

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

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

ЕКОЛОГІЧНІ НАУКИ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

6(57)



Видавничий дім
«Гельветика»
2024

Екологічні науки : науково-практичний журнал / Головний редактор Бондар О.І. – К. :
Видавничий дім «Гельветика», 2024. – № 6(57). – 260 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

Конішук В.В., доктор біологічних наук

Лукаш О.В., доктор біологічних наук

Машков В.А., доктор технічних наук

Михайленко Л.Є., доктор біологічних наук

Нецветов М.В., доктор біологічних наук

Ольшевський С.В., доктор технічних наук

Риженко Н.О., доктор біологічних наук

Рудько Г.І., доктор геолого-мінералогічних наук,

доктор географічних наук, доктор технічних наук

Улицький О.А., доктор геологічних наук

Фінін Г.С., доктор фізико-математичних наук

Шматков Г.Г., доктор біологічних наук

Реєстрація суб'єкта у сфері друкованих медіа: Рішення Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення № 1408 від 25.04.2024 року. Ідентифікатор медіа R30-04036.

На підставі Наказу Міністерства освіти і науки України № 409 від 17.03.2020 р. (додаток 1) журнал внесений до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б») у галузі біологічних наук (091 – Біологія), природничих наук (101 – Екологія, 103 – Науки про Землю) та технічних наук (183 – Технології захисту навколишнього середовища).

Журнал публікує (після рецензування та редагування) статті, які містять нові теоретичні та практичні здобутки в галузі екологічних наук.

Мови розповсюдження: українська, англійська, польська, німецька, французька, іспанська.

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

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

ЗМІСТ

ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНИЙ ФОНД УКРАЇНИ	7
Бондар О.І., Шевченко Р.Ю. Аудит контенту аншлагів природно-заповідних територій України та їх SMART-ресурсів.....	7
Мисковець І.Я. Екологічна роль природних заповідників Волинського Лісостепу в Україні.....	15
Пацева І.Г., Хрутьба Ю.С., Хрутьба О.В. Характеристика та класифікація стейкхолдерів природоохоронних територій.....	20
ЕКОЛОГІЯ І ВИРОБНИЦТВО	25
Волошин В.С., Бурко В.А. Мінімізація промислових відходів у технологічних процесах, термодинамічний підхід.....	25
Дригулич С.П., Орфанова М.М., Дригулич П.Г. Екологічні аспекти управління відходами під час спорудження нафтогазових свердловин.....	31
Маренков О.М., Нестеренко О.С., Боровик І.І., Решетняк Д.С., Пацький В.О. Оцінка збитків, заподіяних водним біоресурсам в результаті впливу видобутку пісків на ділянці Дніпровського (Запорізького) водосховища.....	41
ЕКОЛОГІЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ	51
Грубий М.В., Трохименко Г.Г. Штучні рифи як інструмент відновлення морських та лиманних екосистем.....	51
Домбровський К.О., Лапченкова М.Ю. Оцінка якості води річки Дніпро в районі питного водозабору м. Запоріжжя.....	60
Єзловецька І.С. Оцінка стану природно-техногенної безпеки джерел питного водопостачання в басейні р. Рось.....	64
Кірейцева Г.В. Теоретичні основи управління екологічною безпекою поверхневих водних об'єктів в умовах антропогенного навантаження.....	70
Маркіна Л.М., Ковач В.О., Власенко О.В., Зудіков А.О., Копаниця О.Б. Аналіз ризиків від забруднення промисловими стоками на водні ресурси України: показники та превентивні заходи.....	75
Сапко О.Ю. Стан впровадження вимог європейського законодавства щодо охорони і раціонального використання водних ресурсів в Україні.....	83
Строкаль В.П., Гаць А.К. Оцінювання водного середовища р. Унава за показниками сапробності.....	88
ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ВОЄННИХ ДІЙ	95
Крайнюков О.М., Кривицька І.А., Найдюнова О.Є., Філатов В.М., Матісько Б.Ю. Оцінка мілітарного впливу на ґрунти м. Чугуїв Харківської області.....	95
Маслак-Гудима Н.П., Гудима О.А. Проблематика післявоєнного відновлення екосистем: світовий досвід та українські перспективи.....	100
Уваєва О.І., Алпатова О.М., Демчук Л.І., Сульженко М.Я., Нестерчук Ю.В. Екологічні ризики, пов'язані з будівельними відходами, що утворилися у зв'язку з військовою агресією Росії на території Житомирської області.....	111
Харченко В.В., Котинський А.В., Якименко І.Л. Цілеспрямоване злочинне знищення довкілля України як наслідок російської агресії.....	116
ЕКОЛОГІЯ ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ	121
Кібаров О.І., Трохименко Г.Г. Аналіз дії препаратів сільськогосподарського призначення для біоремедіації ґрунтів та деградації залишків гербіцидів.....	121
ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ	127
Барабан К.І., Вагилевич Т.В. Аналіз моніторингу важких металів у шахтних водах гірничопромислових районах Львівсько-Волинського вугільного басейну (на прикладі шахти Межирічанська ДП «Львіввугілля» м. Червоноград).....	127

Грига М.Ю. Еколого-геохімічна оцінка компонентів забруднення атмосферного повітря різних за рівнем антропогенного навантаження територій міста Києва.....	134
Олійник П.О. Моніторинг стану новоутворених біотопів та складу ґрунтів дна Каховського водосховища.....	142
Ящук Л.Б. Моніторинг екологічних показників міської транспортної мережі на прикладі м. Черкаси.....	149
УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ.....	160
Бондар О.Б., Погорєлова О.М., Кратко О.В., Головатюк Л.М. Екомапа як інструмент розвитку системи роздільного збору відходів у місті Тернопіль.....	160
Голік Ю.С., Серга Т.М. Ресурсний потенціал побутових відходів.....	166
Грідяєв В.В., Манідіна Є.А. Дослідження ефективності технології утилізації відходів трубного виробництва.....	172
Тихомирова Т.С., Титаренко А.І., Пітак Р.О. Дослідження змін морфологічного складу паперової фракції твердих побутових відходів.....	179
ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У СФЕРІ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ.....	185
Паланичко О.В., Волянчук К.М. Застосування сучасних технологій для аналізу антропогенних змін в басейні річки Серет.....	185
Сараненко І.І. Досвід моніторингу лісових пожеж на континентах засобами ГІС.....	192
Яковлєв І.О. Знезараження води озonom: старі проблеми і нова гіпотеза.....	197
БІОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА.....	201
Крупей К.С., Рильський О.Ф., Семененко Т.Д. Вплив температури зберігання харчових продуктів на динаміку мікробіоти.....	201
ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ.....	209
Гордієнко Д.Р., Тарабан Є.В., Бєлоконь К.В. Впровадження ефективних методів очищення промислових викидів для покращення екологічної ситуації у місті Запоріжжя.....	209
Хом'як І.В., Онищук І.П., Василенко О.М., Виговський І.В. Особливості складання звіту оцінки впливу на довкілля в умовах радіаційного забруднення.....	216
ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ.....	221
Красовський В.В., Рудик А.В., Козлов А.В., Черняк Т.В., Дяченко-Богун М.М., Григоренко А.В. Вплив абіотичних факторів середовища на формування кліматичних ресурсів Хорольського ботанічного саду.....	221
Пацюк М.К. Фактори формування населення голих амеб у водоймах Західної України.....	229
ЗМІНА КЛІМАТУ.....	237
Дядін Д.В., Дрозд О.М. Аналіз методологічних підходів оцінки ризиків і вразливості до зміни клімату на рівні територіальних громад.....	237
Прокоф'єв О.М., Гончарова Л.Д. Кліматичні трансформації Північно-Західного Причорномор'я в умовах глобального потепління.....	244
ЄВРОІНТЕГРАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ.....	250
Якименко І.Л., Ничик О.В., Маджд С.М. Гармонізація екологічного законодавства України з вимогами ЄС.....	250
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....	255

CONTENTS

NATURE RESERVE FUND OF UKRAINE	7
Bondar O., Shevchenko R. The audit of the content of the anshlags of nature-reserve territory of Ukraine and their SMART-resources.....	7
Myshivets I. The ecological role of nature reserves in the Volyn Forest-Steppe of Ukraine	15
Patseva I., Khrutba Yu., Khrutba O. Characteristics and classification of protected areas stakeholders.....	20
ECOLOGY AND PRODUCTION	25
Voloshyn V., Burko V. Minimization of industrial waste in technological processes, thermodynamic approach.....	25
Dryhulych S., Orfanova M., Dryhulych P. Environmental aspects of waste management during the construction of oil and gas wells.....	31
Marenkov O., Nesterenko O., Borovyk I., Reshetnyak D., Patsky V. Assessment of damage caused to aquatic bioresources as a result of the impact of sand mining on the Dniprovske (Zaporizke) reservoir site.....	41
ECOLOGY OF WATER RESOURCES	51
Hrubyi M., Trokhymenko H. Artificial reefs as a tool for restoration of marine and estuary ecosystems.....	51
Dombrovskiy K., Lapchenkova M. Assessment of water quality of the Dnipro River in the area of the drinking water intake of the city of Zaporizhzhia.....	60
Yezlovetska I. Assessment of the state of natural and technological safety of drinking water sources in the Ros River basin.....	64
Kireitseva H. Theoretical foundations of managing the environmental safety of surface water bodies under anthropogenic pressure.....	70
Markina L., Kovach V., Vlasenko O., Zudikov A., Kopanytsia O. Analysis of risks from industrial wastewater pollution on Ukraine's water resources: indicators and preventive measures.....	75
Sapko O. The state of implementation of the requirements of European legislation on the protection and rational use of water resources in Ukraine.....	83
Strokal V., Hatz A. Environmental assessment of Unava River based on indicators of water saprobity.....	88
ENVIRONMENTAL IMPLICATION OF MILITARY ACTIONS	95
Krainiukov O., Krivitska I., Naidonova O., Filatov V., Matisko B. Assessment of military impact on the soils of the city of Chuguiv, Kharkiv region.....	95
Maslak-Hudyma N., Hudyma O. Problems of the post-war ecosystems restoration: worldwide experience and Ukrainian prospects.	100
Uvaieva O., Alpatova O., Demchuk L., Sulzhenko M., Nesterchuk Yu. Environmental risks associated with construction waste generated by Russia's military aggression in Zhytomyr Oblast.....	111
Kharchenko V., Kotynskiy A., Yakymenko I. Targeted criminal destruction of Ukraine's environment as a consequence of russian aggression.....	116
ECOLOGY OF LAND RESOURCES	121
Kibarov O., Trokhymenko G. Analysis of the effect of agricultural products for soil bioremediation and degradation of herbicides residues.....	121
ENVIRONMENTAL MONITORING	127
Baraban K., Vagilevich T. Analysis of monitoring of heavy metals in mine waters in mining areas of the Lviv-Volyn coal basin (on the example of Mezhyrichanska mine of Lvivvuhillya, Chervonograd).....	127
Hryha M. Ecological and geochemical assessment of air pollutants in Kyiv areas with varying anthropogenic impact.....	134
Oliynyk P. Monitoring of the state of newly established biotopes and the composition of soils at the bottom of the Kakhovka reservoir.....	142
Yashchuk L. Monitoring of environmental indicators of the city transport network on the example of Cherkasy.....	149

WASTE MANAGEMENT	160
Bondar O., Pohorielova O., Kratko O., Holovatiuk L. Ecomap as a tool for the development of the separate waste collection system in Ternopil.....	160
Holik Yu., Serha T. Resource potential of household waste in Poltava region.....	166
Gridiaiev V., Manidina Ye. Research on the efficiency of waste utilization technology in pipe manufacturing.....	172
Tykhomyrova T., Tytarenko A., Pitak R. Morphological composition of paper fraction from household solid waste changes studying.....	179
INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THE FIELD OF ENVIRONMENTAL PROTECTION	185
Palanychko O., Volianiuk K. Application of modern technologies for the analysis of anthropogenic changes in the Seret river basin.....	185
Saranenko I. Experience of monitoring forest fires on continents by GIS means.....	192
Yakovlev I. Ozone disinfection of water: old problems and a new hypothesis.....	197
BIOLOGICAL SAFETY	201
Krupiei K., Rylsky O., Semenenko T. Influence of food storage temperature on microbiota dynamics.....	201
GENERAL ENVIRONMENTAL SAFETY ISSUES	209
Hordiienko D., Taraban Ye., Belokon K. The introduction of effective methods for industrial emission cleaning to improve the environmental situation in the city of Zaporizhzhia.....	209
Khomiak I., Onyshchuk I., Vasylenko O., Vyhovskyi I. Features of preparing an environmental impact assessment report in conditions of radiation pollution.....	216
PRESERVATION OF BIOLOGICAL AND LANDSCAPE DIVERSITY	221
Krasovskyi V., Rudyk A., Kozlov A., Cherniak T., Diachenko-Bohun M., Hryhorenko A. Influence of abiotic environmental factors on the formation of climatic resources of the Khoroly botanical garden.....	221
Patsyuk M. Factors in the formation of the naked amoebae population in water bodies of Western Ukraine.....	229
CLIMATE CHANGE	237
Diadin D., Drozd O. Analysis of methodological approaches to assessing risks and vulnerability to climate change at the level of territorial communities.....	237
Prokofiev O., Goncharova L. Climatic transformations of the northwestern black sea region in the context of global warming.....	244
EUROPEAN INTEGRATION PROCESSES	250
Yakymenko I., Nychyk O., Madzhd S. Harmonization of Ukrainian environmental laws with EU requirements	250
AUTHORS' CREDENTIALS	255

АУДИТ КОНТЕНТУ АНШЛАГІВ ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНИХ ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНИ ТА ЇХ SMART-РЕСУРСІВ

Бондар О.І., Шевченко Р.Ю.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ
azimut90@ukr.net

Розглянуті результати аудиту тематичного змісту (контенту) інформаційно-довідкових аншлагов природно-заповідного фонду України. Дані аудиту ґрунтуються на звітах польової експедиційної кампанії із рекогносцирування та вишукування аншлагов природно-заповідних територій ключових адміністративно-територіальних, фізико-географічних, кліматичних та зообіогеографічних зон України, що реалізовані протягом червня-жовтня 2024 р. Експериментальними природоохоронними об'єктами дослідження були означені: Західне Поділля, Прикарпаття, Поліська, Лісостепова та Степова фізико-географічні зони України та окремо місто Київ із передмістями. Зважаючи на те, що аншлаги розміщувалися на заповідних територіях рандомно, був залучений галсовий геодезичний метод координування та фотографування ландшафтових аншлагов (метод геотегінгу).

Сформований координатний каталог аншлагов за експериментальними природоохоронними територіями України. Цільова увага була приділена аншлагам в долинах наступних річок: Дністра, Дніпра, Десни, Росі. Детального вивчення набули аншлаги Національного природного парку «Дністровський каньйон», Регіонального ландшафтного парку «Дніпровські острови», геологічного заказника та національного заповідника «Тустань», геологічних пам'яток природи «Васильківські Карпати», «Богуславські дольмени», «Кам'яні пороги р. Рось», «Змієві вали» та інші природні та антропогенні ексклюзиви, що становлять наукову, естетичну та туристсько-рекреаційну цінність.

Як наслідок здійсненого аудиту означені недоліки під час проектування аншлагов, допустимі та не бажані неточності, особливо це стосується повної відсутності картографічної інтерпретації природно-заповідної території на аншлагах або перевантаження світлинами або іншою текстовою інформацією, яка втратила актуальність. Головним недоліком аналогових аншлагов є їх швидкоплинна зношеність під дією екстремальних метеорологічних умов (кліматичних змін): вицвітання карт та світлин під пекучим сонцем, зношеність матеріалів під впливом температурних градієнтів тощо.

Поданий опис деяких Smart-застосунків роботи віртуальних інформаційно-довідкових аншлагов природно-заповідних територій України. Зазначені прийоми уніфікації контенту аншлагов ПЗФ України та їх трансформації у SMART-ресурси, захист геопросторової природоохоронної інформації під час війни. Описані недоліки та переваги їх застосування.

Представлені очікувані результати приєднання України до Єдиної панєвропейської мережі екологічних інформаційних систем (віртуальних аншлагов із природозаповідання). *Ключові слова:* аншлаг, природно-заповідний фонд, картосхема, гаджет, Smart-застосунки.

The audit of the content of the anschlags of nature-reserve territory of Ukraine and their SMART-resources. Bondar O., Shevchenko R.

The article presents the material of the audit of the thematic content (content) of the information and reference anschlags of the Nature Reserve Fund of Ukraine. The audit data is based on the reports of the field expedition campaign for the reconnaissance and search of full-fledged nature reserve territories of the key administrative-territorial, physical-geographical, climatic and zoobiogeographical zones of Ukraine, which were implemented during June-October 2024. Experimental nature protection objects of the study were defined as: Western Podillia, Prykarpattia, Poliska, Forest-Steppe and Steppe physical and geographical zones of Ukraine and separately the city of Kyiv with its suburbs. In connection with the fact that the anschlags places were placed randomly in the protected areas, the geodetic method of coordinating and photographing the landmarks anschlags (geotagging method) was involved.

A coordinate catalog of anschlags events was created for the experimental nature conservation territories of Ukraine. Targeted attention was paid to sold-out events in the following rivers: Dniester, Dnipro, Desna, and Ros valleys. The anschlags of the National Nature Park «Dniester Canyon», the Regional Landscape Park «Dnieper Islands», the geological reserve and the national reserve «Tustan», the geological monuments of nature «Vasylkivskiy Carpathians», «Bohuslavski dolmens», «Stone rapids of Ros», «Snake ramparts» and other natural and anthropogenic exclusives, which are of scientific, aesthetic and tourist-recreational value.

As a result of the audit, shortcomings were identified in the design of full anschlags, permissible and undesirable inaccuracies, especially this concerns the complete absence of a cartographic interpretation of the nature reserve area on full anschlags or overloading with photos or other textual information that has lost its relevance. The main disadvantage of analog anschlags is their rapid wear under the influence of extreme meteorological conditions (climatic changes): fading of maps and photos under the scorching sun, wear of materials under the influence of temperature gradients, etc.

The description of some Smart-applications of the operation of virtual information and reference anschlags of nature-protected territories of Ukraine is presented. The methods of unifying the content of anschlags PRF of Ukraine and their transformation into SMART-resources, protection of geospatial environmental information during the war are indicated. The disadvantages and advantages of their use are described.

The expected results of Ukraine's accession to the Unified Pan-European Network of Environmental Information Systems (virtual anschlags on nature conservation) are presented. *Key words:* anschlags, nature reserve fund, map scheme, gadget, Smart-applications.

Постановка проблеми. Актуальність дослідження. Європейська інтеграція України в систему колективного управління захистом навколишнього природного середовища включає уніфікацію українських національних та європейських природоохоронних методик та технологій. Важливою складовою цього процесу є публічність еколого-природозахисної інформації.

На сьогодні, при відвідуванні будь-якої ПЗФ-території, важливу роль інформування відіграють аншлагі – стендові повідомлення, які повинні включати картографічну, текстову, фотографічну та попереджувальну інформацію. Але не завжди таке важливе поєднання цих компонентів є на практиці. Тому виникає освітня, науково-дослідна та інформаційно-просвітницька задача-розроблення уніфікованих до Директив Європейського Союзу та НАТО методичних прийомів проєктування єдиного тематично-конструктивного змісту аншлагів та трансформація їх у віртуальний цифровий простір за допомогою Smart-технологій.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління має весь необхідний інструментарій щодо розроблення відповідних методичних прийомів проєктування інтерактивних віртуальних аншлагів на базі даних технологій ГІС та ДЗЗ. Прикладом є функціонуючий спеціалізований інформаційно-довідковий геопортал природно-заповідного фонду України, що надає необхідну геопросторову, загально-екологічну, фотографічну та попереджувальну юридичну інформацію про правила та обмеження перебування на природоохоронних територіях України в режимі онлайн з обмеженим доступом (www.gis.dea.edu.ua).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аншлагам природно-заповідних територій не приділено уваги у наукових джерелах та в публікаціях еколого-популярної літератури. Не виявлено електронних джерел інформації стосовно методик та прийомів укладання їх тематичного змісту. Побічно питання аншлагів, як спеціальних різновидів ландмарків висвітлюється в монографії [1] та статтях у науково-фахових журналах [2, 3].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Важливою складовою дослідження стало проведення літньої експедиційної кампанії 2024 р. із вишукування, аудиту та опису аншлагів ПЗФ України в різних фізико-географічних та кліматичних зонах, унікальних локаціях заповідних біогеоценозів. Були проаналізовані тематичні і інформаційні кластери аншлагів, виявлені недоліки, актуалізація геопросторової інформації, проведений порівняльний аналіз із їх Smart-аналогами. Подаються рекомендації щодо вдосконалення та уніфікації підходів до проєктування аншлагів, як інформаційно-картографічних та довідкових джерел у публічних просторах природоохоронних територій України.

