не тільки забезпечать необхідний ступінь очищення, але і будуть нешкідливими для навколишнього середовища. На національному рівні необхідно впровадити зміну у політику та практику, які б забезпечили системний моніторинг та контроль за використанням і забрудненням вод як у сільській так і міській місцевості, а також дозволили б перехід на екологічніше практики господарювання та побуту, надали ширший доступ щодо реальної екологічної ситуації. Аналіз літературних джерел показав, що особливої актуальності сьогодення набувають біологічні методи очищення стічних вод, оскільки вони є економічно вигідними, простими в обслуговуванні, не складними в експлуатації та безумовно екологічно безпечними.

Факторами антропогенного, техногенного впливу на земельні ресурси є: забруднення ґрунтів, зокрема, радіонуклідами, важкими металами нафти, нітроароматичними вибуховими речовинами, діоксинами з гербіцидів тощо; діяльність промисловості (відбувається порушення земель на значних площах, що призводить до деградації); ущільнення внаслідок будівництва оборонної інфраструктури, рух техніки та військ, утворення вирв [3].

Дослідження екологічних організацій на території Донецької області показали, що внаслідок воєнних дій мають місце забруднення ґрунтів важкими металами – свинцем, стронцієм, титаном, ванадієм, кадмієм, марганцем, нікелем. Для виключення природного поширення цих металів проаналізовано фонові проби.

Для природного відновлення земельних ресурсів від забруднення важкими металами необхідно сотні років. А проведення рекультивації забруднених та порушених земель можливе лише в мирних умовах. Екологи мають надію, що такі умови з'являться в найближчій перспективі. Адже суб'єктивна мотивація ситуації, що склалася чи амбіції однієї або кількох людей може обійтися для наших нащадків жорстокими та непередбачуваними наслідками.

Антропогенний, техногенний вплив на повітряну оболонку нашої планети є колосальним що може у найближчому майбутньому спричинити техногенну катастрофу яка згубно чинитиме вплив на людство та біоту. Тому надзвичайно гостро перед екологами, кожною державою повинно стояти питання системного та глобального моніторингу атмосфери, ІЗА, адже з потоками повітря токсичні речовини швидко поширюються вступають у синтетичні з'єднання, накопичуються у геологічних сферах, організмах людей та тварин [4].

Загальновідомі причини згаданих порушень, зокрема: велика кількість підприємств із застарілим обладнанням та технологією; відсутність сучасних фільтрів та інших систем очищення повітря від шкідливих речовин, вловлювання пилу; недостатнє фінансування та стимулювання заходів щодо зменшення викидів; велика чисельність транспортних засобів; погіршення якості дорожнього покриття; викидів доменних печей; забруднення токсичними газами які потрапляють в результаті артилерійських обстрілів та численних вибухів (гемоглобін насичується чадним газом що призводить до утворення карбогемоглобіну і в результаті пригнічує транспортування кисню (гіпоксія); оксиди азоту спричиняють подразнення слизових оболонок); забруднення оксидами сірки та нітрогену що призводить до глобальної екологічної проблеми – кислотних дощів тощо [5].

На основі вищесказаного та аналізу численних літературних джерел, наукових публікацій, результатів дослідження повітряного басейну дійшли висновків, що враховуючи сьогоднішні реалії необ-

хідні автоматизовані пункти моніторингу; не можна переносити терміни реалізації Національного плану щодо скорочення викидів від великих спалювальних установок; запровадити загальнообов'язкове використання найкращих доступних технологій та методів очистки викидів тощо.

**Головні висновки.** Проаналізувавши ряд міжнародно-правових документів можна зробити висновки, що кожна країна по своєму регулює масштабність техногенного та антропогенного тиску на природне середовище проте на сьогоднішній день не існує, на жаль, уніфікованого, міжнародного регулювання впливів воєнних дій на довкілля. Саме наявність якого, вважаємо, забезпечило б кращий результат захисту природного середовища та вчасне передбачення можливих екологічних ризиків [7].

В Україні запроваджено екологічну політику з метою запобігання, передбачення невидимих впливів воєнних дій на природне середовище. Проте екологи систематично стикаються із проблемами відсутності або ж недостатнього фінансування для відновлення, об'єктивного оцінення об'єктів довкілля, визначення можливих ризиків внаслідок воєнної агресії та можливостей їх вирішення [7].

Аналіз правового врегулювання тиску воєнних дій на природне середовище показав – фрагментарність, ряд помилок та неточностей. Вважаємо, що про безпеку населення та стан довкілля держава зобов'язана піклуватися як під час планового навчання так і під час воєнних дій. Військові ж у свою чергу – виконувати та дотримуватися усіх правових документів щодо захисту та безпеки суспільства та довкілля [7].

Варто згадати факти аналітичного центру EMBER що зокрема вугільні електростанції країни є лідерами за викидами  $SO_2$  та зольного пилу в Європі. А за даними Всесвітньої організації охорони здоров'я про смертність та тягар хвороб, через забруднення атмосферного повітря в Україні щороку втрачається 2 538 років життя людей, із урахуванням інвалідності, на 100 000 осіб – це найбільша кількість у Європі [6].

Отже, висока концентрація промислового, сільськогосподарського виробництва, транспортної інфраструктури в поєднанні із наслідками воєнних дій, значною щільністю населення створили величезне навантаження на біосферу змінивши потоки речовин у геологічних сферах, порушивши колообіги речовин. Довкілля є невидимою стороною війни. У регулюванні впливу війни на довкілля є важливим міжнародний досвід. Наслідки військової російської агресії на території України є руйнівними. Особливої шкоди внаслідок цих військових дій зазнає навколишнє природне середовище як України так і світу вілому. Відомо, що безпечне довкілля є основою національної безпеки а також запорукою економічного розвитку та безперечною складовою

здоров'я і добробуту населення. Тому планування щодо повоєнного відновлення України має здійснюватися із обов'язковим урахуванням довкіллявого компоненту [7].

**Перспективи використання результатів дослідження.** Матеріали публікації доречно використовувати для подальших досліджень впливу воєнних дій на навколишнє природне середовище.

#### Література

1. Економічне відродження через індустріальний розвиток України. Харків: Повноколір, 2020. 432 с.
2. Кратко О.В., Головатюк Л.М. Аналіз та оцінка поверхневих вод водної мережі Кременецького району. Екологічні науки: науково-практичний журнал. К.: Видавничий дім «Гельветика», 2021. № 7 (34). С. 157–162.
3. Кратко О.В., Кратко С.В. Сучасний стан лісових ресурсів України в умовах війни. The 8th International scientific and practical conference "Trends, theories and ways of improving science" (February 28 – March 03, 2023) Madrid, Spain. International Science Group. 2023. S. 63–66.
4. Кратко О.В., Мунтян Л.Я., Демчук Л.І. Екологічна безпека України в контексті сталого розвитку. К.: Редакція науково-практичного журналу «Екологічні науки», Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління Міністерства екології та природних ресурсів України «Екологічні науки» № 34. С. 219–225.
5. Кратко О.В. Екологізація сучасного виробництва. Подільські читання: Всеукраїнська науково-практична конференція (Кременець, 12–13 жовтня 2017 року). Кременець: ВЦ КОГПА ім. Тараса Шевченка, 2017. С. 89–91.
6. Babintseva L.Y., Vydyborets S.V., Hlazunov O. V., Kratko O. V. Science for modern man. Europäische Wissenschaft. Wissenschaft für den modernen Menschen: physik, mathematik, chemie, medizin, biologie, ökologie, landwirtschaft, geologie. Germany, 2021. Buch 4. Teil 5. S. 155–163.
7. Кратко Ольга Вікторівна, Кратко Сергій Володимирович. Вплив воєнних дій на навколишнє природне середовище України. V Міжнародна науково-практична конференція «Prospects of modern science and education», 07–10 лютого 2023 р., Стокгольм, Швеція. С. 63–67.