Новизна. Інноваційними результатами дослідження постає:

- розроблення єдиної методики електронного ескізування, проєктування та виготовлення аншлагів на основі екологобезпечних технологій до довкілля матеріалів;

- обґрунтування системи захисту геопросторової природоохоронної інформації на аншлагах та особливості їх використання за допомогою SMART-опцій на час надзвичайної ситуації воєнного характеру (військовий стан);

- формулювання проєкту Положення/Інструкції єдиної методики проєктування та встановлення на локаціях природоохоронних територій України аналогових та SMART-аншлагів, дублювання даних у застосунках Android та iOS.

Методологічне або загальнонаукове значення. Діджиталізація технологій аншлагівого інформування для PR-природоохоронних територій України посилює інформаційно-просвітницьку і освітню складову та популяризацію ПЗФ-територій нашої держави для потреб європейського екологічного туризму та рекреації. Це включатиме:

- розроблення паперових та цифрових (електронних) буклетів із зазначенням еколого-освітніх (туристсько-рекреаційних) маршрутів територіями ПЗФ України;

- розміщення природоохоронного тематичного ресурсу цифрових Smart-аншлагів у пабліках месенджерів та соціальних мереж для популяризації аттрактивності ПЗФ України та PR-кампаній для проєктів післявоєнної відбудови України;

- поширення екологічних знань в українському громадянському суспільстві та європейській спільноті про заповідні території України;

- інтеграція контенту аншлагів (Smart-систем ПЗФ України) у Європейський еколого-просвітницький інформаційний простір за допомогою систем штучного інтелекту.

В результаті це приєднає Україну до Єдиної панорпійської мережі екологічних інформаційних систем (віртуальних аншлагів із природозаповідання).

Викладення основного матеріалу. На більшості територій та об'єктів ПЗФ України інформаційно-довідкові стенди (аншлагі) у публічних просторах – є аналогові: паперові, на пластмасово-дерев'яній основі, які навіть не мають освітлення у вечірній час перебування туристів та рекреантів. Таким чином їх інформаційна складова є обмеженою у різні сезони року. Smart-забезпечення є в небагатьох природоохоронних установах. Це насамперед, Державний історико-культурний заповідник «Тустань», Феофанійський ландшафтний парк у м. Києві та Державний заповідник «Хортиця». Нещодавно, за матеріалами академічних наукових досліджень, Солом'янський ландшафтний лісопарк у м. Києві, також має геотегінговий геопортал природних та антропогенних ексклюзивів територій.

Для обстеження аншлагов природоохоронних територій літнім експедиційним польовим сезоном 2024 р. були проведені еколого-красознавчі експедиції за наступними природоохоронними територіями (рис. 1):

Західне Поділля та Північна Буковина. Національний природний парк «Дністровський каньйон» (еколого-освітня стежка «Заліщицький парк»: дерева-пам'ятки, долина р. Дністер, «Нижній парк», «Верхній парк – «Молодіжний», рекреаційна ділянка «Вільгова», Рукомиш – травертинові скелі). Обстежений Національний природний парк «Сколівські Бескиди»: екологічна стежка «Джуринський каньйон», урочище Монастирок – печера Язичницька та печера Вертеба.

Львівська область: курорт Східниця: аншлаги веломаршрутів Бескидами.

Київ: острів Оболонський Регіонального ландшафтного парку «Дніпровські острови» та парк «Сирецький гай» із маршрутами здоров'я.

Київська область: досліджені польовими методами кам'яні дольмени Богуславщини – кам'яні пороги р. Рось, що становлять наукову, естетичну та рекреаційну цінність; археологічний комплекс національного значення «Городище літописного міста Василіва – вал X ст.»; ботанічні пам'ятки природи у с. Ходосівка та окремо – Ходосівський археологічний комплекс: багаточислове поселення VI тис. до н.е. – XVIII ст. н.е.; ландшафтний заказник місцевого значення «Васильківські Карпати», Змієві вали тощо.

Полтавська область: аншлаги курорту Миргород, постери ландшафтного парку «Березовий гай».

Чернігівська область: проведені вишукування аншлагов еколого-туристських атракцій с. Седнів. Вивчені стендові ландмарки Лизогубського (Седнівського) парку.

Черкаська область: Регіональний ландшафтний парк «Трахтемирівський», природні ексклюзивні ансамблі географічного центру України на околиці смт. Шпола.

Приведемо детальний опис (аудит контенту) типових аншлагов вище зазначених природоохоронних територій України. Аншлаги Національного природного парку «Дністровський каньйон» поширені на локаціях еколого-освітньої стежки «Заліщицький парк» (палац Бруницьких). Центральною тематичною складовою аншлагу є картосхема із експлікацією даних із фотографіями видових зупинок туристів із зазначенням інформації історії палацу, подаються цікаві факти та легенди, QR-код, інклюзивна інформація шрифтом Брайля. Аншлаг оздоблений емблемою нацпарку та гербом м. Заліщики (рис. 2).

На території вишукані аналогічні аншлаги, які надають інформацію про природні парки світу та природні парки України, але без картографічної інтерпретації, що є недоліком цього блоку довідкової інформації.

На нашу думку, картосхема повинна бути обов'язковим складовим елементом тематичного змісту аншлагов ПЗФ України. На локаціях паркової зони даної природоохоронної території знайдено ще один

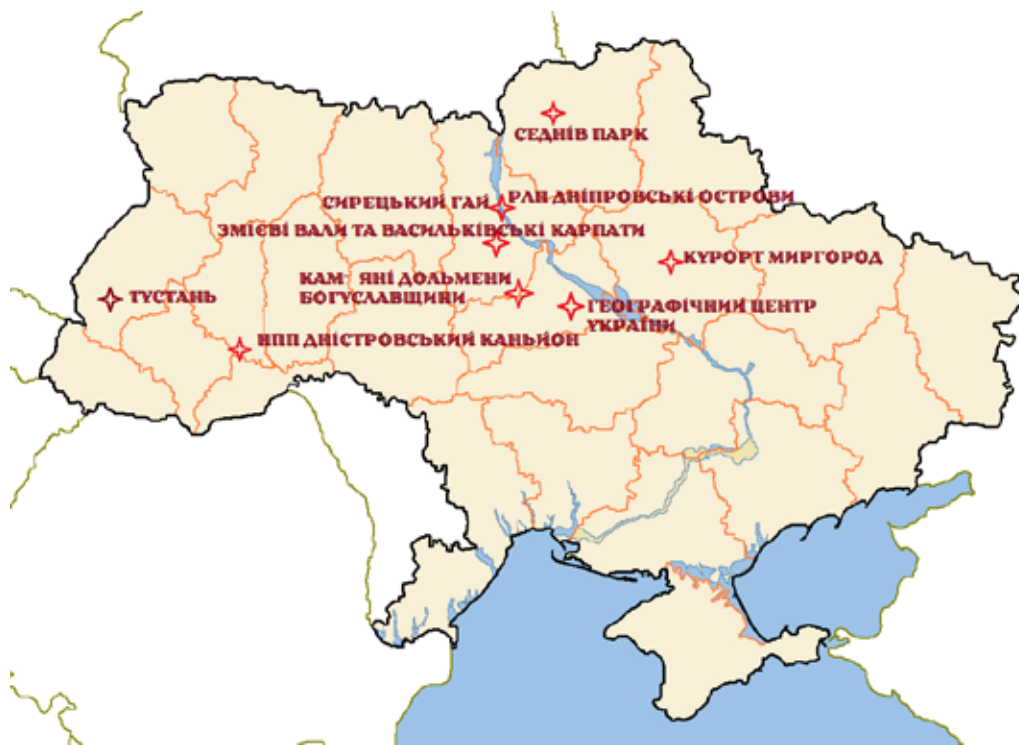


Рис. 1. Географія експедиційного сезону 2024 р.



Рис. 2. Картографічний аншлаг ділянки НПП «Дністровський каньйон»

ексклюзивний аншлаг на тему «Літній театр». На ньому ідентифікується невелика картосхема із планом будівлі, але є значний масив даних, що переважно характеризує його тематичний зміст, присвячений світлинам споруди в різні історичні часи. Лише незначний обсяг геоінформації присвячений на ньому природному ландшафту зони, де розташовується будівля театру.

Найбільш інформаційно наукоємними виявлені аншлаг парку: «Дерева-пам'ятки природи» та «Екологія р. Дністер» із детальними топографічними та гідрографічними картами, зрозумілою бібліотекою умовних позначень та деякими світлинами, які збагачують інформаційний простір. Цікавим за змістом є аншлаг Заліщицького парку («Нижній парк» та Верхній парк – «Молодіжний»), які по наповненості тематичного змісту є повноцінними еколого-туристськими картосхемами, де умовними позначеннями постають натуралістичні зображення у вигляді світлин природних та антропогенних ексклюзивів. Подасться інформація про екскурсії та контактні дані туристського інфоцентру.

Західне Поділля території України характеризується щільним розташуванням аншлагів об'єктів ПЗФ України. Наприклад, аншлаг акваторії та навколишньої території Джурицького водоспаду входить в природно-заповідну агломерацію «Тепле Поділля». На ньому показаний грамотно укладений топографічний план із відміркою рельєфу, що надає прямі уявлення туристу про значні перевищення/перепади висот навколо гідрологічної пам'ятки природи (ана-

логічно укладені аншлаг «Урочище Монастирок», «Рукомиш»¹, «Замок у Підзамочку» (замість картосхеми подається аерокосмічний знімок території) та аншлаг «Панорама Дністра»). Контент представлений ретроспективними світлинами самого водоспаду із пам'ятками культурної спадщини, які втрачені. На аншлагі «Екологічна стежка «Джурицький каньйон» розміщена історична та еколого-географічна інформація, аерокосмічний ортофотоплан із нанесеною лінією екостежки. Всі об'єкти мають цифрові позначення природних ексклюзивів у легенді картосхеми, QR-код для завантаження на гаджет відповідної інформації. Особливістю аншлагу є наявність попередження про заходи безпеки під час проходження екомаршруту з телефонами екстрених служб, яка відсутня на всіх інших аншлагах, виявлених під час експедиційного сезону 2024 р. Необхідно зазначити, що територія нацпарку промаркована охоронними знаками ПЗФ України.

В результаті польового рекогносцирування місцевих аншлагів, меш за все відповідним зазначеним критеріям інформаційний стенд «Печера Вертеба». Він містить лише графічні зображення культурного шару, знайденої в неї Трипільської цивілізації без жодної топографо-географічної прив'язки.

Аншлаг «Рекреаційна ділянка «Вільгова» у мальовничому урочищі на горі Бедриківська

¹ Аншлаг «Рукомиш: травертинові скелі та печерна церква» містить три ексклюзивних картографічних зображення стародавніх польських топографічних карт із штриховим представленням експозицій рельєфу, а також сучасна топографічна OSM- карта.



Рис. 3. Анішлаг туристсько-рекреаційної ділянки «Вільгова» НПП «Дністровський каньйон»

(це віддалений схил долини р. Дністер), виконана із дотриманням вимог картографічної семіотики інтерпретації даних: ортофотоплан із умовними позначеннями екостежок, мірилом, яке дуже рідко можна побачити на анішлагах ПЗФ України, світлинами природних об'єктів та описами, відповідним QR-кодом (рис. 3).

Під час польової експедиції, на території Національного природного парку «Дністровський каньйон» були знайдені пам'ятки історії геодезії. Вони менш відомі, ніж, що охороняються ЮНЕСКО, мережа знаків Геодезичної дуги Струве. Вони мають номерні кадастрові цифри, гербові відбитки та написи польською мовою (рис. 4). Відповідні цікаві туристичні об'єкти мають право бути в програмах туристичних стежок нацпарком. Зауваженням є те, що не всі об'єкти природної та культурної спадщини промарковані відповідним знаком «Пам'ятка культурної спадщини».

Польові вишукування значним часом були зосереджені на території м. Києва, у зв'язку відкриттям цього року Парково-рекреаційної зони «Острів Оболонський». При вході на його територію встановлені інформаційно-туристські анішлагі. Але, на наш погляд, вони є надзвичайно спрощеними та не сприймаються, у зв'язку із відсутністю прив'язки до сторін світу та довільними умовними позначеннями, що можна подвійно інтерпретувати.

Великим кластером зеленого поясу столиці України є Сирецький гай, який також потребував окремого польового дослідження на наявність анішлагів, ланмарків та інших інформаційно-довід-



Рис. 4. Антропогенний ексклюзив Парку – польський пункт Державної геодезичної мережі – пам'ятка історії наук про Землю

кових зображень в його територіальних публічних просторах. Парк є великим туристсько-рекреаційним природним ландшафтним комплексом Центрально-Західної частини м. Києва, який був закладений у 1952 р. Це парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва, що входить до складу ПЗФ України. Загальна площа складає 88,8 га. На території вишукані анішлагі із схематичним планом парку, делімітованими на схемі лініями маршрутів здоров'я, напрямками їх руху, компасом-орієнтиром (він є, на відміну від анішлагоу на острові Оболонському), QR-кодами та іншою корисною інформацією. Територія парку демаркована охоронними знаками ПЗФ України.

Найбільша локалізація природоохоронних територій сконцентрована на південь від Києва, на території Богуславщини та Васильківщині. На відповідних територіях Київщини знайдені цікаві охоронні знаки ПЗФ України. Найбільшого інтересу набув «Особливо цінний об'єкт Богуславської громади – Кам'яні дольмени». Це ексклюзивний та унікальний природний об'єкт України – Місце Сили. Не менш цінними є території з охоронними знаками-аншлагами ПЗФ України: «Ботанічна пам'ятка природи місцевого значення «Ходосіївські дуби» та Ходосіївський археологічний комплекс під Києвом.

На території Васильківщини знайдені подібні аншлагіві інформаційні стенди, що надають вичерпні дані про літописне місто Висиліва (сучасний Васильків), але зі значними недоліками – вони позбавлені картографічного навантаження тематичного змісту. На ньому переважають лише світлини, панорамна графіка та інші текстові повідомлення.

Еколого-дослідницькі мандрювання проходили на території Черкащини у комплексі «Географічний центр України», що неподалік Шполи. Були знайдені аншлагіві із картами різних масштабів із зрозумілою експлікацією даних про оточуюче середовище, умовними позначеннями. Але значну площу інформаційної площі постерів складають рекламно-пропагандистські дані про спонсорів проекту та QR-кодом Президентської програми «Велике будівництво».

Львівський територіальний комплекс природно-заповідного фонду експериментально вивчений на території Східницької селищної територіальної громади. План-схема курорту Східниця є топографічним планом із детальною демонстрацією всіх

природних та історико-культурних пам'яток (рис. 5). Єдиним мінусом є вицвітання карти та даних аншлагу, та, як наслідок, нечитабельність інформації (рис. 5).

Враховуючи вище викладене, визначаємо переваги Smart-аншлагів, які є сучасною технологією поширення геопросторової інформації. На території Східниці є аншлаг «Велобескиди» із навігаційним QR-кодом. Відкриваючи її у гаджеті, демонструється електронна тематична туристська карта на якій прокладені шість GPS-веломаршрутів: «Цюхів Діл», «Золота Баня», «До Тустані», «До Борислава (г. Городище)», «До Трускавця», «Соляний Шлях». Інформація представлена на топографічній основі, легко читається та сприймається.

Аншлагіві геологічної пам'ятки природи «Тустань» містять велику геохронологічну таблицю екосистем Тустані, навігаційну карту з легендою умовних позначень, локалізацією пішохідних маршрутів, музеїв, культурних центрів, місць розваг навколо скель, напрямками можливих рухів до бойківського села Урич тощо. Маршрути промарковані QR-кодами, які містять екскурсійну інформацію про об'єкти природної спадщини. Всю відповідну інформацію можна знайти в розробленому мобільному застосунок Державного історико-культурного заповідника «Тустань. Гід» (рис. 6).

Експедиції Лівобережною Україною проводилися в липні 2024 р. на Полтавщині. У природних ландшафтах Миргородської міської територіальної громади аншлагіві ПЗФ України поширені у курортному містечку. Переважають вони у формах аншлаг-лайтбоксів із електричною ілюмінацією (освітленням)



Рис. 5. Аншлаг курорту Східниця Львівської області, як демонстрація невдалого використання картографічного компонування геопросторової інформації



Рис. 6. Інтерфейс та інсталяційне повідомлення Smart-застосунку

у темний період доби. Аншлаг-картосхема курортної та рекреаційної зони відображає 27 об'єктів, довжини маршрутів лікувальної ходьби позначені різними кольорами: 600, 1200, 1700, 2400, 4000 та 1000 метрів.

Аншлаг ландшафтного парку «Березовий гай» складається із трьох постерів. Перший – це картосхема парку з умовними позначеннями та особливими позначками природних ексклюзивів, описами призначення парку та звернення до відвідувачів про бережливе ставлення до довкілля. Особливістю аншлагу є наявність Малого Державного Гербу України – Тризубу, який зустрічається на аншлагах не чпсто, але обов'язково має бути відображений на будь-якому аншлагі ПЗФ України. Ця вимога не дотримується. Другий постер аншлагу – характеристика ландшафтного парку. Третій – оголошення про заборону збиральництва на території Парку.

Експедиція Чернігівщиною проходила у с. Седнів. Вишукані наступні аншлагі: ортофотопанорама природної зони Сіверщини, картосхеми: «Туристичний Седнів», «Седнівська фортеця» із демонстрацією топографічних особливостей місцини. Спеціальні охоронні знаки ПЗФ України, які визначають контури на місцевості були знайдені за периметром Лизогубівського (Седнівського) парку селищної громади.

Не зважаючи на широкомасштабну діджиталізацію в країні, аналогові аншлагі природоохоронних територій досить затребувані. Але їх методика укладання тематичного змісту має чітко регламентуватися, а саме: необхідна наявність Державного Герба України, емблеми краю та природоохоронної установи, 50 % інформаційного поля аншлагу має займати картографічний ортофотоплан або карта на топографічній основі із бібліотекою умовних позначень, експлікацією природних та антропогенних об'єктів, світлин, описів, коментарів, правових застережень та попереджень про небезпеки на маршрутах, авторські права та контактні дані адміністра-

ції. Обов'язково здійснюється підсвічування в темний період доби системами автономного освітлення від сонячних батарей. Виготовлятися такі аншлагі мають із екологічного чистих матеріалів. Але пріоритетом є перехід на картографічні ресурси інтернету – геопортали, віртуальні інформаційно-картографічні довідники про ПЗФ України із посиланням у QR-кодах на місцевості, а також розробка природоохоронних гаджет-застосунків.

Важливим питанням є захист геопросторової інформації об'єктів ПЗФ України під час військового стану. Це означає, що допуск до інсталяції відповідних Gadget-застосунків повинен мати лише службове обмеження та корпоративний допуск.

Головні висновки. В результаті аудиту контенту аншлагів, вишуканих під час літньої експедиційної кампанії 2024 р., сформульовані такі положення:

- проєктування та тематичне ескізування інформаційно-довідкових аншлагів на території природно-заповідного фонду України є довільним та аматорським. Це означає, що відсутня уніфікація змістовної інформації про правила розміщення геопросторових даних;

- значний масив геоінформації для її захисту під час військового стану на аншлагах у масштабному ряді 1 : 500 – 1 : 10 000 повинен мати лише умовно-схематичне зображення без збереження реальних розмірів природних та антропогенних об'єктів (позамасштабні позначення на карті). Не бажаною є передача цифрових значень рельєфу, або його інтерпретація повинна бути завуальованою (картографічні прийоми відмивки, штрихування, заливки фізичної поверхні тощо);

- домінуюча кількість аншлагів перевантажена текстовою інформацією. Для запобігання цьому, бажано використовувати наступну схему архітектури аншлагу:

А) анована частина із назвою об'єкту ПЗФ України з державною, регіональною та корпоративною символікою (зверху);

Б) картосхемою або ортофотопланом із нанесеними різнокольоровими напрямками туристських маршрутів (зліва);

В) набору цифр із експлікаційною таблицею переліку зображених на картосхемі природних та антропогенних ексклюзивів (праворуч);

Г) таблицею флори та фауни (знизу);

Д) текстовою частиною із зображенням QR-коду із посиланням на завантаження Gadget-застосунку, контактними даними та телефонами екстрених викликів (внизу зправа).

Перед загальнодержавним впровадженням, згідно розробленої інструкції, необхідна експериментальна апробація роботи аналогового та Smart-аншлагоування природоохоронних територій (на прикладі Солом'янський ландшафтного парку м. Києва).

Перспективи використання результатів дослідження. Для запровадження роботи з імплементації

та впровадження Smart-аншлагів необхідне розроблення та проведення однойменних курсів підвищення кваліфікації для працівників ПЗФ України або введення відповідної теми до модулів діючих курсів в Державній екологічній академії післядипломної освіти та управління.

Навчання включатиме набуття теоретичних та практичних навичок за такими напрямками:

– аналіз юридичних основ природозаповідання – Директив Європейського Союзу та НАТО щодо охорони навколишнього природного середовища та забезпечення інформування населення щодо особливо охоронних заповідних зон;

– ознайомлення із ретроспективою аншлагового інформування відвідувачів ПЗФ в країнах ЄС, США, Австралії, Китаї та в Україні від найдавніших часів до сьогодення;

– вивчення різновидів аншлагів та їх класифікаційних ознак, особливостей локалізації на місцево-

сті, як складових публічного простору природоохоронної території;

– зазначення періодів оновлення аншлагів та роз'яснення відмінностей аншлагів від охоронних знаків та межових пунктів природоохоронної території;

– навчання методикам ескізування, проєктування та виготовлення аншлагів на основі еколого-безпечних технологій до довідки матеріалів;

– представлення методики єдиного змісту інформаційно-довідкової інформації про об'єкт ПЗФ України для всіх природоохоронних територій;

– огляд сучасних Smart-ресурсів інтерактивних віртуальних аншлагів, методика QR-кодування, GPS-координування та ГІС-маркування території ПЗФ України для потреб екологічного туризму, рекреації, зелених подорожей та екскурсій.

Науково-дослідна перспектива дослідження теми передбачатиме вивчення геоіконіки та екографії сучасних різноманітних аншлагів ПЗФ України.

Література

1. Бондар О.І., Тафтай В.В., Фінін Г.С., Шевченко Р.Ю. Сучасні технології моніторингу довкілля: на прикладі Київської агломерації. Монографія. Київ. 2023. С. 17-22.
2. Шевченко Р.Ю. Картографічні зображення на території міста Київ. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія Географія. 2009. № 56. С. 49-51. 3. Шевченко Р.Ю. Вулична (інформаційно-довідкова) картографія м. Києва. Часопис картографії. 2011. Вип. 1. С. 50-57.

УДК 551.577.

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.6-57.2>

ЕКОЛОГІЧНА РОЛЬ ПРИРОДНИХ ЗАПОВІДНИКІВ ВОЛИНСЬКОГО ЛІСОСТЕПУ В УКРАЇНІ

Мисковець І.Я.

Луцький національний технічний університет
вул. Львівська, 75, 43018, м. Луцьк
myskovetsiryna@lutsk-ntu.com.ua

В роботі досліджено структуру, етапи становлення заповідної мережі Лісостепу Волині, простежена динаміка їх створення, умови і особливі риси заповідних територій. Автором виконане обґрунтування як структурних, так і функціональних елементів заповідних територій Волинського Лісостепу, визначені проблеми їх функціонування та здійснений аналіз перспектив їх розвитку. Розроблена структура ПЗФ Лісостепу Волині за категорією природоохоронних територій. Досліджено просторово-часові аспекти розміщення заповідних територій Лісостепу Волинської області та їх динаміка за останні десятиліття. Оцінено існуючі заповідні території та надано рекомендації покращення структури та функціонування ПЗФ Волинського Лісостепу. Проаналізовано критерії розвитку ПЗФ, джерела антропогенного впливу та рівень природності інших ділянок з огляду на необхідність їх приєднання для забезпечення цілісності існування. Визначено важливі глобальні проблеми, що чекають нас у ХХІ столітті і, особливо після перемоги у війні, а саме: зміни клімату, дефіцит питної води, знеліснення, опустелення, забруднення вод, низька якість управління, утрата біорізноманіття, зростання і міграція населення, зміна соціальних цінностей, забруднення довкілля. Екологічне прогнозування стало необхідною умовою оптимізації взаємодії між суспільством і природою. Це стосується заповідання болотяних угідь у заплавах річок Волинського Лісостепу, у важкодоступних лісових масивах, утворення заказників для охорони річок, озер тощо. Заповідні території є природним каркасом екологічної бази регіону, є територіями, вдало об'єднаними у ландшафти, слугують утриманню екологічної рівноваги в регіоні та є вирішальним інгредієнтом регіональних екомереж, що є особливою модифікацією нинішньої вимоги геопросторового впорядкування, раціонального володіння природними ресурсами, зменшення забруднення довкілля. Запропоновано заходи покращення структури та функціонування ПЗФ. *Ключові слова:* заповідна справа, природні комплекси, заказники.

The ecological role of nature reserves in the Volyn Forest-Steppe of Ukraine. Myskivets I.

The work investigates the structure, stages of formation of the protected area network of the Volyn Forest-Steppe, traces the dynamics of their creation, conditions and special features of the protected areas of the Volyn Forest-Steppe. The author has substantiated both the structural and functional elements of the protected areas of the Volyn Forest-Steppe, identified the problems of their functioning and analyzed the prospects for their development. The structure of the Volyn Forest-Steppe NRF has been developed by the category of nature conservation areas. The spatial and temporal aspects of the location of the protected areas of the Volyn Forest-Steppe region and their dynamics over the past decades have been studied. The existing protected areas have been assessed and recommendations for improving the structure and functioning of the Volyn Forest-Steppe NRF have been provided. The criteria for the development of the NRF, sources of anthropogenic impact and the level of naturalness of other areas have been analyzed, taking into account the need for their accession to ensure the integrity of existence. Important global problems that await us in the 21st century and especially after the victory in the war have been identified, namely: climate change, shortage of drinking water, deforestation, desertification, water pollution, poor quality of management, loss of biodiversity, population growth and migration, change in social values, environmental pollution. Ecological forecasting has become a necessary condition for optimizing the interaction between society and nature. This applies to the preservation of wetlands in the floodplains of the Volyn Forest-Steppe rivers, in hard-to-reach forest areas, the creation of reserves for the protection of rivers, lakes, etc. Protected areas are the natural framework of the ecological base of the region, are territories successfully combined into landscapes, serve to maintain ecological balance in the region and are a crucial ingredient of regional eco-networks, which is a special modification of the current requirement for geospatial organization, rational use of natural resources, and reduction of environmental pollution. A number of measures have been proposed to improve the structure and functioning of the NPF. *Key words:* protected areas, natural complexes, nature reserves.

Постановка проблеми. Заповідна справа – один з напрямків сталого розвитку. Це загальна концепція, що визнає важливість забезпечення балансу між сучасним суспільством і майбутнім поколінням у безпечному довкіллі. Сталій розвиток полягає в тому, щоб діяти таким чином, який забезпечує рівновагу між соціальними, економічними та екологічними факторами. Це означає, що ми повинні задовольняти потреби сьогодення, але робити це таким чином, щоб не порушувати природні ресурси та не завдати шкоди довкіллю. Сталість включає в себе доцільне використання ресурсів,

охорону довкілля, біорізноманіття що орієнтовано на створення життєвих умов, які забезпечують якість життя для сучасного покоління і залишають належне спадкове навантаження на майбутні покоління.

Багата і щедра Волинська область, на території якої є характерні неповторні поліські та лісостепові ландшафти, природні комплекси, неповторний рослинний і тваринний генофонд. З розвитком технологій вплив на довкілля постійно зростає. Актуальність оптимізації довкілля, з урахуванням обсягів використання натуральних ресурсів, є важ-

ливою проблемою не лише для України в цілому, а й для Волинської області зокрема.

Це питання відображене в низці документів, зокрема в ЗУ «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» та Указі Президента України «Про виклики та загрози національної безпеки України в екологічній сфері та першочергові заходи щодо їх нейтралізації» (№ 111/2021 від 23.03.2021 р.), а також у інших законодавчих документах. Для забезпечення екологічної безпеки та розвитку міжнародного співробітництва потрібно привести законодавство України у відповідність до міжнародних норм.

Актуальність дослідження. Заповідні території є природним каркасом екологічної бази регіону. Є територіями, вдало об'єднаними у ландшафти, слугують утриманню екологічної рівноваги та є вирішальним інгредієнтом регіональних екомереж, що є особливою модифікацією нинішньої вимоги геопросторового впорядкування, раціонального володіння природними ресурсами, зменшення забруднення довкілля».

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В Україні на межі 19 та 20 століть зароджується свідомий рух за збереження довкілля [1].

На початку ХХ ст. був запроваджений заповідник в садибі Пілявін на території Волині, де під охороною були тварини, зокрема зубри, олені та бобри, а також інші тварини. Відвідини цих територій допускались за особливими дозволами, які видавала лісова охорона. В розвитку заповідного режиму важливою подією стало засідання дослідників природи, яке відбулося 14 грудня 1906 року. На цьому засіданні М.І. Голенкін зробив доповідь «Про збереження природи». Доповідь викликала бурхливе обговорення. В ній були досить широко висвітлені питання заповідних територій в Україні [8].

Значним для заповідного режиму був ХІІ з'їзд дослідників природи, де академік І.П. Бородін зробив доповідь «Про збереження рослинності цікавих в ботаніко-географічному відношенні». В ній він прямо звернувся до вчених із закликом сприяти розвитку заповідного режиму. З 1921 до 1930 року було засновано більшість нині існуючих заповідників України [9].

Єдиним державним органом, який би відповідав за природоохоронну роботу й концентрував зусилля наукових і державних закладів в цій галузі став «Державний комітет УССР з охорони природи», що створений у травні 1967 року. Разом з АН УРСР, комітет вповноважений був вносити пропозиції про необхідні природоохоронні заходи. Особливо бурхливий розвиток заповідна справа в республіці отримала у 80-х роках. На початку 90-х років в Україні було оголошено заповідними болота на площі 240 тис. га [6].

В Україні підходи до формування природоохоронних систем (національних і регіональних), а також

прикладні аспекти їх реалізації обґрунтували у працях Т.Л. Андрієнко [1], В.П. Брусак [2] та О.В. Генік [3], Ковальчук І.П. [9], Гулай Л.Д., Царик Л.П., Мельник В.І. [10] та інші науковці. Аналіз специфічних рис ПЗФ Волині проводили вітчизняні науковці, зокрема З.К. Карпюк [8], Я.О. Мольчак [12], І.Я. Мисковець [11], В.М. Петлін, В.О. Фесюк [11] та інші. Серед зарубіжних дослідників варто відзначити роботи Olofsson P. [15], Foody G. [15], Nie W. [14], Shi Y. [14], Memmott J. [13], Alonso D. [13] та інших, які присвячені практичному застосуванню досліджень.

Новизна дослідження в обґрунтуванні як структурних елементів, так і функціональних елементів ПЗФ Лісостепу Волині, визначенні проблем їх функціонування та аналізі перспектив їх розвитку. Розроблена структура ПЗФ Лісостепу Волині за категорією природоохоронних територій. Досліджено просторово-часові аспекти розміщення заповідних територій Лісостепу Волинської області та їх динаміка за останні десятиліття.

Формування мети дослідження. Мета дослідження-аналіз структури, етапи становлення заповідної мережі Лісостепу Волині, простеження динаміки їх створення, показників якості, а також запропоновані заходи покращення структури та функціонування ПЗФ.

Методологічне значення. В ході дослідження використано літературні джерела за темою, а також фондові матеріали працівників екологічних управлінь, відділів ОДА та Луцької міської ради, офісу водних ресурсів Волинської області, матеріали власних польових досліджень, а також фондові архівні матеріали бібліотек, нормативні та правові акти і документи, інтернет-джерела. В ході дослідження застосовувалися: статистичний метод для аналізу заповідної мережі різних категорій, ступеня інсуляризованості ПЗФ. Метод польових досліджень, порівняльного та географічного аналізу для вивчення природоохоронних територій. Теоретичною та методологічною базою є наукові праці українських та зарубіжних вчених, присвячених проблемам довкілля.

Викладення основного матеріалу. Територія Волинської області ділиться на кілька зон, які визначають природні умови, господарську діяльність та екологічну ситуацію в регіоні, серед яких основними є: **Лісостепова зона** – охоплює центральну та південну частини області з переважанням лісів і сільськогосподарських угідь; **Степова зона** – на південному заході області, де ґрунти більш сухі, а рослинність – типова для степової території; **Лісова зона** – на півночі, де є великі масиви лісів, зокрема із сосновими насадженнями та змішаними.

Лісостепова зона Волинської області охоплює ряд районів, серед яких: *Луцький район* (включає місто Луцьк та багато сіл), *Ковельський район* (з містом Ковель та навколишніми територіями),

Володимирський район (включає місто Володимир і його околиці) та Турійську селищну територіальну громаду [7].

Загалом, Лісостепова зона Волинської області характеризується наявністю лісів, луків і річок, а також родючими ґрунтами, що сприяє сільськогосподарському виробництву.

Основні риси цієї зони наступні: зона має помірно хвилястий рельєф, що сприяє формуванню різноманітних ґрунтів, переважно чорноземів і сіроземів, які є родючими і підходять для землеробства; Лісостепова зона має багатий рослинний світ. Тут зустрічаються широколистяні і хвойні ліси, а також різноманітні рослини на луках і полях [4]; у Лісостеповій зоні клімат помірковано континентальний, з м'якими зимами та теплим літом, що створює умови для розвитку аграрного виробництва; зона є важливим аграрним регіоном, де вирощують зернові культури, цукровий буряк, картоплю та овочі. Тваринництво також має значне значення. Лісостепова зона є значущим регіоном з точки зору біорізноманіття, проте стикається з екологічними проблемами, зокрема: з ерозією та зменшенням площі лісових масивів [8].

Оголошуються державними заповідниками території, які мають наукову або народногосподарську цінність. Вони заносяться в спеціальний реєстр. Території заповідників зі всіма природними багатствами, які є у них, становлять державний заповідний фонд. Державні заповідники визначаються постановами Уряду [15]. Будь які зміни території державного заповідника, його охоронної зони можуть бути проведені лише за постановою Уряду. Основна мета заповідного режиму – зберегти генофонд світу (тваринного та рослинного), зберегти різноманіття ландшафтів і підтримувати екологічний баланс [9].

Заповідна мережа слугує місцем для проведення досліджень, де вивчають природу, її процеси та взаємодію екосистем. Вони також мають важливу рекреаційну функцію, надаючи можливість відпочинку та розваги в природному середовищі [14]. Заповідні території – це певні природні ландшафти, які видаляються із використання. Їх головним завданням є охорона природи. До заповідного фонду Лісостепу Волинської області належать види: заказники (ландшафтні, гідрологічні, ботанічні, лісові), парки – пам'ятки.

У регіоні існує 68 заповідних територій, площею 18902,44. Важливе місце в ПЗФ Волинського Лісостепу займають території, які мають загально – державне значення. Серед них 2 ботанічних заказники, 1 ботанічний сад. Дуже цікавим є заказник (ботанічний), який має назву «Воротнів» і знаходиться у Луцькому районі в с. Воротнів, площа якого 600 га. Крім заказників в регіоні існують природні утворення, які відрізняються своєю особливою природоохоронною, науковою або естетичною цінністю (кількість – 30), площею 92,89 га [5].

За останні десятиліття охорона довкілля отримала виняткової гостроти. Господарська діяльність спричинила занепад генофонду світу (рослинного і тваринного), понизила стабільність та продуктивність природних екосистем, зменшила екологічну рівновагу біосфери. Це може спричинити згубні наслідки. Тому однією з результативніших форм збереження територій у природному стані є їх заповідання [11]. Серед адміністративних регіонів, які входять у зону Лісостепу Волині, максимально природоохоронних комплексів мають Луцький (19), Володимирський (17), Локачинський (17), затим що на їх територіях сконцентровано максимум малозмінених природних масивів (болотних, лісових) та озер. Горохівський регіон, де господарське освоєння, нараховує лише 11 заповідних територій. Іваничівський регіон нараховує три заповідні території.

Заповідні території на теренах області існують з 1972 року. Спочатку домінували дрібні, зчаста – природні утворення, які відрізняються своєю особливою природоохоронною, науковою або естетичною цінністю, мінімум було заказників. Пізніше, у період з 1979 по 1984 роки було збережено у природному стані значні території. Були створені природні парки та ряд заказників (гідрологічних). У період з 1987 до 1990 року не був взятий під охорону жоден природний комплекс, а з 1991 року запанував новий період заповідання, чому посприяли законодавчі документи: Закон України про ПЗФ (1992 р.). З 1991 по 2000 рік засновано 42 гідрологічних заказника. Серед яких найбільші – у басейнах річок Лісостепу: Черногузка, Гнила Липа, Лучний та інші [10].

Створення заповідного резерву досить значиме, є дуже вчасним і уселяє в нас надію, що наші нащадки успадкують не безплідні пустелі, а багатство біорізноманіття (рослинного та тваринного світу). Отже, основна мета заповідання полягає в тому, щоб запобігти знищенню територій у природному стані [13]. Не збережемо природних цінностей сьогодні – завтра буде пізно. В табл. 1 представлено динаміку ПЗФ зони Лісостепу Волині за роками.

За даними таблиці 1, можна зробити висновок, що з 1990 року кількість територій та площа заказників з особливим ландшафтом, архітектурними спорудами та елементами садового дизайну, що мають культурну та естетичну цінність збільшилися. Це свідчить про зростання уваги до природних комплексів. У той же час об'єкти заповідного режиму, які відрізняються своєю особливою природоохоронною, науковою або естетичною цінністю, зменшились з 16 одиниць до 1990 році до 6 одиниць до 2000 року, а з 2001 року – взагалі відсутні. Це корелюється з чинниками, такими як зміни в організації та управлінні, зміною використання територій або зміною популярності таких місць для відпочинку та розваг.

На рис. 1 представлено структуру ПЗФ Лісостепу Волині за категорією природоохоронних територій в 2022 році.