---

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

---

**Алексєєва Анна Олександрівна (Миколаїв)** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Чорноморський національний університет імені Петра Могили;

**Барановський Борис Олександрович (Дніпро)** – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, Науково-дослідний інститут біології, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

**Басараба Ілона Василівна (Рівне)** – здобувачка PhD зі спеціальності 101 – Екологія, Рівненський державний гуманітарний університет;

**Безпальченко Віолета Михайлівна (Хмельницький)** – кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри загальноосвітніх гуманітарних та природничих дисциплін, секція хімії, екології та безпеки життєдіяльності, Херсонський національний технічний університет;

**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;

**Бистрянцева Анастасія Миколаївна (Київ)** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри математики та фізики, Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут;

**Бойко Людмила Іванівна (Кривий Ріг)** – кандидат біологічних наук, в.о. директора, старший науковий співробітник, Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України;

**Бондар Олександр Іванович (Київ)** – доктор біологічних наук, професор, член-кореспондент Національної академії аграрних наук України, заслужений діяч науки і техніки України, ректор, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

**Бондаренко Тетяна Євгенівна (Кременець)** – кандидат педагогічних наук, викладач кафедри біології, екології та методик їх навчання, Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія імені Тараса Шевченка;

**Буровицька Юлія Миколаївна (Миколаїв)** – аспірант кафедри екології, Чорноморський національний університет імені Петра Могили;

**Валерко Руслана Анатоліївна (Житомир)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

**Василенко Ольга Миколаївна (Житомир)** – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та географії, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

**Венгер Олена Олексіївна (Хмельницький)** – кандидат технічних наук, доцент, в.о. завідувача кафедри загальноосвітніх гуманітарних та природничих дисциплін, Херсонський національний технічний університет;

**Вітер Олександр Віталійович (Житомир)** – студент I курсу магістратури факультету лісового господарства та екології, Поліський національний університет;

**Волошина Наталія Олексіївна (Київ)** – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри екології, Український державний університет імені Михайла Драгоманова;

**Гарбар Діана Анатоліївна (Житомир)** – кандидат біологічних наук, доцент кафедри зоології, біологічного моніторингу та охорони природи, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

**Гаур Апурва (Нью-Делі, Індія)** – M.Sc., консультант, Міністерство навколишнього середовища, лісів та зміни клімату;

**Гафіяк Ольга Василівна (Ужгород)** – аспірантка кафедри ентомології та збереження біорізноманіття, Ужгородський національний університет;

**Герасимчук Людмила Олександрівна (Житомир)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології, Поліський національний університет;

**Головатюк Людмила Михайлівна (Кременець)** – кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології, екології та методик їх навчання, Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія імені Тараса Шевченка;

**Голуб Ірина Вікторівна (Дніпро)** – асистент кафедри загальної біології та водних біоресурсів, біолого-екологічний факультет, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

**Гончаренко Максим Іванович (Київ)** – начальник навчального відділу з охорони праці Галузевого навчального центру з питань охорони праці, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

**Гордієнко Мальвіна Володимирівна (Житомир)** – студентка IV курсу природничого факультету, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

**Григор'єв Костянтин Володимирович (Миколаїв)** – аспірант кафедри екології, Чорноморський національний університет імені Петра Могили;

**Григор'єва Людмила Іванівна (Миколаїв)** – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри екології, Чорноморський національний університет імені Петра Могили;

**Гудим Надія Георгіївна (Дніпро)** – аспірантка кафедри загальної біології та водних біоресурсів, біолого-екологічний факультет, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

**Гупта Дхармендра Кумар (Нью-Делі, Індія)** – Ph.D., начальник відділу поводження з небезпечними речовинами, Міністерство навколишнього середовища, лісів та зміни клімату;

**Даньків Вікторія Ярославівна (Оброшине)** – кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Інститут сільського господарства Карпатського регіону Національної академії аграрних наук України;

**Демидов Олександр Анатолійович (Центральне)** – доктор сільськогосподарських наук, професор, член-кореспондент НААН, директор, Миронівський інститут пшениці імені В.М. Ремесла Національної академії аграрних наук України;

**Довганенко Денис Олександрович (Дніпро)** – кандидат географічних наук, доцент кафедри географії, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

**Довголап Сергій Дмитрович (Київ)** – аспірант кафедри екології та технології рослинних полімерів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Долінська Наталія Феліксівна (Житомир)** – студентка I курсу магістратури факультету лісового господарства та екології, Поліський національний університет, провідний фахівець відділу економічного розвитку, житлово-комунального господарства та благоустрою Коростишівської міської ради;

**Домарацький Євгеній Олександрович (Миколаїв)** – доктор сільськогосподарських наук, доцент, професор кафедри рослинництва та садово-паркового господарства, Миколаївський національний університет;

**Дрегваль Ігор Володимирович (Дніпро)** – кандидат біологічних наук, доцент кафедри загальної біології та водних біоресурсів, біолого-екологічний факультет, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

**Дрозд Олена Миколаївна (Харків, Сарагоса)** – кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри інженерної екології міст, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова; співпрацюючий дослідник, Estación Experimental de Aula Dei, EEAD-CSIC;

**Дубчак Сергій Валерійович (Ганновер, Німеччина)** – Ph.D., науковий співробітник, Інститут радіоекології та радіаційного захисту Університету Ляйбніца;

**Дядін Дмитро Володимирович (Харків)** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри інженерної екології міст, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова;

**Дятел Олександр Олексійович (Київ)** – кандидат технічних наук, доцент кафедри екологічного аудиту та технологій захисту довкілля, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

**Іваненко Олена Іванівна (Київ)** – доктор технічних наук, викладач кафедри екології та технології рослинних полімерів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Івкіна Єлизавета Сергіївна (Хмельницький)** – студентка II курсу факультету інтегрованих технологій та дизайну, Херсонський національний технічний університет;

**Квасов Володимир Андрійович (Харків)** – кандидат технічних наук, доцент, провідний науковий співробітник сектора засобів і методів моніторингу навколишнього природного середовища лабораторії екологічно безпечного природокористування, засобів і методів моніторингу довкілля, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»;

**Киричук Галина Євгеніївна (Житомир)** – доктор біологічних наук, професор, професор кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

**Ковтун Тетяна Ігорівна (Житомир)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри лісівництва, лісових культур та таксації лісу, Поліський національний університет;

**Козин Марія Сергіївна (Житомир)** – магістрантка кафедри екології та географії, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

**Кордуба Ірина Богданівна (Київ)** – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології, Київський національний університет будівництва і архітектури;

**Коссак Григорій Михайлович (Дрогобич)** – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри біології та хімії, Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка;

**Коцюба Ірина Юрївна (Житомир)** – кандидат біологічних наук, старший викладач кафедри екології та географії, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

**Кратко Ольга Вікторівна (Кременець)** – кандидат історичних наук, доцент кафедри біології, екології та методик їх навчання, Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія імені Тараса Шевченка;

**Кривенко Галина Мирославівна (Івано-Франківськ)** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри техногенно-екологічної безпеки та охорони праці, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;

**Кривенко Галина Мирославівна (Івано-Франківськ)** – кандидат технічних наук, доцент кафедри техногенно-екологічної безпеки та охорони праці, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;

**Кузнєцов Сергій Іванович (Хмельницьк)** – кандидат технічних наук, доцент кафедри загальноосвітніх гуманітарних та природничих дисциплін, секція хімії, екології та безпеки життєдіяльності, Херсонський національний технічний університет;

**Кур'янова Світлана Олександрівна (Одеса)** – здобувач, Одеський державний екологічний університет;

**Курченко Вікторія Олександрівна (Дніпро)** – молодший науковий співробітник, науково-дослідний інститут біології, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