Динаміка ПЗФ зони Лісостепу Волині за роками

Категорія ПЗФ	ПЗФ (од.)			ПЗФ (тис. га)		
	До 1990	1990-2000	2001-2021	до 1990	1990-2000	2001-2021
Заказники	1	29	4	0,6	26,8	13,2
Заповідні урочища	3	-	3	0,04	-	3,2
Заповідні території (пам'ятки природи)	16	6	-	0,28	0,09	-
Ботанічний сад	1	-	-	0,01	-	-
Заповідні території (парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва)	2	4	-	0,06	0,09	-

Джерело: складено згідно даних регіональної доповіді

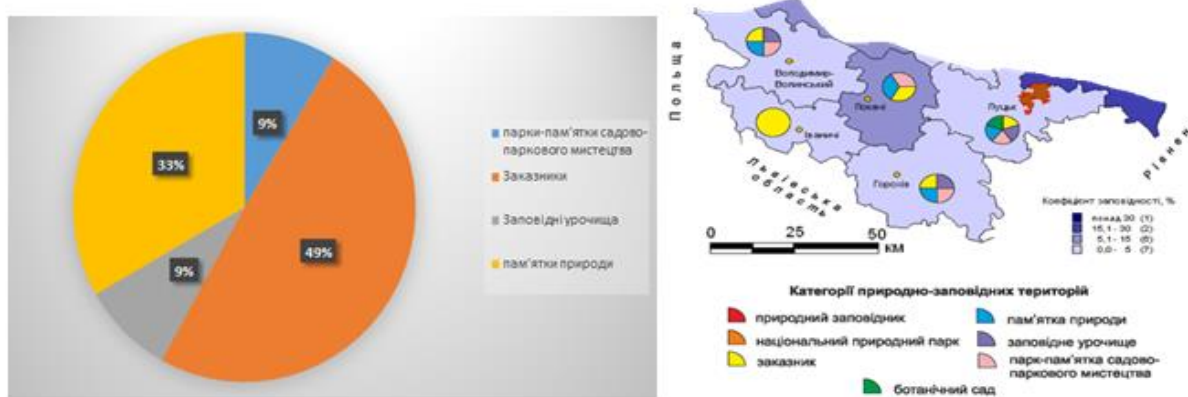


Рис. 1. ПЗФ Лісостепу Волині за категорією природоохоронних територій в 2022 році

Згідно з рис. 1, можна зробити висновок, що найбільшу частку ПЗФ Лісостепу Волині складають заказники, які становлять 49,3% від загальної кількості ПЗФ, їх площа – 91,5%. На другій сходинці території заповідного режиму, які відрізняються своєю особливою природоохоронною, науковою або естетичною цінністю, які складають 33,3% від загальної кількості ПЗФ.

Два інших місця займають урочища та території з особливим ландшафтом, архітектурними спорудами та елементами садового дизайну, що мають культурну та естетичну цінність, на які припадає, відповідно, по 8,7%. Ці дані вказують на значний внесок заказників у загальний ПЗФ області та показують, що ці об'єкти значимі. Заказники охороняють і зберігають типові ландшафти, забезпечуючи умови для існування різноманітних рослинних і тваринних видів.

Минули ті часи, коли втручаючись в природу, людина не ризикувала завдати їй шкоди. Відтепер, у період наукового прогресу, для блага самої ж людини необхідно, щоб взаємодіяння з природою здійснювалися у розумних межах, проте із кожним днем наша природа стає біднішою [12].

Сьогодні перед громадянами з'являються в уяві напрохуд значущі глобальні труднощі: ризик пере-

населення, питання надмірного споживання, витрачання природних ресурсів та резервів, забруднення як ґрунтів, так і водних активів, повітря, щезання з поля зору рослин і тварин (сотень видів), затруєне життєве середовище. Оточуючий нас світ – це будівлі, водосховища, сміттєзвалища, а живої природи все менше і менше. Руйнування генофонду світу (рослинного і тваринного) нараз властиве для всіх регіонів України і воно загрозливіше, ніж економічна криза. Проблема природного середовища та розумного його використання все дужче турбує людство [2]. Природа часто не має змоги відновити умови до рівня, що відповідає потребам людського існування. В Лісостеповій частині Волині сформована природоохоронна мережа, яка обсягає заповідні території та окремі місцини в плані збереження біорізноманіття. Однак не всі території вже отримали статус заповідників. Це стосується болотних угідь у заплавах річок (Стир, Луга), а також лісових масивів у регіонах, що належать до зони Лісостепу [6].

Головні висновки. Особливість територій ПЗФ полягає в їх винятковій привабливості для туристичної індустрії. Однак поліпшення доступу для туристів повинно поєднуватися з необхідністю обмеження антропогенного впливу на ці об'єкти. Ці обмеження

та заборони спрямовані на збереження природи завдяки її унікальності та цінності.

Основна увага діяльності працівників екологічних управлінь зосереджена на пріоритетних питаннях, передбачених річним планом заходів із виконання покладених завдань до 2030 року, згідно із політичними пріоритетами, стратегічними напрямками і завданнями щодо реалізації в області Програми з екологічної безпеки. Загалом, на території Лісостепу Волині сформована заповідна мережа. Однак ще не всі цінні території отримали статус заповідних. Це стосується, зокрема, болотяних угідь у заплавах річок (Луга, Стир), а також важкодоступних лісових масивів Володимирського та Луцького районів.

Потребує істотного поліпшення просторова структура ПЗФ, а саме – утворення заказників (гідрологічних) для охорони річок, озер та болотних угідь. Доцільно посилити заповідання озерних екосистем, оскільки в багатьох озерах спостерігається прогресування процесів евтрофікації. Внаслідок прове-

дення широкомасштабного сільськогосподарського освоєння майже повністю зникли місця гніздування тварин, серед яких журавлі (сірі) та інші.

Перспективи використання результатів дослідження. Перспективи використання дослідження ПЗФ Лісостепу Волині можуть обсягати декілька важливих напрямків, а саме: можуть стати базою для покращення регіональних управлінських планів охорони природних територій, а також вивчення та документування природних комплексів ПЗФ Лісостепу Волині створює можливості для розвитку екологічного туризму. Результати досліджень можуть бути використані для вдосконалення науково-дослідних програм, спрямованих на моніторинг екологічного стану заповідних територій.

Загалом, дослідження ПЗФ Лісостепу Волині має значний потенціал для забезпечення сталого розвитку, збереження природних запасів та підтримки балансу між складовими (екологічною, соціальною і економічною) життя регіону.

Література

1. Система категорій природно – заповідного фонду України та питання її оптимізації / Т.Л. Андрієнко та ін.; за ред. Т. Л. Андрієнко. Київ, 2011. 60 с.
2. Брусак В. П. Географічні дослідження природно- заповідних територій: методологія і структура. Вісник Львівського ун-ту. Серія Географія. 2007. Вип. 34. С. 31–42.
3. Генік О.В., Козловський С.О., Генік Я.В. Природно-заповідний фонд України: моделювання та прогнозування економічної діяльності: монографія. Львів, 2017. 304 с.
4. Гетьманчук А. І. Природно-заповідний фонд Волинської області. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. 2015. Вип. 216 (1). С. 93-100.
5. Гулай Л.Д. Характеристика природно-заповідного фонду Волинської області. Людина та довкілля. Проблеми неоекології. Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки. 2016. № 3–4(26). С. 62–68.
6. Довкілля Волині 2020 : Статистичний збірник / За ред. Науменка В. Ю. – Луцьк : Головне управління статистики у Волинській області, 2021. 162 с.
7. Екологічний паспорт Волинської області (2021 р.) –URL.:<http://voladm.gov.ua/ekologichnij-pasportvolinskoj-oblasti> (дата звернення 21.11.2024)
8. Карпюк З.К. Розвиток заповідної справи на Волинському Поліссі. Природа Західного Полісся та прилеглих територій: Науковий вісник ВНУ імені Лесі Українки, Розділ II. Біологія. 2013. № 10. С. 117–136.
9. Ковальчук А.А. Заповідна справа. Навч.посіб. Ужгород. 2016. 328 с.
10. Мельник В. І., Кузьмішина І. І., Коцун Л. О., Войтюк В. П., Лісовська Т. П. Об'єкти природно-заповідного фонду Волинської височини //Природа Західного Полісся та прилеглих територій: Науковий вісник ВНУ імені Лесі Українки, Розділ II. Біологія. 2015. № 7. С. 116–136.
11. Мольчак, Я. О. Оцінка рекреаційної сприятливості об'єктів природно-заповідного фонду Волинської області / Я. О. Мольчак., В. О. Фесюк, І. Я. Мисковець. URL: http://eko-kremen.mvk.pl.ua/sborn2004_02_01.shtml (дата звернення 18.11.2024).
12. Поверхневі води Волині / І.Я. Мисковець та ін.; за ред. Я.О. Мольчака. Луцьк, 2019. 344 с.
13. Biodiversity loss and ecological network struchre /J. Memmott, D. Alonso et al. Ecological Networks. Oxford U. Press., 2005. Vol. 102. P. 325-344.
14. Nie W., Shi Y., Siaw M. J., Yang F., Wu R., Wu X., Zheng X., Bao Z., Constructing and optimizing ecological network at county and town Scale: The case of Anji Countu China. Ecological Indicators. 2021. Vol. 132. P. 680-896.
15. Olofsson P., Foody G., Herold M., Stehman S. V., Woodcock C. E.,Wulder M. A. Practices for estimating area and assessing accuracy of land change. Remole Sensing of Environment. 2014. Vol. 148. P. 42-57.

УДК 658:502.131.1

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.6-57.3>

ХАРАКТЕРИСТИКА ТА КЛАСИФІКАЦІЯ СТЕЙКХОЛДЕРІВ ПРИРОДООХОРОННИХ ТЕРИТОРІЙ

Пацева І.Г.¹, Хрутьба Ю.С.¹, Хрутьба О.В.²¹Державний університет «Житомирська політехніка»
ул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир²Національний транспортний університет
вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 312, 01010, м. Київ
hrutbaj@gmail.com

У статті досліджено теоретико-методологічні засади класифікації та характеристики стейкхолдерів природоохоронних територій в контексті впровадження сучасних технологій захисту довкілля. Проаналізовано сучасні підходи до визначення та групування зацікавлених сторін у сфері захисту довкілля. Встановлено, що ефективне управління природоохоронними територіями потребує системної взаємодії між трьома ключовими групами стейкхолдерів: державними структурами, бізнесом та громадськістю. Визначено специфічні ролі та функції кожної групи: державні структури забезпечують нормативне регулювання та контроль; бізнес-сектор відповідає за економічну складову через фінансування та впровадження екологічних технологій; громадський сектор здійснює функції контролю, просвітництва та практичного впровадження природоохоронних заходів. Обґрунтовано необхідність врахування технологічних особливостей взаємодії стейкхолдерів при впровадженні природоохоронних заходів, зокрема при вирішенні таких завдань як відновлення порушених екосистем, запобігання забрудненню довкілля, збереження біорізноманіття та забезпечення екологічної безпеки природоохоронних територій. Запропоновано модель взаємодії між різними зацікавленими сторонами у сфері захисту довкілля, яка враховує їх роль у збереженні біорізноманіття та забезпеченні екологічної безпеки природоохоронних територій. Розроблено класифікацію стейкхолдерів, яка враховує їх функціональні особливості та вплив на впровадження природоохоронних технологій. Визначено, що для успішного управління природоохоронними територіями критично важливим є налагодження системної взаємодії між усіма групами стейкхолдерів, що дозволяє оптимізувати процеси прийняття рішень щодо збереження біорізноманіття та забезпечення екологічної безпеки. Такий комплексний підхід дозволяє подолати наявні обмеження у впровадженні партисипативного управління природоохоронними територіями та забезпечити реалізацію заявлених переваг залучення стейкхолдерів. *Ключові слова:* природоохоронні території, стейкхолдери, класифікація стейкхолдерів, управління природоохоронними територіями, захист довкілля, природно-заповідний фонд, екологічна безпека, збереження біорізноманіття, природоохоронні технології, взаємодія зацікавлених сторін.

Characteristics and classification of protected areas stakeholders. Patseva I., Khrutba Yu., Khrutba O.

The article examines the theoretical and methodological foundations for classification and characterization of stakeholders in protected areas within the context of implementing modern environmental protection technologies. The study analyzes contemporary approaches to identifying and grouping stakeholders in environmental protection. It has been established that effective management of protected areas requires systematic interaction between three key stakeholder groups: government structures, business, and the public. The specific roles and functions of each group are defined: government structures provide regulatory framework and control; the business sector is responsible for the economic component through financing and implementation of environmental technologies; the public sector performs functions of control, education, and practical implementation of environmental protection measures. The necessity of considering technological aspects of stakeholder interaction in implementing environmental protection measures is substantiated, particularly in addressing such tasks as restoration of damaged ecosystems, prevention of environmental pollution, biodiversity conservation, and ensuring environmental safety of protected areas. A model of interaction between different stakeholders in environmental protection is proposed, which takes into account their role in biodiversity conservation and ensuring environmental safety of protected areas. A classification of stakeholders has been developed that considers their functional characteristics and impact on the implementation of environmental protection technologies. This comprehensive approach allows overcoming existing limitations in implementing participatory management of protected areas and ensuring the realization of stated advantages of stakeholder engagement. *Key words:* protected areas, stakeholders, stakeholder classification, protected area management, environmental protection, nature reserve fund, environmental safety, biodiversity conservation, environmental protection technologies, stakeholder interaction.

Постановка проблеми. Інтенсивне антропогенне навантаження на природні екосистеми та зростаюча деградація природоохоронних територій, що особливо загострилась внаслідок військових дій в Україні, вимагають впровадження ефективних технологічних рішень для їх збереження та відновлення. В умовах, коли 27% природоохоронних територій України (близько 1,2 млн га) перебувають під загрозою, а деградація природних середовищ існування

призводить до втрати біорізноманіття, що становить 35% європейського біологічного різноманіття, особливої актуальності набуває проблема ідентифікації та класифікації стейкхолдерів природоохоронних територій [2; 3]. Відсутність системного підходу до визначення ролі та інтересів зацікавлених сторін ускладнює впровадження природоохоронних технологій, спрямованих на відновлення пошкоджених екосистем, знешкодження забруднень важкими мета-

лами та рекультивацию земель. Неузгодженість дій різних груп стейкхолдерів (природокористувачів, природоохоронних установ, місцевих громад, бізнесу) при впровадженні технологічних рішень щодо захисту довкілля призводить до зниження ефективності природоохоронних заходів та нераціонального використання природних ресурсів. Враховуючи масштаби екологічних проблем, зокрема забруднення ґрунтів важкими металами, деградацію рослинного покриву та посилення ерозійних процесів, нагальною стає потреба чіткої характеристики та класифікації стейкхолдерів з позиції їх впливу на вибір та впровадження технологій захисту навколишнього середовища [4]. Це дозволить оптимізувати процеси прийняття технологічних рішень щодо збереження біорізноманіття, відновлення екосистем та забезпечення екологічної безпеки природоохоронних територій відповідно до Цілей сталого розвитку ООН.

Актуальність дослідження. Аналіз стейкхолдерів (SA) є ключовим інструментом у формуванні та реалізації політики управління природними ресурсами, що дозволяє ефективно визначати та оцінювати інтереси всіх зацікавлених сторін у природоохоронній системі. Особлива цінність цього підходу полягає в його здатності вирішувати комплексні завдання, пов'язані з багатоцільовим використанням природних ресурсів, врегулюванням питань власності, часовими компромісами та зовнішніми ефектами. Методологія SA забезпечує системний підхід до розуміння взаємодії різних акторів та їхніх інтересів, що є критично важливим для розробки ефективних, справедливих та екологічно стійких стратегій розвитку природоохоронних територій.

В умовах зростаючої складності та динамічності екологічних проблем особливої актуальності набуває потреба у гнучкому та прозорому процесі прийняття рішень, який би враховував різноманітність знань, цінностей та інтересів усіх залучених сторін. Це зумовлює необхідність розвитку трьох ключових напрямків досліджень: поглиблення емпіричних знань про ключових стейкхолдерів та фактори, що впливають на розподіл ресурсів; удосконалення методологічних підходів до аналізу інтересів зацікавлених сторін; розширення можливостей для ефективного втручання та вирішення конфліктів у сфері природокористування.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження безпосередньо пов'язане з реалізацією Цілей сталого розвитку ООН щодо збереження екосистем та біорізноманіття, оскільки розроблена класифікація стейкхолдерів природоохоронних територій створює методологічне підґрунтя для ефективного впровадження природозахисних технологій та відновлення пошкоджених екосистем в умовах зростаючого антропогенного навантаження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Базове визначення поняття «стейкхолдер», запро-

поноване Р. Е. Фріманом, характеризує їх як групи, що можуть вплинути на досягнення цілей організації або на її роботу в цілому [5]. У контексті природоохоронних територій стейкхолдери представляють собою групи людей або організацій, чий внесок та діяльність безпосередньо впливають на стан довкілля та ефективність впровадження природозахисних технологій.

Дослідженню різних аспектів впливу стейкхолдерів на екологічний стан територій та впровадження природоохоронних технологій присвячені роботи багатьох вчених. Так, Ньюбоулд [6] та Луффман [7] пропонують розділяти стейкхолдерів на групи впливу за характером їх залучення: ті, що інвестують у природоохоронні проекти; керівники природоохоронних установ; фахівці з впровадження природозахисних технологій; економічні партнери.

Згідно з міжнародними стандартами РМВок-6 [8] та ISO 21500:2021 [9], основною метою визначення зацікавлених сторін є ідентифікація осіб, груп або організацій, які беруть участь у природоохоронній діяльності (прямо або опосередковано) або впливають на стан довкілля, та документальне підтвердження інформації щодо ступеня їх впливу на екологічну ситуацію.

Міжнародні дослідження останніх років значно розширили розуміння ролі стейкхолдерів у природоохоронній сфері. Зокрема, Reed M. S. [10] у своїй роботі наголошують на важливості залучення місцевих громад як ключових стейкхолдерів при впровадженні технологій відновлення екосистем. Наприклад, стверджується, що участь зацікавлених сторін зменшує ймовірність маргіналізації тих, хто перебуває на периферії контексту прийняття рішень або суспільства. Таким чином, більш релевантні зацікавлені сторони можуть бути залучені до рішень, які їх стосуються, і може сприятися активній громадянській позиції, що принесе користь для суспільства в цілому показують, як залучення зацікавлених сторін може забезпечити релевантність сценаріїв для прийняття рішень на місцевому рівні [11].

Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Аналіз наукової літератури свідчить про значний інтерес дослідників до проблематики управління природоохоронними територіями. Проте деякі роботи не враховували технологічний аспект такої взаємодії.

Новизна. Наукова новизна дослідження полягає у представленні комплексної моделі, яка враховує не лише традиційні аспекти взаємодії, але й технологічну складову природоохоронної діяльності.

Методологічне або загальнонаукове значення. Методологічне значення дослідження визначається його внеском у розвиток теорії управління природоохоронними територіями. Розроблені оцінки взаємодії та впливу різних груп стейкхолдерів можуть бути застосовані не лише в контексті природоохо-

ронної діяльності, але й в інших сферах, де присутня складна система взаємодії зацікавлених сторін.

Викладення основного матеріалу. Важливо відзначити, що у сфері захисту довкілля стейкхолдери можуть бути як внутрішніми: працівники природоохоронних установ, екологічні інспектори, фахівці з природоохоронних технологій, так і зовнішніми: місцеві громади, промислові підприємства, громадські екологічні організації, наукові установи; міжнародні партнери; донори та інші стейкхолдери, які впливають на територію та зацікавлені в збереженні її природних ресурсів, екологічних та соціальних ефектах від природоохоронної діяльності. Стейкхолдери можуть мати різний рівень впливу на управління природоохоронною територією. При цьому їхні інтереси та цінності щодо використання природоохоронних територій та впровадження технологій захисту довкілля можуть бути несумісними та суперечити один одному.

Особливої актуальності набуває вивчення взаємодії стейкхолдерів у контексті впровадження сучасних технологій захисту навколишнього середовища, зокрема при вирішенні таких завдань як відновлення порушених екосистем, запобігання забрудненню

довкілля, збереження біорізноманіття та забезпечення екологічної безпеки природоохоронних територій.

Зовнішнє управління здійснює Міністерство захисту довкілля як головний орган у сфері заповідної справи. Додаткові групи стейкхолдерів включають наукові установи, міжнародні організації, місцеві громади та донорів. Основні групи зацікавлених сторін об'єктів, які входять до структури природно-заповідного фонду показані на рис. 1 [9].

Організаційна структура природоохоронної території визначає ролі та повноваження, які узгоджені між усіма стейкхолдерами. Структура залежить від природоохоронного законодавства, міжнародних угод та домовленостей між зацікавленими сторонами. До основних внутрішніх стейкхолдерів належать керівник об'єкту ПЗФ, який відповідає за природоохоронну діяльність, команда управління, що координує роботу території, та команда території ПЗФ, яка виконує безпосередню природоохоронну діяльність.

Зовнішнє управління природоохоронною територією здійснює Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. На схемі представлено

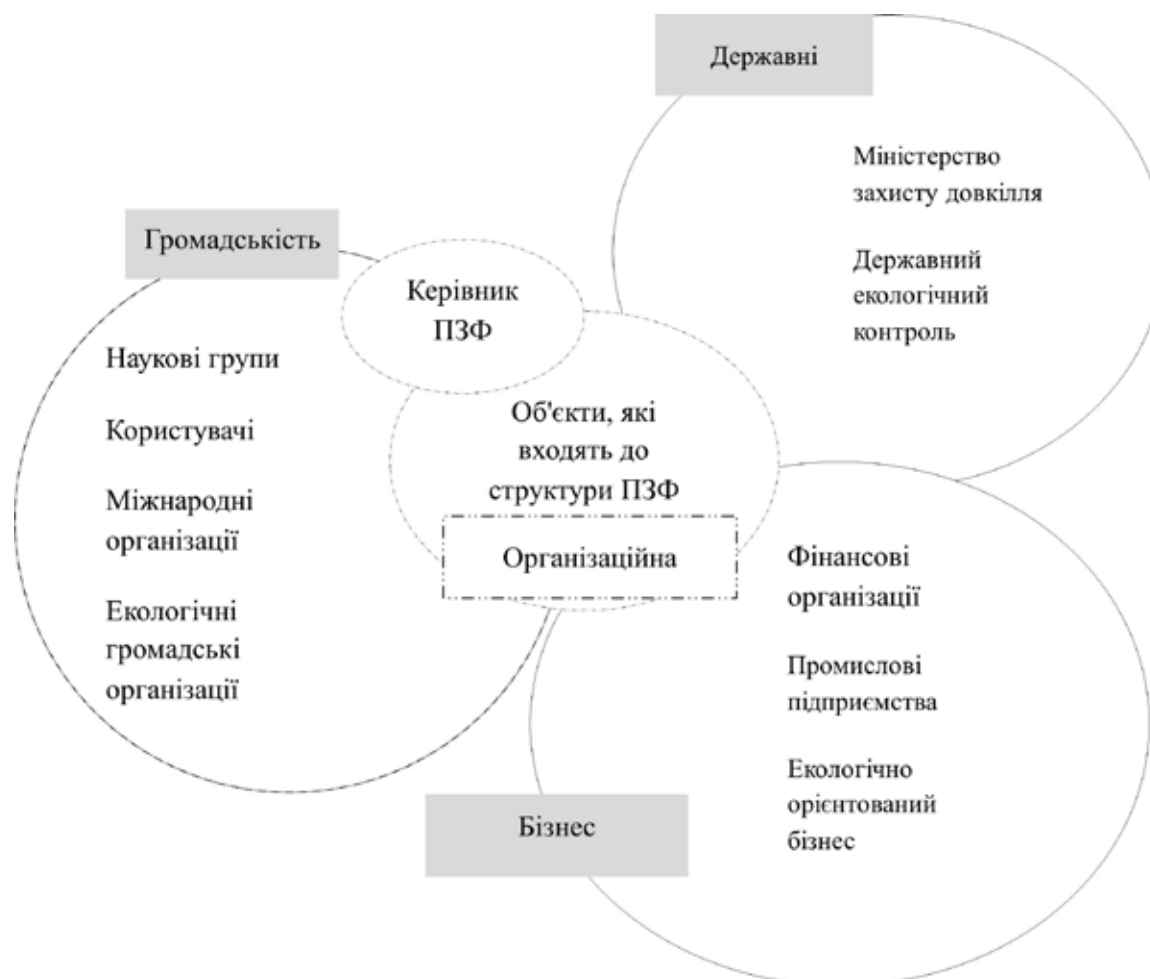


Рис. 1. Стейкхолдери природоохоронної території [9]

Таблиця 1

Представлення моделі взаємодії між різними зацікавленими сторонами у сфері захисту довкілля

Група стейкхолдерів	Складові	Роль у захисті довкілля	Технологічні особливості взаємодії
Об'єкти ПЗФ	Природні території (біосферні та природні заповідники, національні природні парки, регіональні ландшафтні парки, заказники, пам'ятки природи, заповідні урочища Штучні об'єкти (ботанічні сади, дендропарки, зоопарки, парки-пам'ятки)	Збереження біорізноманіття Відновлення екосистем Наукові дослідження	Використання технологій моніторингу екосистем Впровадження методів відновлення природних комплексів Застосування ГІС-технологій для картування
Громадськість	Благодійні організації Екологічні громадські організації Освітні заклади (НЕНЦ, ВНЗ) Міжнародні організації	Громадський контроль Екологічна освіта Популяризація природоохоронної діяльності Використання цифрових платформ для моніторингу Міжнародна координація Фінансова підтримка Обмін досвідом	Впровадження освітніх технологій Застосування соціальних медіа для комунікації Трансфер передових технологій Міжнародні системи моніторингу Глобальні бази даних
Державні структури	Міністерство захисту довкілля Державний екологічний контроль МСОП	Координація природоохоронної діяльності Нормативне регулювання Контроль дотримання законодавства	Впровадження систем електронного урядування Використання технологій контролю забруднень Автоматизовані системи моніторингу
Бізнес	Промислові підприємства Екологічно орієнтований бізнес	Розробники екотехнологій Впровадження екологічних технологій Фінансування природоохоронних заходів Розробка інноваційних рішень	Впровадження чистих технологій Системи екологічного менеджменту Технології переробки відходів

Джерело на основі [9]

додаткові групи стейкхолдерів: наукові установи, міжнародні організації, місцеві громади та донори.

Процеси взаємодії стейкхолдерів у сфері захисту довкілля включають три основні етапи: визначення ключових стейкхолдерів природоохоронної території, управління взаємодією стейкхолдерів та моніторинг їх залучення. При визначенні стейкхолдерів природоохоронних територій важливо враховувати їх роль у збереженні довкілля. Кожен стейкхолдер має специфічний вплив на природоохоронну діяльність.

Таким чином, ефективне управління природоохоронною територією вимагає налагодження системної взаємодії між усіма групами стейкхолдерів, документування цієї взаємодії у відповідних реєстрах та планах, а також постійного моніторингу результативності співпраці.

Таким чином, до зацікавлених сторін в об'єктах ПЗФ на основі GreenPM додатково слід віднести такі групи стейкхолдерів, як державні природоохоронні структури та органи місцевого самоврядування, що несуть відповідальність за стан довкілля;

бізнес-структури, що зацікавлені в стабілізації бізнес-процесів і збереженні екологічної безпеки (підприємства різних форм власності) та громада (жителі, громадські екологічні організації, об'єднання громадян тощо).

Структура керування природоохоронною діяльністю включає три рівні – державний, громадський та бізнес.

В контексті природоохоронної діяльності громадський сектор забезпечує всебічну підтримку та контроль через взаємодію різних стейкхолдерів: наукові групи здійснюють дослідження екосистем та розробляють методичні рекомендації; користувачі природних ресурсів забезпечують збалансоване природокористування та надають зворотній зв'язок; міжнародні організації надають експертну та грантову підтримку; екологічні громадські організації здійснюють громадський контроль, проводять просвітницьку діяльність та організують природоохоронні заходи; освітні заклади формують екологічну свідомість населення та готують профільних фахівців, що в комплексі створює ефективну систему

громадської участі у збереженні природного середовища.

Висновки. У результаті проведеного дослідження було систематизовано та класифіковано основні групи стейкхолдерів природоохоронних територій, що включають державні структури, бізнес та громадськість, кожна з яких відіграє специфічну роль у збереженні довкілля. Встановлено, що ефективна взаємодія між цими групами забезпечується через різні механізми: державні структури здійснюють нормативне регулювання та контроль, бізнес-сектор забезпечує економічну складову через фінансування та впровадження екологічних технологій, а громадський сектор реалізує функції контролю, просвітництва та практичного впровадження природоохоронних заходів. Визначено, що для успішного

управління природоохоронними територіями критично важливим є налагодження системної взаємодії між усіма групами стейкхолдерів, що дозволяє оптимізувати процеси прийняття рішень щодо збереження біорізноманіття та забезпечення екологічної безпеки

Перспективи використання результатів дослідження. Запропонована класифікація та характеристика стейкхолдерів природоохоронних територій має значні перспективи практичного застосування для вдосконалення системи управління об'єктами ПЗФ. Результати дослідження можуть бути використані для розробки нових механізмів взаємодії між державними структурами, бізнесом та громадськістю при впровадженні природоохоронних технологій.

Література

1. Про природно-заповідний фонд України : Закон України від 16 червня 1992 р. № 2456-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-12> (дата звернення: 20.12.2024)
2. План України із заповідання цінних природних територій до 2030 р. виконаний на 3.5%. Українська природоохоронна група : веб-сайт. URL: <https://uncg.org.ua/plan-ukrainy-iz-zapovidannia-tsinnykh-prirodnykh-terytorij-do-2030r-vykonanuj-na-3-5/> (дата звернення: 18.12.2024)
3. Природа знищується швидше, ніж зберігається: за минулий рік площа заповідного фонду України зросла на 0,02%. Українська природоохоронна група : веб-сайт. URL: <https://uncg.org.ua/pryroda-znyshhuyetsya-shvydshe-nizh-zberigayetsya/> (дата звернення: 06.12.2024)
4. Василюк О. В., Філюта К. О., Шаповал В. В. Допомога громадських організацій установам природно-заповідного фонду України в умовах повномасштабної війни. Київ; Чернівці : Друк Арт, 2024. 80 с.
5. Freeman R. E. Strategic Management: A Stakeholder Approach. Boston: Pitman, 1984. 276 p.
6. Newbould G., Luffman G. Successful Business Politics. London: Gower, 1989. 78 p.
7. Luffman G. A., Reed R. The Strategy and Performance of British Industry, 1970-80. London: Macmillan Press, 1984. 156 p.
8. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide). 6th ed. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2019. 792 p.
9. ISO 21500:2021. Guidance on project management. URL: http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=50003 (date of access: 27.11.2024)
10. Reed M. S. Stakeholder Participation for Environmental Management: A Literature Review. Biological Conservation. 2008. Vol. 141. P. 2417-2431.
11. Walz A., Lardelli C., Behrendt H., Grêt-Regamey A., Lundström C., Kytzia S., Bebi P. Participatory scenario analysis for integrated regional modelling. Landscape and Urban Planning. 2007. Vol. 81. P. 114-131.
12. Reed M. S., Kenter J., Bonn A., Broad K., Burt T. P., Fazey I. R., Fraser E. D. G., Hubacek K., Nainggolan D., Quinn C. H., Stringer L. C., Ravera F. Participatory scenario development for environmental management: A methodological framework illustrated with experience from the UK uplands. Journal of Environmental Management. 2013. Vol. 128. P. 345-362.
13. Grimble R. J., Chan M. K. Stakeholder analysis for natural resource management in developing countries. Natural Resources Forum. 1995. Vol. 19(2). P. 113-124.

МІНІМІЗАЦІЯ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ У ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ, ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ ПІДХІД

Волошин В.С., Бурко В.А.

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

вул. Гоголя, 29, 49044, м. Дніпро

vsvlshn52@gmail.com, burko_v_a@pstu.edu

Проблема мінімізації промислових відходів є однією з найактуальніших у сучасному світі, оскільки їх накопичення створює значний негативний вплив на навколишнє середовище та здоров'я людини. Традиційні підходи до управління відходами, зосереджені на їх утилізації або переробці після утворення, часто виявляються неефективними та недостатніми для досягнення сталого розвитку. Тому, дослідження та розробка нових методологій, спрямованих на зменшення відходів безпосередньо у джерелі їх виникнення, тобто в технологічних процесах, є надзвичайно важливим завданням. Дана робота пропонує інноваційний підхід до вирішення цієї проблеми, використовуючи принципи нелінійної термодинаміки. На відміну від класичної термодинаміки, яка розглядає лише системи, що перебувають у стані рівноваги, нелінійна термодинаміка аналізує системи, далекі від рівноваги, де процеси протікають з різною швидкістю та інтенсивністю. Це дає змогу отримати глибше розуміння процесів утворення відходів та розробити ефективніші стратегії їх мінімізації.

Ключовим елементом нашого підходу є поняття термодинамічної нерівноважності. Показано, що технологічні процеси, які відбуваються в умовах сильної термодинамічної нерівноважності, мають більший потенціал для мінімізації відходів. Це пов'язано з тим, що в таких умовах система здатна до самоорганізації та саморегуляції, що дозволяє більш ефективно використовувати наявні ресурси та зменшувати утворення побічних продуктів. В роботі показано, що для досягнення мінімального рівня відходоутворення недостатньо просто створити умови сильної термодинамічної нерівноважності. Необхідно також забезпечити надходження додаткової зовнішньої енергії E_w заданої якості. Ця енергія повинна мати такі характеристики, які дозволять вивести ту частину сировини, з якої зазвичай утворюється відхід, зі стану термодинамічної рівноваги та перевести її у стан слабкої нерівноважності. Це створить умови для того, щоб ця частина сировини могла ефективно інтегруватися в корисний продукт, не перетворюючись на відхід. Згідно з розрахунками, для досягнення такого ефекту необхідно ввести додаткову енергію в розрахунковому розмірі не менше 62% від енергії, що використовується в технологічному процесі. Це може здаватися значним енергетичним внеском, однак, враховуючи економічні та екологічні вигоди, отримані внаслідок мінімізації відходів, такі витрати є виправданими. Важливо зазначити, що якість додаткової енергії є не менш важливою, ніж її кількість. Енергія повинна мати такі характеристики, які дозволять ефективно впливати на стан сировини та сприяти мінімізації відходів. В рамках дослідження також було розглянуто питання бифуркації та її впливу на технологічні процеси. Показано, що потрапляння термодинамічної системи до зони парної бифуркації за параметрами феноменологічного рівняння не знижує можливості для технологічного процесу у досягненні теоретичного мінімуму відходоутворення. Це означає, що навіть у випадку, коли технологічний процес проходить через стадію нестабільності, за умови правильного застосування енергетичної інтервенції, мінімізація відходів залишається можливою. Однак, існує межа можливостей мінімізації відходів, яка визначається механізмом переходу виробничої системи з додатковими джерелами енергії зі стану парної бифуркації та відповідного їй стану термодинамічної нерівноважності в стан бифуркаційної парної множинності і далі до хаосу. Це розрахункове обмеження є тим бар'єром, який лімітує досягнення заявленого теоретичного мінімуму. Запропонований методологічний підхід до мінімізації промислових відходів з позицій нелінійної термодинаміки, пропонує новий погляд на проблему відходоутворення та відкриває нові можливості для розробки ефективних екологобезпечних технологій. Він дозволяє не лише зменшити кількість відходів, але й підвищити енергоефективність та ресурсозбереження виробничих процесів, що сприяє переходу до сталого розвитку промисловості. *Ключові слова:* промислові відходи, теоретичний мінімум відходоутворення, зовнішня енергія, ентропія, термодинамічна двоєдність.

Minimization of industrial waste in technological processes, thermodynamic approach. Voloshyn V., Burko V.

The problem of minimization of industrial waste is one of the most urgent in the modern world, since its accumulation creates a significant negative impact on the environment and human health. Traditional approaches to waste management, focused on their disposal or recycling after generation, often turn out to be ineffective and insufficient to achieve sustainable development. Therefore, research and development of new methodologies aimed at reducing waste directly at the source of its origin, that is, in technological processes, is an extremely important task. This work offers an innovative approach to solving this problem using the principles of nonlinear thermodynamics. Unlike classical thermodynamics, which considers only systems in a state of equilibrium, nonlinear thermodynamics analyzes systems far from equilibrium, where processes occur at different speeds and intensities. This allows us to gain a deeper understanding of waste generation processes and develop more effective strategies for their minimization.

The key element of our approach is the concept of thermodynamic disequilibrium. It is shown that technological processes that occur under conditions of strong thermodynamic disequilibrium have a greater potential for minimizing waste. This is due to the fact that under such conditions the system is capable of self-organization and self-regulation, which allows for more efficient use of available

resources and reduction of the formation of by-products. The work shows that to achieve a minimum level of waste generation, it is not enough to simply create conditions of strong thermodynamic disequilibrium. It is also necessary to ensure the receipt of additional external energy E_w of a given quality. This energy must have such characteristics that will allow removing that part of the raw material from which waste is usually formed from the state of thermodynamic equilibrium and transferring it to a state of weak disequilibrium. This will create conditions for this part of the raw material to be effectively integrated into a useful product without turning into waste. According to calculations, to achieve such an effect, it is necessary to introduce additional energy in an estimated amount of at least 62% of the energy used in the technological process. This may seem like a significant energy contribution, however, given the economic and environmental benefits obtained as a result of waste minimization, such costs are justified. It is important to note that the quality of additional energy is no less important than its quantity. Energy must have such characteristics that will allow it to effectively influence the state of raw materials and contribute to waste minimization. The study also considered the issue of bifurcation and its impact on technological processes. It is shown that the entry of a thermodynamic system into the pair bifurcation zone according to the parameters of the phenomenological equation does not reduce the possibilities for the technological process to achieve the theoretical minimum of waste generation. This means that even in the case when the technological process goes through a stage of instability, provided that energy intervention is correctly applied, waste minimization remains possible. However, there is a limit to the possibilities of waste minimization, which is determined by the mechanism of transition of a production system with additional energy sources from the state of pair bifurcation and the corresponding state of thermodynamic disequilibrium to the state of bifurcation pair multiplicity and further to chaos. This computational limitation is the barrier that limits the achievement of the stated theoretical minimum. The proposed methodological approach to the minimization of industrial waste from the standpoint of nonlinear thermodynamics offers a new perspective on the problem of waste generation and opens up new opportunities for the development of effective environmentally friendly technologies. It allows not only to reduce the amount of waste, but also to increase the energy efficiency and resource conservation of production processes, which contributes to the transition to sustainable industrial development. *Key words:* industrial waste, theoretical minimum of waste generation, external energy, entropy, thermodynamic duality.

Питання створення маловідходних і навіть безвідходних технологій є одним із ключових, яким розглядаються в науці про охорону навколишнього середовища. Ці терміни знаходять розуміння та відображені у законодавчій літературі [1, 2], інженерії [3, 4], екологічних науках [5], як фундаментальні, з погляду екологічної безпеки будь-якого виробництва. Глибоке розуміння фізичного сенсу маловідходності та безвідходності виробництва дозволяє знаходити ефективніші способи та методи мінімізації відходів, забезпечувати захист навколишнього середовища від безмежного накопичення промислових відходів. У роботах автора [6, 7] запропоновано та показано на багатьох прикладах методіку оцінки такого показника, як теоретичний мінімум відходоутворення в конкретних технологічних процесах, заснована на їх термодинамічних властивостях. Подібні схеми для різноманітних технологічних процесів включають зіставлення двох графіків: залежностей описуваних феноменологічним рівнянням Л.А. Онсагера для визначення ентропії в системах зі слабкою термодинамічною нерівноважністю і кривою, що показує залежність термодинамічних сил X_i від параметричного коефіцієнта $\lambda = \Delta X_i / X_i$. Проте механізми, і навіть параметричні значення граничних умов такого явища виявлено були.