**Кушнір Лілія Сергіївна (Житомир)** – студентка IV курсу природничого факультету, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

**Лубенська Наталія Олександрівна (Бохум, Німеччина)** – Центр пост-майнінгу, Вища технічна школа Георга Агріколи;

**Лук'янова Віталіна Віталіївна (Київ)** – кандидат хімічних наук, доцент кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний транспортний університет;

**Макарова Олена Валеріївна (Миколаїв)** – старший викладач кафедри екології Чорноморський національний університет імені Петра Могили;

**Маренков Олег Миколайович (Дніпро)** – кандидат біологічних наук, доцент кафедри загальної біології та водних біоресурсів, біолого-екологічний факультет, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

**Мартюхін Антон Володимирович (Київ)** – аспірант кафедри екології, Український державний університет імені Михайла Драгоманова;

**Михайлов Сергій Сергійович (Харків)** – аспірант, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»;

**Мітра Аніндіта (Банкур, Індія)** – Ph.D., доцент, Християнський коледж Банкура;

**Мудгал Шивані (Нью-Делі, Індія)** – M.Sc., технічний консультант, Міністерство навколишнього середовища, лісів та зміни клімату;

**Музика Лідія Володимирівна (Житомир)** – кандидат біологічних наук, доцент кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

**Павлишак Ярослава Ярославівна (Дрогобич)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри біології та хімії, Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка;

**Патлашенко Жанетта Іллівна (Київ)** – кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри методології освіти для сталого розвитку, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

**Пикало Сергій Володимирович (Центральне)** – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник відділу біотехнології, генетики і фізіології, Миронівський інститут пшениці імені В.М. Ремесла Національної академії аграрних наук України;

**Пічура Віталій Іванович (Кропивницький)** – доктор сільськогосподарських наук, професор, професор кафедри екології та сталого розвитку імені професора Ю.В. Пилипенка, Херсонський державний аграрно-економічний університет;

**Покшевницька Тетяна Василівна (Київ)** – аспірантка кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний транспортний університет;

**Поліщук Людмила Василівна (Київ)** – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник, Інститут мікробіології і вірусології Національної академії наук України;

**Потравка Лариса Олександрівна (Кропивницький)** – доктор економічних наук, професор, професор кафедри екології та сталого розвитку імені професора Ю.В. Пилипенка, Херсонський державний аграрно-економічний університет;

**Поштаренко Анна Віталіївна (Київ)** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри біотехнології, Національний авіаційний університет;

**Решетняк Людмила Расулівна (Київ)** – кандидат технічних наук, доцент, старший викладач кафедри біотехнології, Національний авіаційний університет;

**Рудаков Леонід Миколайович (Дніпро)** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри водогосподарської інженерії, Дніпровський державний аграрно-економічний університет;

**Салій Ігор В'ячеславович (Київ)** – кандидат технічних наук, директор Галузевого навчального центру з питань охорони праці, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;



**Сапко Ольга Юрївна (Одеса)** – кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри екологічного права та контролю, Одеський державний екологічний університет;

**Сараненко Інна Іванівна (Херсон)** – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри географії та екології, факультет біології, географії та екології, Херсонський державний університет;

**Семенченко Оксана Олександрівна (Хмельницький)** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри загальноосвітніх гуманітарних та природничих дисциплін, секція хімії, екології та безпеки життєдіяльності, Херсонський національний технічний університет;

**Сердюк Світлана Миколаївна (Дніпро)** – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри географії, історичний факультет, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

**Симочко Людмила Юрївна (Ужгород)** – доцент кафедри ентомології та збереження біорізноманіття, Ужгородський національний університет, професор кафедри наук про життя, Коїмбрський університет (Португалія);

**Смоляр Віра Василівна (Київ)** – директор, Науково-дослідний центр екологічної безпеки та природокористування;

**Солошенко Вікторія Сергіївна (Біла Церква)** – молодший науковий співробітник лабораторії насінництва та первинного випробування інтродукованих рослин, Державний дендрологічний парк «Олександрія» Національної академії наук України;