Зокрема, неочевидним було питання про граничні значення шуканого мінімуму, його умови та причини появи. Як впливає із пізніх робіт І. Пригожина [8, 9], такі залежності виходили з розуміння умов термодинамічної нерівноважності, незворотності та можливих умов стаціонарності таких систем. Однак, при цьому не враховувалися умови, за яких такі системи переходили до стану невизначеності, що робило їх некерованими.

Як показали дослідження, такі невизначені стани можуть стати причинами недосяжності теоретич-

ного мінімуму відходоутворення для певних класів технологічних процесів. Зокрема, зміна (зростання) ентропії у відходоутворюючих системах, як показник мінімізації відходоутворюючих матеріальних потоків, це закономірна величина, яка залежить від якості енергії, що використовується і визначає свій вектор у напрямку протилежному ефективній переробці сировини [10]. Крім того, мінімізація матеріальних потоків для однієї з частин технологічного процесу (наприклад, сировина, з якої виходить відхід), неможлива без відповідної інтерпретації першого закону термодинаміки [11] у тому його розумінні, яке давало відповідь на питання про структурування зовнішньої енергії E_0 та корисної роботи A_0 , яка відбувається у системі.

У такому контексті залишається актуальним питання: наскільки досяжним є такий теоретичний мінімум відходів у технологічному процесі і від чого він залежить. Представимо технологічний процес, який спрямований на одержання готової корисної продукції (p) та утворення при цьому деякого відходу (w). Реалізація цього технологічного процесу здійснюється у межах деякої виробничої системи. Для такого технологічного процесу інтерпретація першого закону термодинаміки здійснюється у вигляді $E_0 = \Delta U + (A_{0p} + A_{0w})$, де E_0 – підведена зовнішня енергія; ΔU – внутрішня енергія системи; A_{0p} – корисна робота системи, спрямовану отримання продукції; A_{0w} – робота системи, спрямовану отримання відхода.

З метою мінімізації відходів усередині джерела виникнення – самого технологічного процесу, вимагатимемо присутності додаткового джерела зовнішньої енергії ΔE_w . Тоді перший закон термодинаміки може бути записаний у наступному вигляді: $E_0 + \Delta E_w = \Delta U + (A_{0p} + A_w)$, де: A_w – робота, що здійснюється для впорядкованого перетворення на про-

дукцію тієї частини сировини J_w , яка у звичайному вигляді переходить у відхід (рис. 1). У контексті технологічного процесу, спрямованого на виробництво готової продукції (р) та утворення відходів (w), величина ΔU^* відображає енергію, що зберігається всередині системи, включаючи всі форми внутрішньої енергії: кінетичну, потенційну, хімічну та термодинамічну, у тому числі, ендогенну, що відноситься до перетворення матеріального потоку J_w . Ця

енергія може змінюватися в результаті підведення або відведення енергії ΔE_w та виконання роботи системою $A_{op} + A_w$.

Припустимо, що система змінюватиметься таким чином, щоб робота з перетворення тієї частини сировини, з якої виходить відхід $A_{ow} \rightarrow 0$. Це означає, що відходи в системі матимуть максимальне значення.

Припустимо тепер, що частина роботи в системі, що витрачається на перетворення тієї частини сиро-

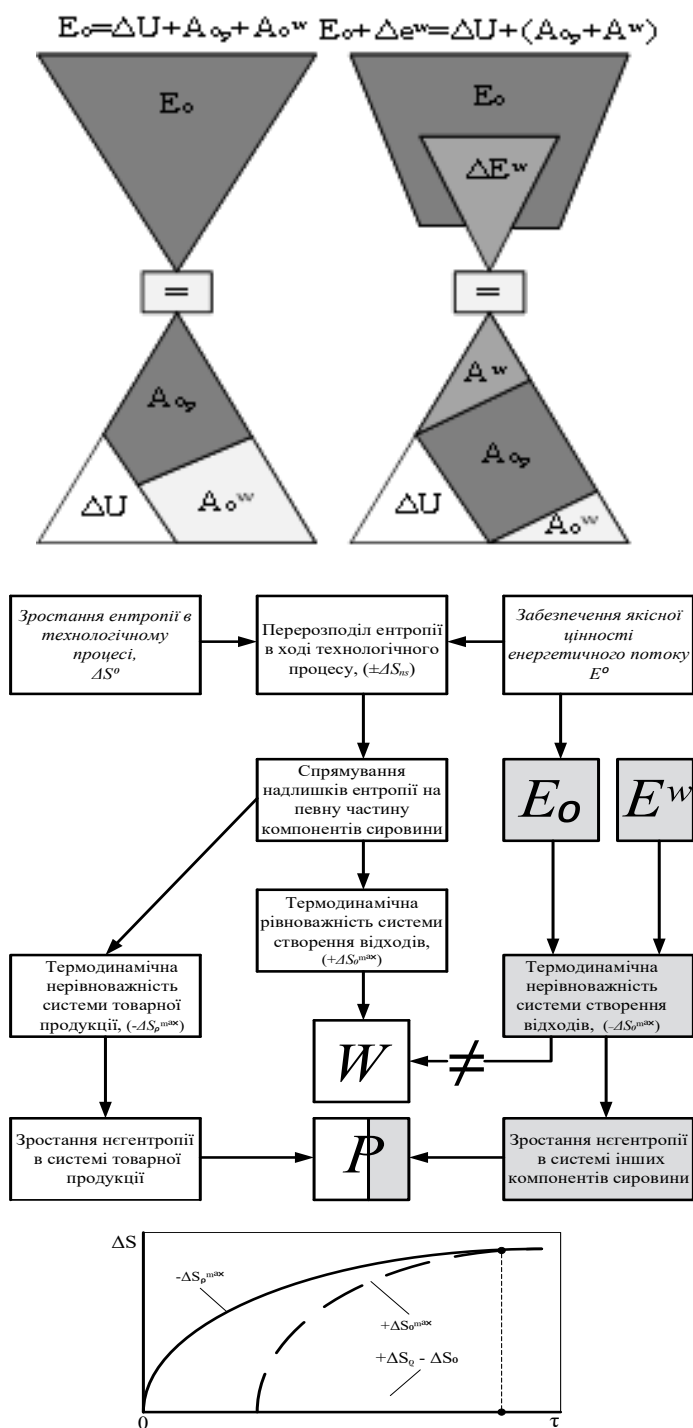


Рис. 1. Енергетичний баланс та умови перерозподілу ентропії та негентропії у процесі виробництва корисних продуктів та їх графічна інтерпретація для розумів першого та іншого законів термодинаміки

вини J_w , з якої раніше виходив відхід $A_0 w \neq 0$ і зростатиме в результаті підведення додаткової зовнішньої енергії певної якості. Частина цієї енергії знову піде на збільшення внутрішньої енергії ΔU^* , а інша частина у вигляді роботи $A_{0w} + A_w > 0$ – витрачається на перетворення зазначеної раніше частини сировини J_w . Але цей «відхід» матиме дещо інші якості, які роблять його кориснішим. На це ясно вказують зміни, що відбуватимуться з ентропією такої системи (рис. 1).

Якщо об'єктом аналізу вектора зміни ентропії є нерівноважна неізольована система, в якій протікають як дисипативні, так і впорядковані, репаративні процеси перетворення енергії та речовини, то інший закон для інтегральної ентропії можна записати у вигляді $\Delta S_k = \sum k \Delta S_k^{\pm} \geq 0$, де ΔS_k^{\pm} відноситься до тієї з k -их властивостей, які в даній системі змінюються в дисипативному ($\Delta S_k^{\pm} \pm > 0$) або репаративному ($\Delta S_k^{\pm} \pm \leq 0$) напрямках. Подібна схема реалізує принцип, що відображається у відомій теоремі І. Пригожина, згідно з яким, для таких систем існують можливості для емісії ентропії в надсистему та зворотні процеси енергетичної інтервенції з надсистеми в систему, що кореспондується з принципом термодинамічної двоєдності, описаної в роботі [12], а також із роботами авторів [13, 14].

Зокрема, шляхом зниження ΔU_w (частини внутрішньої енергії, пов'язаної з накопиченням непридатних відходів) та перерозподілу енергії ΔE_w на корисне перетворення сировини, система стає термодинамічно ефективнішою. Подібний перерозподіл сприяє зниженню зростанню ентропії відходів (за рахунок їх упорядкованості та корисності) [15].

Стосовно нашого випадку доречним буде розгляд рівняння Л. Онсагера для отримання ентропії в термодинамічно близьких до рівноваги системах на підставі перетвореної формули [7]

$$\Delta[S] = (J_0 X_0 + J_w X_w) \lambda (1 - \lambda) \quad (1)$$

Тут X_0 і X_w відповідно, термодинамічні сили, спрямовані на перетворення частини матеріального потоку (частини сировини) J_0 в готову продукцію, і матеріального потоку J_w для частини сировини, яка раніше потрапляла у відхід, а тепер – в незаплановану товарну продукцію. $\lambda = \frac{X_w}{X_0 + X_w}$ – деякий феноменологічний коефіцієнт, що визначає відношення докладання шуканих сил X_0 і X_w і досконалості при цьому роботу A_0 і A_w відповідно. Співвіднесемо обидві частини цього виразу з тією роботою, яка припадає на одержання товарної продукції за допомогою енергії E_0 наступним чином

$$\frac{\Delta[S]}{E_0} = \frac{(J_0 X_0 + J_w X_w)}{E_0} \lambda (1 - \lambda) \quad (2)$$

Та запишемо в наступному вигляді:

$$\lambda_s = r \lambda (1 - \lambda) \quad (3)$$

де обидві частини вираз мають власний зміст, що відображає їх роль у феноменологічній кривій [6]. А саме, $\lambda_s = \frac{\Delta[S]}{E_0}$ – наведений показник зміни ентропії всієї виробничої системи до тієї частини зовнішньої енергії, яка спочатку є у системі. А $r = \frac{(J_0 X_0 + J_w X_w)}{E_0}$ – термодинамічний показник, що відображає відношення сумарної роботи з перетворення всієї сировини ($J_0 + J_w$) в товарну продукцію до базового значення енергії E_0 . Саме такий показник пов'язує теоретичний мінімум відходуотворення таких систем з якісними та кількісними характеристиками зовнішньої енергії, що підводиться в систему. Представимо вираз (2) у вигляді логістичного відображення відповідної функції з характерними для неї властивостями [16, 17].

$$(\lambda_s)_n = r \lambda_{n-1} (1 - \lambda_{n-1}) \quad (4)$$

Для цього рівняння вимагатимемо виконання наступних умов:

1. Послідовність ітерації повинна дотримуватися за умови сумісності параметрів, $\lambda_s = \frac{\Delta[S]}{E_0}$ та $\lambda = \frac{X_w}{X_0 + X_w}$ в тому самому часовому інтервалі, позначеному як Δn .

2. Крок ітерації вибираємо як $\Delta n \sim \Delta t$ у деякому часовому інтервалі. При цьому ми свідомо втрачаємо частину даних безперервної функції, але натомість отримуємо картину зв'язку показника мінімізації відходів з термодинамічних характеристик системи.

Перше умова може бути здійсненним у разі, якщо в ньому будуть враховані можливості для інтервальної ітерації, що вимагає розгляду його через порівнянні значення відповідних потужностей A , як властивостей існуючої термодинамічної системи.

$$\lambda_s \cong \lambda \quad \text{или} \quad \frac{\Delta[S]}{A_0} \Delta n \cong \frac{\dot{X}_w}{\dot{X}_0 + \dot{X}_w} \quad \text{или} \quad \Delta[S] = \lambda \frac{A_0}{\Delta n}$$

Останнє означає, що умовою логістичного стану формули (1) є пряма залежність зміни ентропії такої системи від роботи, яку вдається виконати завдяки енергії E_0 , що є присутньою в технологічному процесі. Така залежність у вигляді феноменологічної кривої у співвідношенні з графіками термодинамічних сил X_0 та X_w , що беруть участь у переробці матеріальних потоків J_0 та J_w представлена на рис. 2.

Цю діаграму слід розглядати в порівнянні з іншим графіком (рис. 2), що відображає результати розрахунку залежності $\lambda_s(r)$ у традиційному для таких логістичних рівнянь вигляді [17]. Для нас важливими є інтервали, в яких відображається відношення параметрів системи до термодинамічної рівноваги.

1. Умова, коли $0 \leq r < 1,0$ відображає область термодинамічної рівноваги для всієї виробничої системи відходу. Усі траєкторії системи прагнуть нуля. Тут виконується умова $J_w X_w = 0$ чи $A_w = 0$, коли

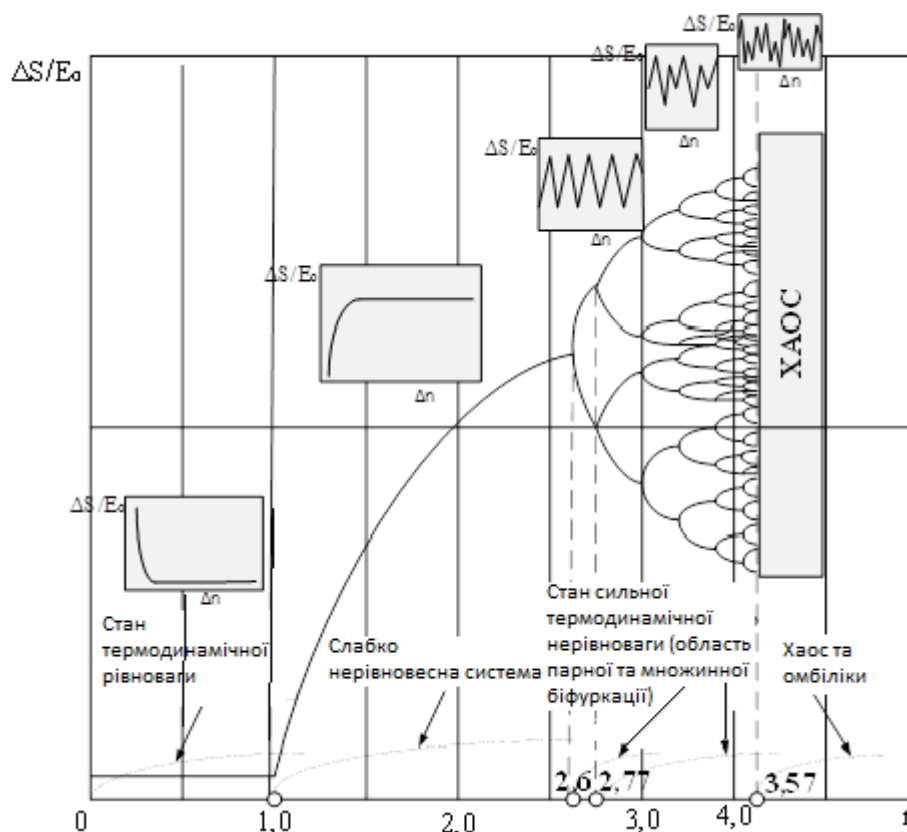


Рис. 2. Залежність зміни ентропії у технологічному процесі від показника його термодинамічний стан

технологічний процес взагалі пов'язані з цілеспрямованим перетворенням потенційних відходів. Або, коли нерівнозначні термодинамічні сили, створені задля створення товарної продукції і на відході, розділені і перебувають у стані термодинамічного двоєдності [18].

2. Умова попадання системи з рівноважного стану до стану слабкої термодинамічної нерівноважності передбачає $r \geq 1$ (рис. 1). У такому стані система прагне фіксованої точки і знаходить здатність до реалізації принципу термодинамічного двоєдності по відношенню до різних частин J_0 та J_w матеріального потоку (сировини). При цьому лише умови $J_0 X_0 \geq 0$ явно замало перетворення другої частини матеріальних потоків J_w , які довільним чином переходять у відходи. Виникає необхідність у деякому $X_w \neq 0$.

3. Умова $r \geq 2,6$ або $J_w X_w \leq 0,625 E_0$ відображає ту частку додаткової зовнішньої енергії (з розрахунку умовних 62,5% від початкової енергії для реалізації основного технологічного процесу), якої буде достатньо, щоб термодинамічні сили, що реалізуються в сильно нерівноважній системі X_w були здатні перетворити матеріальний потік J_w у напрямі його суттєво інших якостей, наприклад, споживчої цінності.

4. В той же час, що виникають біфуркації, і перехід системи до періодичної поведінки, коли недо-

статність додаткової зовнішньої енергії, навіть за умови термодинамічної нерівноважності в системі, наприклад, при $r \geq 2,77$ або $J_w X_w \leq 0,564 E_0$ є джерелом парної біфуркації, а при $2,6 < r < 3,57$ або $J_w X_w > 0,389 E_0$ – ознакою вже множинної біфуркації, що робить систему малокерованою щодо цікавого для нас матеріального потоку J_w .

5. Далі, за умови $r \geq 3,57$ або $J_w X_w \leq 0,389 E_0$, тобто, при недостатності енергії, що вводиться (менше 39% від початкової, необхідної для забезпечення основного технологічного процесу), система переходить у стан повного хаосу з чутливістю до початкових умов щодо можливостей не тільки для переробки потенційних відходів (w), а й для реалізації основної цілі системи – продукції (p), коли біфуркаційне множення періодів робить виробничу систему з додатковою зовнішньою енергією E_w енергетично некерованою в найближчому діапазоні зміни термодинамічного параметра r .

З викладеного слід висновок у тому, що умовою мінімізації відходів усередині джерела їх виникнення – технологічному процесі, крім стану сильної термодинамічної нерівноважності, є достатність додаткової зовнішньої енергії E_w заданої якості, щоб вивести ту частину сировини, з якої зазвичай виходить відхід зі стану термодинамічної рівноваги та перевести її у вихідний стан слабкої нерівноважності.

Головні висновки та перспективи використання результатів дослідження

1. Умовою мінімізації відходів усередині джерела їх виникнення – технологічному процесі, крім стану сильної термодинамічної нерівноважності, є достатність додаткової зовнішньої енергії E_w заданої якості.

2. Для того щоб вивести ту частину сировини, з якої зазвичай виходить відхід зі стану термодинамічної рівноваги і перевести її в стан слабкої нерівноважності, в систему необхідно ввести додаткову енергію в розрахунковому розмірі не менше 62% від енергії, що використовується в технологічному процесі.

3. Попадання термодинамічної системи до зони парної біфуркації за параметрами феноменологічного рівняння не знижує можливості для технологічного процесу у досягненні теоретичного мінімуму відходоутворення.

4. Механізм переходу виробничої системи з додатковими джерелами енергії зі стану парної біфуркації та відповідного їй стану термодинамічної нерівноважності в стан біфуркаційної парної множинності, і далі до хаосу, є тим розрахунковим обмеженням для технологічного процесу, який лімітує досягнення заявляється теоретичного мінімуму.

Література

1. Graedel T. E., Allenby B. R. *Industrial Ecology and Sustainable Engineering*. 1st Edition. Pearson. 2009. – 432 p.
2. Gamage M., Arachchige U., Godakanda I. *Introduction of Cleaner Production and Sustainable Development Goals*. *Journal of Research Technology and Engineering*. 4(2). 2023. P. 160-172.
3. Mihelcic J. R., Zimmerman J. B. *Environmental Engineering: Fundamentals, Sustainability, Design*. John Wiley & Sons. 2021 г. – 736 p.
4. Nazaroff W. W., Alvarez-Cohen L. *Environmental Engineering Science*. John Wiley & Sons. 2000. – 720 p.
5. Hossain S., H., Law J., Asfaw A. *The Waste Crisis: Roadmap for Sustainable Waste Management in Developing Countries*. John Wiley & Sons. 2022. – 384 p.
6. Волошин В. С. Про деякі закономірності щодо мінімізації відходів у джерелі їх виникнення – технологічному процесі. *Екологічні науки*. № 55, 2024. С. 84-89.
7. Волошин В. С. *Відходи та термодинаміка*. Київ, ФОП Самченко. 2024. – 80 с.
8. Prigogine I. «*Thermodynamics of Irreversible Processes*». Wiley-Interscience, 1961. – 119 p.
9. Nicolis G., Prigogine I. «*Self-Organization in Nonequilibrium Systems: From Dissipative Structures to Order through Fluctuations*». Wiley, 1977. – 491 p.
10. Voloshyn V. S. *Alternative method of control over wastes – a contemporary challenge in technology and economics./ Development of the Innovative Environmental and Economic system in Ukraine*. Monografia. Oktan Print s.r.o. Prague. 2019. P. 108-120.
11. Kondepudi D., Prigogine I. «*Modern Thermodynamics: From Heat Engines to Dissipative Structures*». Wiley, 1998. – 486 p.
12. Волошин В. С. *Відходи та їх природа*. Київ, ФОП Самченко. 2024. – 630 с.
13. Bejan A. *Advanced Engineering Thermodynamics*. 2016 – 746 p.
14. Moran M. J., Shapiro, H. N. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*. 8th Edition, John Wiley & Sons, Inc. Chichester, West Sussex, England. 2014. – 847 p.
15. Van Wylen, G. J., Sonntag, R. E. *Fundamentals of Classical Thermodynamics*. Wiley. New York. 1994. – 872 p.
16. May, R. M. *Simple mathematical models with very complicated dynamics*. *Nature*, 261(5560), P. 459-467.
17. Strogatz, S. H. *Nonlinear Dynamics and Chaos: With Applications to Physics, Biology, Chemistry, and Engineering*. CRC Press. 2018. – 471 p.
18. Волошин В. С. Бурко В.А. Щодо питання про відповідність принципу термодинамічної двоєдності, як причини відходоутворення, другому закону термодинаміки. XX Міжнародна науково-практична конференція Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення. 2024. Харків. С. 160-169.

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ ПІД ЧАС СПОРУДЖЕННЯ НАФТОГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН

Дригулич С.П.¹, Орфанова М.М.¹, Дригулич П.Г.²

¹Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
вул. Карпатська, 15, 76019, м. Івано-Франківськ

²ГО «Центр сталого розвитку громад»
вул. Княгині Ольги, 16/65, 82107, м. Дрогобич
serhii.dryhulych@nung.edu.ua, maria.orfanova@nung.edu.ua, pzy@ukr.net

Розглянуто сучасні методи буріння, зміни в конструкції свердловин, широке впровадження іноземних мобільних та стаціонарних бурових установок великої потужності, бурильного інструменту, доліт, промивальних рідин, чотирьох ступеневої очистки бурових розчинів, нових більш безпечних хімічних реагентів та інших інноваційних технологій, у результаті чого значно скоротилися терміни спорудження нафтових і газових свердловин, зменшився негативний вплив на навколишнє природне середовище. Проведено аналіз геологічного розрізу та його вплив на склад відходів буріння нафтогазових свердловин у Дніпровсько-Донецькій западині. Проаналізовано різні типи гідроізолюючих екранів шламових амбарів, наведено їх фільтраційні властивості та методи влаштування. Наведено перелік хімічних реагентів для оброблення бурових розчинів. Доведено неефективність екранів колоїдно-хімічних з водної суспензії гідролізованого поліакриламід та бентонітової глини. Встановлено, що не повністю виконують свою гідроізолюючу функцію екрани з бентонітових матів, яку декларують виробники. Доведено, що найбільш ефективними при гідроізоляції амбарів є екрани з високо щільного поліетилену – геомембрани. Розглянуто переваги та недоліки амбарного та безамбарного методу буріння. Запропоновано новий комбінований метод буріння – амбарно-безамбарний.

Доведено невідповідність двох галузевих стандартів: ГСТУ 41-00032626-00-007-97 та ГСТУ 41-00032626-00-023-2000, сучасним вимогам технології споруджування нафтогазових свердловин та чинному законодавству. Запропоновано розробити замість них два нові Національні стандарти з охорони довкілля при споруджуванні свердловин на нафту і газ та з рекультивативної земель. *Ключові слова:* свердловина, амбар, гідроізоляція, ґрунти, відходи, хімічні реагенти, глина, пісковик, вибурена порода.

Environmental aspects of waste management during the construction of oil and gas wells. Dryhulych S., Orfanova M., Dryhulych P.

Modern drilling methods, changes in well design, widespread introduction of foreign mobile and stationary high-power drilling rigs, drilling tools, bits, flushing fluids, four-stage cleaning of drilling fluids, new safer chemical reagents and other innovative technologies are considered, as a result of which the construction time of oil and gas wells has been significantly reduced, and the negative impact on the environment has been reduced. An analysis of the geological section and its impact on the composition of waste from drilling oil and gas wells in the Dnieper-Donetsk depression has been carried out. Various types of waterproofing screens for sludge barns have been analyzed, their filtration properties and installation methods are given. A list of chemical reagents for processing drilling fluids is given. The ineffectiveness of colloidal-chemical screens made of an aqueous suspension of hydrolyzed polyacrylamide and bentonite clay has been proven. It was established that screens made of bentonite mats do not fully fulfill their waterproofing function, as declared by manufacturers. It was proven that screens made of high-density polyethylene – geomembranes – are the most effective for waterproofing barns. The advantages and disadvantages of the barn and barnless drilling method are considered. A new combined drilling method is proposed – barn-barnless.

The inconsistency of two industry standards: GSTU 41-00032626-00-007-97 and GSTU 41-00032626-00-023-2000, with modern requirements for the technology of constructing oil and gas wells and current legislation is proven. It is proposed to develop two new National Standards for Environmental Protection in the Construction of Oil and Gas Wells and for Land Reclamation instead. *Key words:* well, barn, waterproofing, soils, waste, chemical reagents, clay, sandstone, drilled rock.

Постановка проблеми та актуальність дослідження. Енергетична безпека держави залежить від наявності природних ресурсів, кваліфікованих кадрів, відповідної інфраструктури та належного її захисту, особливо під час воєнного стану в результаті рашистської агресії. Особливе місце у цьому займає нафтогазова галузь України. Переважна більшість родовищ знаходиться поблизу районів ведення бойових дій, частина, навіть, на тимчасово окупованій території, внаслідок чого обсяги видобування у східному регіоні України знизилися у порівнянні з довоєнним періодом. Крім цього, за останні роки в Україні не було відкрито жодного великого чи навіть

середнього родовища нафти та газу. Згідно з класифікацією наведеної у [1] за величиною видобувних запасів нафти і газу великі родовища – 30–100 млн. т нафти, 30–100 млрд. м³ газу; середні – 10–30 млн. т нафти, 10–30 млрд. м³ газу. Тому нарощування видобутку приурочене до родовищ, які експлуатуються вже не один десяток років.

З метою стабілізації, і, можливо, навіть нарощування видобутку вуглеводнів суб'єктами господарювання, впроваджуються різноманітні заходи з удосконалення подальшої розробки родовищ чи окремих покладів, які спрямовані на мінімізацію обсягів падіння або зростання темпів видобутку

вуглеводнів та збільшення коефіцієнтів вилучення нафти, газу й конденсату. Одним з найбільш дієвих заходів збільшення обсягів видобування вуглеводнів, є збільшення обсягів буріння, шляхом згущування сітки розробки на родовищах, які експлуатуються протягом багатьох років, що у свою чергу значно збільшує навантаження на доквілля.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Кабінет Міністрів України своїм Розпорядженням від 21 квітня 2023 р. № 373-р. [2] схвалив Енергетичну стратегію України на період до 2050 року. Основними принципами цієї Стратегії визначено економічну обґрунтованість, екологічність, доступність, соціальну справедливість та ринковість.

Крім цього, Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 28 грудня 2016 р. № 1079-р (зі змінами, внесеними згідно з Розпорядженням КМУ № 842-р від 24.10.2018) [3] було схвалено Концепцію розвитку газовидобувної галузі України та затверджено план заходів щодо її реалізації Концепції розвитку газовидобувної галузі України. Згідно цієї концепції, яка отримала назву – «Програма 20/20» (або «Стратегія «20/20»»), тільки АТ «Укргазвидобування» протягом п'яти років повинно було наростити видобуток газу і досягнути у 2020 р. видобутку 20,1 млрд. куб/рік.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивченням впливу на доквілля споруджування нафтогазових свердловин і відходів буріння та інших екологічних проблем нафтогазової галузі займалась ціла низка зарубіжних та вітчизняних вчених.

Науковці Я. О. Адаменко, Л. М. Архипова, О. І. Лукинчук, Т. В. Кундельська, М. М. Николяк [4–8] проаналізували ймовірні впливи розроблення родовищ на геологічне середовище, поверхневі та ґрунтові води, на інші аспекти доквілля та соціальне середовище.

Михайловська О. [9] за результатами аналізу способів влаштування гідроізоляції шламових амбарів надає пропозиції щодо влаштування гідроізоляції шламових амбарів з використанням ґрунтоцементу.

У своїх роботах М. М. Орфанова [10–12] наводить основні причини забруднення доквілля, які виникають внаслідок аварійних ситуацій та через фільтрацію нафтопродуктів, супутньо-пластових вод та відходів із шламових амбарів та ставків відстійників. Я. М. Семчук із співавторами у своїй роботі [13] визначили основні джерела потрапляння пластових вод до компонентів доквілля. Авторами розглянуто масштаби поширення сольового забруднення ґрунтових вод. Г. І. Рудько та О. В. Нецький у своїй публікації [14] визначали впливи на геологічне середовище в процесі розробки нафтогазових родовищ, встановили основні джерела впливу на доквілля існуючої або створюваної інфраструктури. Л. Я. Побережний [15, 16] з метою підвищення рівня екологічної безпеки об'єктів паливно-енергетичного

комплексу України запропонував впровадити системи екологічного моніторингу, організацію екологічного аудиту, розроблення екологічних паспортів для найбільш небезпечних об'єктів, а також удосконалення екологічного законодавства у сфері експлуатації нафтогазових об'єктів.

І. М. Фесенко та М. М. Фесенко [17–19] у своїх публікаціях обґрунтували заходи з підвищення техногенної безпеки при спорудженні свердловин на нафту та газ. Ними було науково обґрунтовано підхід по оцінці класу небезпеки відходів буріння, досліджено вплив окремих інгредієнтів відходів буріння на ріст і розвиток сільськогосподарських рослин, визначено допустимі концентрації таких реагентів у ґрунті. Обґрунтовано обмежену кількість пріоритетних показників оцінки стану ґрунту в районі проведення бурових робіт з урахуванням складу хімічних реагентів та якості відходів, інтегрального характеру показників забруднюючих речовин.

У наведених вище публікаціях авторами розглядався вплив на доквілля застарілого обладнання, технологій, хімічних реагентів та методів споруджування нафтогазових свердловин, і у переважній більшості публікацій не враховано реалії сучасного стану у сфері охорони доквілля під час буріння нафтогазових свердловин та не враховано вимоги нових нормативно-правових актів.

Новизна. Проведено аналіз геологічного розрізу та його вплив на склад відходів буріння нафтогазових свердловин у Дніпровсько-Донецькій западині. Проаналізовано різні типи гідроізолюючих екранів шламових амбарів, наведено їх фільтраційні властивості та методи влаштування. Запропоновано новий комбінований метод буріння – амбарно-безамбарний.

Методологічне або загальнонаукове значення. Методологічна основа дослідження охоплює аналіз галузевої нормативно-законодавчої бази щодо спорудження нафтових і газових свердловин та екологічний аналіз різних типів гідроізолюючих екранів шламових амбарів, які облаштовуються при бурінні нафтогазових свердловин у Дніпровсько-Донецькій западині.

Загальнонаукове значення полягає у використанні комбінованого методу буріння – амбарно-безамбарного.

Викладення основного матеріалу. Результати досліджень. Обсяги бурових робіт ПАТ «Укргазвидобування» протягом 2020–2023 років становили: 2020 рік – 124367 м; 2021 рік – 209665 м; 2022 рік – 215215 м; 2023 рік – 325627 м. Значне нарощування обсягів буріння спричинило до значного зростання об'ємів утворення відходів: вибурної породи (бурового шламу) (далі – ВП), відпрацьованих бурових розчинів (далі – ВБР) та бурових стічних вод (далі – БСВ).

Склад відходів буріння залежить від гірських порід, які складають геологічний розріз свердло-

вини. Наведемо типовий геологічний розріз однієї із свердловин згідно [20]:

- від 0 до 300 м – лес, суглинки, глини, піски, пісковики, мергелі;
- від 300 до 1000 м – крейда, мергелі, глини, піски, пісковики;
- від 1000 до 1500 м – глини, аргіліти, алевроліти, піски, пісковики, глинисті вапняки;
- від 1500 до 2300 м – глини, аргіліти, вапняки, алевроліти, пісковики, конгломерати, галечники;
- від 2300 до 3500 м – кам'яна сіль, глини соляні, ангідрити, гіпси, аргіліти, алевроліти глинисті, глини, вапняки, доломіти, пісковики;
- від 3500 і до вибою (5000–6500 м) – пісковики, алевроліти, аргіліти, сланці, вапняки, зустрічаються прошарки вугілля тощо.

Як видно з наведеного геологічного розрізу, тверда фаза відходів буріння (буровий шлам) за своїм мінералогічним складом залежить від гірських порід, що розбурюються: до 2300 м – глиниста (з переважанням у складі глин, аргілітів, мергелів, крейди); з 2300 до 3500 – глинисто-галоїдно-сульфатна (тверда фаза складається в основному з глин, кам'яної солі, гіпсу та/або ангідриту); з глибини 3500 м – тверда фаза складена міцними теригенними породами (пісковики, алевроліти, аргіліти, сланці тощо). Глибини залягання порід можуть суттєво різнитися, у залежності від місця розташування свердловин в тій чи іншій частині ДДЗ.

Згідно наведеного геологічного розрізу, конструкції свердловин та поінтервального розрахунку обсягів вибуреної породи до глибини 3500 м, це переважно м'які глинисті та хемогенні породи: глина, мергелі, крейда, кам'яна сіль, ангідрити, гіпси тощо. У зв'язку з тим, що буріння під кондуктор та проміжні колони глибоких свердловин, здійснюється долотами великих діаметрів, присутнє так зване явище «самозамісу» та набухання глин (окремі різновидності глин у воді можуть збільшувати свій об'єм у 9 разів), в результаті чого при бурінні верхніх горизонтів утворюється понад дві третини обсягів вибуреної породи від загального обсягу відходів [20].

Розглянемо характеристику глин, які формують верхні горизонти порід.

Глини – зв'язні незцементовані осадові породи. Складаються з переважно тонкодисперсних глинистих мінералів (шаруватих водних алюмосилікатів).

До глин віднесені породи, що вміщують понад 30% часток не більших ніж 0,005 мм. Хімічний склад (%): SiO_2 – 30–70, Al_2O_3 – 10–40, H_2O – 5–10, а також домішки оксидів металів [21].

Згідно даних [22] глинисті мінерали – це солі алюмінію і кремнію. Крім них, до складу глин входять молекули води. Співвідношення компонентів може бути різним залежно від місця буріння. Оксиди кремнію (кремнезем) становлять приблизно 45–50%, оксид алюмінію (глинозем) – близько 40–45%, вода – до 15%. Мінеральний склад переважно представлений гідрослюдами, каоліном, хлоритом і монтморилонітом, але зустрічаються й інші мінерали: андалузит, дистен, силіманіт, галлуазит, гідраргіліт, корунд, мусковіт, діаспор, пірофіліт тощо.

У глинах можуть міститися у незначних кількостях барвники – хромофори. До них відносяться оксиди заліза, титану, магнію, міді, нікелю, хрому. Вони надають матеріалу різних відтінків, від жовтого і коричневого до синього, червоного і навіть чорного.

На другому місці, після глинистих порід, найбільш поширеними теригенними породами у ДДЗ є пісковики, алевроліти, і у верхніх горизонтах – піски.

При дослідженні керну з різних родовищ нафти та газу у ДДЗ авторами [23] було описано характеристики різнозернистих (від дрібно- до крупнозернистих) в основному кварцових, рідше – кварцових і польвошпатових пісковиків. Цемент в основному глинисто-карбонатно-кварцовий, глинисто-карбонатний та карбонатно-глинистий.

При дослідженні літологічних особливостей кварцових пісковиків бучацької світи у межах північно-східної окраїни ДДЗ, авторами [24] було наведено таку їх характеристику. Вміст SiO_2 становить 97–99%, а Al_2O_3 не перевищує 1,6%. Крім цього, встановлено незначні металеві включення металів, у т.ч. важких металів (які наведені у табл. 1).

Як видно з наведеного аналізу, теригенні осадові породи ДДЗ в основному складені глиноземом та кремнеземом. Як правило, в них відсутні важкі метали, лише в окремих випадках можуть містити незначні включення мінералів з такими металами.

Склад ВБР і частково БСВ також залежить від геологічного розрізу, що розбурюється, води, солей та хімеагентів якими оброблялися бурові розчини

Таблиця 1

Результати досліджень вмісту металевих включень у кварцових пісковиках бучацької світи

№ проби	Хімічний склад, у %										
	Fe	Ni	Co	Cu	Cr	Si	Zn	Al	Ti	Mn	Сума
1	96,41	0,00	0,00	0,00	0,20	2,72	0,00	0,23	0,10	0,34	100
2	96,87	0,00	0,00	0,00	0,11	2,53	0,00	0,20	0,02	0,27	100
3	96,87	0,00	0,00	0,01	0,11	2,47	0,16	0,12	0,02	0,24	100
5	97,03	0,10	0,01	0,21	0,06	2,37	0,00	0,00	0,00	0,22	100

тощо. Крім цього, пластові тиски продуктивних горизонтів на виснажених родовищах становлять 0,5–0,8 від гідростатичного тиску, а водонапірні горизонти з пластовими водами, так як вони не експлуатувалися, мають початкові пластові тиски, які інколи перевищують гідростатичний тиск на 10–20%, через що у свердловину при бурінні до бурового розчину можуть потрапляти пластові води, або навпаки може відбуватися поглинання бурового розчину продуктивними та іншими низьконапірними горизонтами.

На даний час в Україні існують два методи буріння, амбарний і безамбарний. При амбарному – відходи накопичуються у шламових амбарах, де після завершення буріння нейтралізуються, затвердіваються і захороняються безпосередньо на буровому майданчику. При безамбарному відходи накопичуються у гідроізолюваних, як правило металевих ємностях, після чого вивозяться для оброблення/видалення у спеціально облаштовані місця.

Переважає частина свердловин буриться амбарним методом, якщо дозволяють фізико-географічні умови на підставі результатів проведених інженерно-геологічних досліджень. Для вибору методу буріння визначальними є наявність природоохоронних об'єктів чи екологічно-вразливих місць територій, глибина залягання першого водоносного горизонту та фільтраційні характеристики ґрунтів, у яких планується облаштування шламових амбарів. Якщо відстань від найнижчої точки дна амбару до максимального рівня стояння ґрунтових вод становить менше 2,0 м свердловину необхідно бурити по безамбарному методу. В залежності від фільтраційних властивостей ґрунтів, якщо ґрунти проникні то облаштовують протифільтраційні екрани або у разі наявності слабо-проникних чи майже непроникних – такі екрани не облаштовують.

У залежності від фільтраційних властивостей ґрунтів, згідно [25], розглядають декілька основних типів протифільтраційних екранів та методів їх облаштування.

1. Ґрунтові екрани.

Протифільтраційні екрани із слабо проникних ущільнених глинистих ґрунтів використовують при облаштуванні шламових амбарів, у разі наявності поблизу в достатній кількості глинистих ґрунтів. Цей екран є досить ефективним, коефіцієнт фільтрації становить не менше 10^{-6} см/с але влаштування його є дуже затратним, складним, інколи навіть неможливим.

2. Екрани з поверхнево-активних речовин і полімерів.

Для створення таких екранів у шламових амбарах, використовують різні гідрофобізуючі кремнійорганічні рідини (далі – ГКР) [26] і поліізобутилен (синтетичний каучук) (далі – ПІБ).