**Степов Євген Борисович (Полтава)** – аспірант кафедри прикладної екології та природокористування, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»;

**Степова Олена Валеріївна (Полтава)** – доктор технічних наук, професор, завідувачка кафедри прикладної екології та природокористування, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»;

**Суслова Олена Петрівна (Кривий Ріг)** – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник відділу інтродукції та акліматизації рослин, Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України;

**Суходольська Ірина Леонідівна (Рівне)** – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології, географії та туризму, Рівненський державний гуманітарний університет;

**Феденко Юрій Миколайович (Київ)** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Фролов Павло Валерійович (Київ)** – голова підкомітету з питань Регламенту Верховної Ради України Комітету Верховної Ради України з питань Регламенту, депутатської етики та організації роботи Верховної Ради України;

**Хандогіна Ольга Вадимівна (Харків)** – кандидат економічних наук, доцент кафедри інженерної екології міст, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова;

**Харченко Михайло Володимирович (Центральне)** – кандидат сільськогосподарських наук, науковий співробітник відділу біотехнології, генетики і фізіології, Миронівський інститут пшениці імені В.М. Ремесла Національної академії аграрних наук України;

**Хом'як Іван Владиславович (Житомир)** – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та географії, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

**Христецька Марія Володимирівна (Світязь)** – аспірант відділу охорони ландшафтів, збереження біорізноманіття і природозаповідання, Інститут агроєкології і природокористування, директор, Шацький національний природний парк;

**Чаттерджи Сумя (Ассам, Індія)** – Ph.D., науковий співробітник, Дослідницька оборонна лабораторія DRDO;

**Чернова Оксана Тарасівна (Івано-Франківськ)** – кандидат технічних наук, доцент кафедри транспортування та зберігання енергоносіїв, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;

**Шахман Ірина Олександрівна (Івано-Франківськ)** – кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри географії та екології, Херсонський державний університет;

**Шривастава Камна (Делі, Індія)** – Ph.D., доцент лабораторії молекулярної кардіології, Центр біомедичних досліджень імені Амбедкара, Делійський університет;

**Юрченко Тетяна Василівна (Центральне)** – кандидат сільськогосподарських наук, завідувачка відділу біотехнології, генетики і фізіології, Миронівський інститут пшениці імені В.М. Ремесла Національної академії аграрних наук України;

**Яковенко Людмила Олексіївна (Київ)** – старший викладач кафедри промислової безпеки та охорони праці, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

**Яковишина Тетяна Федорівна (Дніпро)** – доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури.

Наукове видання

# ЕКОЛОГІЧНІ НАУКИ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

2(47)

- **Екологія і виробництво**
- **Екологія водних ресурсів**
- **Екологія урбосистем**
- **Екологічна безпека**
- **Екологія та економіка природокористування**
- **Екологічний моніторинг**
- **Біологічна безпека**
- **Збереження біологічного і ландшафтного різноманіття**
- **Інноваційні напрямки підвищення безпеки екологічної галузі**
- **Поводження з відходами**
- **Екологічні наслідки воєнних дій в Україні**

Адреса редакції:

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління  
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корпус 2, Київ, 03035;  
тел. +380 99 428 67 00;  
[www.ecoj.dea.kiev.ua](http://www.ecoj.dea.kiev.ua)  
e-mail: [info@ecoj.dea.kiev.ua](mailto:info@ecoj.dea.kiev.ua)

Видавничий дім «Гельветика»

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7623 від 22.06.2022 р.  
Україна, 65101, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1  
Тел. +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08  
E-mail: [mailbox@helvetica.ua](mailto:mailbox@helvetica.ua)

Підписано до друку 25.05.2023. Формат 64x84/8.

Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman. Цифровий друк.  
Ум. друк. арк. 29,30. Тираж 100. Замовлення № 1222/555.  
Ціна договірна. Віддруковано з готового оригінал-макета