Виконання протифільтраційного екрану з ГКР або ПІБ не потребує використання спеціального обладнання, великих енерговитрат. Вони малотоксичні і нерозчинні у воді. Обробку підготовлених

поверхонь дна і стінок амбару здійснюють за допомогою пневматичних розпилювачів. Гідрофобізуючу рідину наносять у 2–3 прийоми з проміжками між обробкою 6–12 годин для дифузії речовини в ґрунт. Витрати ГКР та ПІБ залежать від фізико-хімічних властивостей ґрунтів і товщини кольматаційного шару, що створюється, і становить для ГКР від 1,2 до 3,0 кг/м², для ПІБ – від 0,8 до 2,5 кг/м². Вартість цих рідин на ринку України становить 300–450 грн/кг.

При цьому коефіцієнти фільтрації екранів на базі таких рідин становить: на піщаних ґрунтах не більше 10^{-4} – 10^{-5} см/с; в глинистих – 10^{-7} – 10^{-8} см/с.

Кольматаційні екрани з поверхнево-активних речовин і полімерів прості при їх влаштуванні, однак гідроізолюючі властивості – недостатні.

3. Екрани колоїдно-хімічні з водної суспензії гідролізованого поліакриламідом та бентонітової глини.

В екранах колоїдно-хімічного типу глиниста суспензія, стабілізована гідролізованим поліакриламідом (далі – ППАА), частково проникає в ґрунтовий шар і заповнює фільтраційні пори. Облаштування цього екрану потребує такої ж підготовки поверхні стінок і дна амбару, як і у наведених вище випадках.

З метою закріплення екрану і попередження його розтріскування після висихання необхідно через декілька діб провести оброблення поверхні екрану водним розчином сульфату алюмінію, масова доля якого складає 5%. При цьому необхідно врахувати, що найбільш оптимальна крутизна стінок амбару для такого екрану має становити 1:(2–3), тобто 45–30°. Однак, на практиці попередити розтріскування екрану, осипання чи розмивання стінок амбару – майже неможливо (Рис. 1).

Такі екрани досить прості при їх облаштуванні, але коефіцієнт фільтрації таких екранів, як правило не перевищує 10^{-5} см/с.

4. Екрани з поліетиленових плівок.

Екрани з поліетиленових плівок облаштовують в амбарах у таких випадках:

– якщо в районі влаштування свердловини відсутні глинисті ґрунти, придатні для облаштування екрану;

– в екологічно-вразливих місцях тощо.

У якості підстилаючого шару під поліетиленову плівку використовують спеціально відсипаний шар дрібного піску товщиною 10 см. Товщина захисного шару пліткових екранів повинна бути не більше 50 см з будь-яких ґрунтів, які не містять в собі значних включень.

На даний час найчастіше використовують для облаштування протифільтраційних екранів – геомембрани, які виготовляються з поліетилену високої (HDPE) або низької щільності (LDPE), з використанням геотекстилю, замість підстилаючого шару з піску, що значно спрощує виконання робіт з гідроізоляції амбарів (Рис. 2).

Екрани з поліетиленової плівки мають дуже низькі коефіцієнти фільтрації 10^{-10} – 10^{-13} см/с, стійкі



Рис. 1. Екран з гідролізованого поліакриламідю та бентонітової глини



Рис. 2. Протифільтраційний екран з геомембрани

до агресивного середовища, витримують значні механічні навантаження та низькі температури. Екрани з поліетиленової плівки є найбільш ефективними зі всіх перелічених вище екранів.

5. Екрани з бентонітових матів.

У вигляді експерименту на свердловинах № 110 Нурівського ГКР та № 125 Західно-Соснівського

ГКР було облаштовано протифільтраційний екран з бентонітових матів.

Матеріали бентонітові будівельні виготовляються відповідно до ТУ У В 2.7-14.2-37416262-001:2011 (далі – мати бентонітові) з використанням активного мінерального бар'єру виробництва GDA ActiMat Dr (Польща). Згідно технічного паспорту це – високо-

якісний геосинтетичний глиняний бар'єр, що складається з бентоніту натрію, розміщеного між двома шарами, тканим та нетканим геотекстилями, що скріплені між собою голкопробивним способом. Маса бентоніту 5000–5300 г/м². Виготовляється у рулонах шириною 5,0 м і довжиною 40 м. У технологічній карті на влаштування протифільтраційних екранів шламових амбарів із застосуванням геотекстильних бентонітових матеріалів, яка розроблена ТОВ «ПСМ ІЗОЛ» 12.03.2019 р., задекларований коефіцієнт фільтрації становить 10⁻¹¹ см/с [27]. Загальна маса одного рулону становить ~1,0–1,1 т.

Укладання матеріалу виконується шляхом розмотування його з траверси, яка підвішена на машині-укладачі. Забороняється переміщатися авто-тракторній техніці по застеленому матеріалу та протягувати його по основі амбару щоб не пошкодити його нижній шар. Мати укладають таким чином, щоб накид мату що стелиться накривав краї попереднього на 300 мм. Додатково стик посилюється латкою шириною 800 мм з додатковим кріпленням до основи ґрунту металевими П-подібними скобами. Крім цього, для кращої герметизації швів їх накривають бентонітовими гранулами або бентонітовою пастою.

Але на практиці фільтраційні властивості бентонітових матів не відповідають задекларованим, що було підтверджено дослідженнями води зі спостережних свердловин на Нурівському та Західно-Соснівському ГКР, у яких було виявлено підвищений вміст сухого залишку та хлорид-іонів.

6. Екрани з ґрунтоцементу.

Науковцями Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» запропоновано влаштувати екрани з ґрунтоцементу без виймання ґрунту [28]. Згідно запропонованої технології по периметру шламового амбару буряться свердловини. Ці свердловини під тиском наповнюються ґрунтоцементом, що являє собою захисний екран від ґрунтових вод. Потім влаштовується котлован, дно якого гідроізолюється ґрунтоцементом, який змішують окремо в бетонозмішувачі та наливають суцільним шаром на дно амбару. На практиці такі екрани на бурових не облаштовувалися та фільтраційні властивості не визначалися.

7. Металеві та залізобетонні екрани.

Екрани у вигляді металевих ємностей використовуються як правило при безамбарному бурінні. Фільтраційні властивості таких екранів та стійкість до механічних пошкоджень у них є найкращими, але вони можуть вмщати невелику кількість відходів, і у разі значної кількості опадів ємності можуть переповнюватися і відходи буріння потрапляють у довкілля. Інколи замість металевих ємностей можуть облаштовувати котловани із залізобетонних плит, з гідроізоляцією швів між ними.

Вплив хімічних реагентів на довкілля. Склад відходів буріння там їхній вплив на довкілля залежить

не тільки від геологічного розрізу, а також від конструкції свердловини та хімічних реагентів, які використовуються для оброблення бурового розчину.

Для буріння під кондуктор, коли розкриваються підземні горизонти, які можуть бути джерелами господарсько-питного водопостачання для приготування та оброблення бурового розчину використовується прісна вода, глинопорошок, у незначній кількості кальцинована сода (Na₂CO₃), графіт та СМС-LV і СМС-HV (карбоксил-метил-целюлоза (КМЦ) – харчова добавка Е466, яка використовується для згущення, стабілізації та желатинування харчових продуктів).

В інтервалах буріння під проміжні (технічні) та експлуатаційні колони, крім вище перелічених хімічних реагентів, для оброблення бурових розчинів на даний час використовують такі хімічні реагенти: гашене вапно (Ca(OH)₂), натрію бікарбонат (сода харчова NaHCO₃) каустичну соду (NaOH), хлорид калію (KCl), хлорид натрію (NaCl), КССБ-МТ (конденсована сульфід-спиртова барда (побічний продукт при переробці подрібненої деревини), поліакриламід, різні змащувальні добавки (у т.ч. побічні продукти олійного виробництва) тощо. Для збільшення питомої ваги бурових розчинів використовують крейду, доломітову муку (CaMg(CO₃)₂ чи MgCO₃*CaCO₃) та барит (BaSO₄). У минулому використовувався гематит (Fe₂O₃) чи навіть галеніт (PbS), для свердловин з аномально високими пластовими тисками, однак через відсутність таких горизонтів і токсичність геленіту, від його використання відмовилися вже давно. Також у минулому використовували біхромат натрію (Na₂Cr₂O₇) – хімічний реагент першого класу небезпеки, який містить шестивалентний хром, один із найнебезпечніших хімічних чинників впливу на довкілля та організм людини тому його використання заборонено.

Збільшення діаметрів доліт для буріння верхніх горизонтів призводить до збільшення об'єму відходів буріння, але використання сучасної чотирьох ступеневої системи очистки значно зменшує обсяги відходів. Тому на окремих бурових третій амбар, залишається «сухим», тобто не заповнений зовсім.

У разі поглинання бурового розчину, у першу чергу знижують його питому густину, або готують кольматаційні пачки з використанням тирси, подрібненої горіхової шкаралупи, лушпиння від соняшнику, гумової крихти, скловолокна, мікромармуру, волокон азбесту чи бавовни та інше.

Для буріння інтервалів під експлуатаційні колони та хвостовики, особливо під час проходки продуктивних горизонтів, враховуючи виснаженість родовищ нафти і газу та низькі пластові тиски, використовують промивні рідини на вуглеводневій основі (нафта, дизпаливо), що у свою чергу вимагає особливих підходів до управління відходами буріння, які містять вуглеводні. Такі відходи відносяться до небезпечних, тому змішувати їх з відходами при проходці верхніх

горизонтів недоцільно, оскільки змішування з відходами що не є небезпечними, перетворить їх у небезпечні і призведе до значного збільшення їх обсягів.

Наприклад при бурінні свердловини № 562 Західно-Хрещищенського ГКР під кондуктор, проміжну та експлуатаційну колону використовували глинистий розчин на водній основі, а під хвостовик діаметром 127 мм використовувався буровий розчин на вуглеводневій основі, а саме на дизельному паливі. В результаті чого небезпечними будуть лише незначна кількість відходів буріння, які утворюються при проходці свердловини під цей хвостовик. Для дослідження було відібрано два зразки вибуреної породи та рідку фракцію з металевієї ємності для відходів (рис. 3). Результати дослідження наведено у таблиці 2.

Як видно з наведених результатів досліджень, оброблення вуглеводневомісних відходів буріння, з вилученням з них дизпалива, може бути економічно вигідним.

Тому на окремих свердловинах АТ «Укргазвидобування» впроваджується комбінований метод буріння, авторами пропонується назвати його амбарно-безамбарним. При цьому методі буріння

відходи буріння з верхніх горизонтів, які відносяться до відходів буріння, що не є небезпечними, розміщуються, нейтралізуються і захороняються в шламових амбарах, а відходи, що містять вуглеводні або можуть містити інші небезпечні компоненти, які становлять лише невелику частку від всіх відходів (5–10%), збираються окремо у металеві ємності (рис. 3, 4), вивозяться на об'єкти управління небезпечними відходами, де обробляються з вилученням вуглеводнів, і залишки від них захороняються на спеціально облаштованих полігонах чи накопичувачах для відходів буріння.

Ще однією страшилкою для населення є інформація псевдоекспертів, що при бурінні нафтогазових свердловин утворюються радіоактивні відходи. Наведемо Результати радіологічних досліджень вибуреної породи з виробничих об'єктів ПАТ «Укрнафта» які наведені у таблиці 3.

Як видно з наведених результатів відходи буріння згідно п. 8.6.1 НРБУ-97 відносяться до I класу, тобто *«(б) Коли величина Аеф в будівельних матеріалах та мінеральній сировині нижче або дорівнює 370 Бк/кг в ступені -1, то вони можуть використовуватись для всіх видів будівництва без обмежень».*



Рис. 3. Відходи буріння з використанням бурового розчину на дизельному паливі

Таблиця 2
Результати дослідження відходів буріння свердловини № 562 Західно-Хрещищенського ГКР

№ з/п	Назва проби	Вміст твердої фази, %	Вміст вуглеводнів, %	Вміст води, %	Дата відбору
1	Вибурена порода	54,0	28,0	18,0	28.05.2024
2	Вибурена порода	70,0	16,0	14,0	28.05.2024
3	Рідка фаза	2,0	96,0	2,0	28.05.2024



Рис. 4. Амбарно-безамбарний метод буріння

Таблиця 3

Результати радіологічних досліджень відходів буріння ПАТ «Укрнафта»

№ з/п	Найменування об'єкту	Акт відбору проб, №, дата	Питома активність радіонуклідів, Бк/кг-1				
			Ra ²²⁶	Th	K ⁴⁰	Cs ¹³⁷	Загальна активність
1	Шлам з шламонакопичувача Качанівського НГКР	№ 01 від 20.03. 24	13,7±3,0	14,4±1,9	225±20	0,7±0,3	51,7±8,3
2	Шлам з амбару зі свердловини № 150 Великобубнівського родовища	№ 02 від 27.03. 24	57,3±4,4	23,3±2,4	357±2,4	<1,3	118±10
3	Шлам з свердловини № 212 Гнідинцівського родовища	№ 05 від 28.03.24	14,9±4,0	17,4±4,8	609±57,0	<2,9	89,5±15,2

Крім цього, протягом 1994–2003 рр. згідно інформації служби екологічної та радіаційної безпеки колишнього Бориславського управління бурових робіт, яке здійснювало буріння свердловин по безамбарному методу на Андріяшівському ГКР, з вивезенням відходів буріння у шламонакопичувач поблизу покинутого с. Кринички (Роменський р-н, Сумської обл.), потужність експозиційної дози відходів буріння становила від 13 до 21 мкР/год.

Головні висновки. Відповідно до Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом, згідно з якою Україна взяла на себе зобов'язання щодо імплементації цілого ряду положень Директив ЄС у сфері охорони довкілля, та у зв'язку зі значними змінами у нормативній базі держави, зокрема з прийняттям Законів України «Про оцінку впливу на довкілля», «Про управління відходами», «Про систему громадського здоров'я», затвердженням Порядку класифікації відходів та Національного

переліку відходів тощо, виникла нагальна потреба у перегляді цих галузевих стандартів [25, 29] та розроблення на їх основі нових Національних стандартів.

Облаштування протифільтраційних екранів в амбарах з використанням бентонітових матів є недоцільним, оскільки вони є неефективними, складними при їх облаштуванні та дороговартісними.

Використання кольматаційних екранів з поверхнево-активних речовин і полімерів та колоїдно-хімічних екранів на основі водної суспензії гідролізованого поліакриламиду і бентонітової глини та кам'яної солі є неефективним заходом, оскільки вони не забезпечують достатньої гідроізоляції і руйнуються під дією різних фізичних факторів, у т. ч. при проведенні робіт з технічної рекультивациі землі, нейтралізації та захороненні відходів буріння в амбарах чи технологічних траншеях.

Недоцільно проводити гідроізоляцію амбарів з використанням матеріалів на основі водної суспензії гідролізованого поліакриламідру і бентонітової глини та кам'яної солі, для розміщення відходів буріння верхніх горизонтів, які в основному складаються з таких самих глинистих порід, води, поліакриламідру карбоксил метилцелюлози тощо. З метою вирішення даної проблеми авторами пропонується, крім амбарного та безамбарного методів буріння впровадити комбінований метод: амбарно-безамбарний, тобто верхні горизонти буряться по амбарному методу, а при проходці продуктивних горизонтів, коли можуть використовуватися бурові розчини на вуглеводневій основі чи з додаванням інших небезпечних хімічних речовин, необхідно бурити по безамбарному методу. Таким чином уникнемо забруднення небезпечними відходами великої кількості відходів буріння, що не є небезпечними.

У переважній більшості відходів буріння важкі метали відсутні, оскільки вони складаються з вибуреної породи, води та хімічних речовин, які не містять цих металів.

Доведено, що відходи буріння нафтогазових свердловин у ДДЗ не містять понад норму природних радіонуклідів і можуть використовуватися без обмежень щодо радіаційних параметрів.

Пропонується ініціювати внесення змін до нормативних актів та проектною документації, що

у разі розміщення та захоронення в амбарах відходів буріння (вибуреної породи), що не є небезпечними, на земельних ділянках з глибоким заляганням ґрунтових вод (більше 10 м) і коефіцієнтом фільтрації ґрунтів не більше 10^{-4} – 10^{-5} см/с передбачити можливість не облаштовувати жодних протифільтраційних екранів у шламових амбарах, тому що це імітація і зайві затрати людських та фінансових ресурсів.

При розробленні проектною документації на буріння свердловин, в окремих випадках розглянути облаштування лише двох амбарів.

З метою виявлення залишків будівництва, бетону, металобрухту тощо, необхідно в обов'язковому порядку передбачити в проектній документації та інших нормативних актах перед нанесенням родючого ґрунту пройти ралом на глибину не менше 0,30–0,50 м.

Посилити контроль відповідних державних органів за проведенням робіт з біологічної рекультивациі землі.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати досліджень можуть бути використані при перегляді нормативно-правових актів, розробленні проектно-кошторисної документації та можуть бути впроваджені на практиці при облаштуванні амбарів для буріння нафтогазових свердловин, що у свою чергу зменшить негативний вплив на ґрунти та підземні води.

Література

1. Правила розробки нафтових і газових родовищ. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0692-17#Text>.
2. Розпорядження Кабінету Міністрів від 21 квітня 2023 р. № 373-р. «Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-%D1%80#Text>.
3. Розпорядження Кабінету Міністрів від 28 грудня 2016 р. № 1079-р «Про схвалення Концепції розвитку газовидобувної галузі України». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1079-2016-%D1%80#Text/>.
4. Адаменко Я.О., Кундельська Т.В., Николяк М.М. Оцінка впливів освоєння нафтогазоконденсатних родовищ на навколишнє середовище. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2005. № 3(16). С. 53-58.
5. Адаменко Я.О., Лукинчук О.І. Газогеохімічний моніторинг виснажених нафтогазових родовищ Прикарпаття. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2015. № 2. С. 59-62.
6. Архипова Л.М., Адаменко Я.О. Оцінка впливу спорудження нафтогазових свердловин на водне середовище. *Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*. 2009. № 2. С. 122-126.
7. Адаменко Я.О., Карпаш О. М. Управління природними ресурсами та екологічною безпекою паливно-енергетичного комплексу в Карпатському та інших регіонах. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2003. № 4. – С. 122-126.
8. Адаменко Я.О. Оцінка впливів техногенно небезпечних об'єктів на навколишнє середовище. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2010. № 2. С. 58-63.
9. Михайловська, О. Спосіб влаштування гідроізоляції шламових амбарів. *Collection of scientific papers «АГОС»*, (March 1, 2024; Paris, France), 174-178. URL : <http://surl.li/bzsgxg>.
10. Орфанова М.М. Еколого-технологічні принципи поводження з відходами нафтогазового комплексу : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 21.06.01 «Екологічна безпека» / М. М. Орфанова ; Івано-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу. Івано-Франківськ, 2006. 19 с.
11. Орфанова М.М. Напрямки покращення екологічної ситуації на підприємствах нафтогазового комплексу України. *Енергосбереження. Енергетика. Енергоаудит*. 2014. № 4. – С. 69-75.
12. Орфанова М.М., Рудько Г.І. Актуальність інформаційного забезпечення проблеми відходів нафтогазового комплексу. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2002. № 4. С. 15-16.
13. Семчук Я.М., Депутат Б.Ю., Камаєва І.О. Вплив пластових вод Північно-Долинського нафтогазоконденсатного родовища на довкілля. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2005. № 4. С. 99-105.
14. Рудько Г.І., Нецький О.В. Екологічні проблеми нафтогазових родовищ. *Екологічні проблеми нафтогазового комплексу : матеріали III міжнародної науково-практичної конференції, НІПЦ «Екологія Наука Техніка»*. Київ-2007, С. 4-6.
15. Побережний Л., Пасяка Р. Екологічні проблеми нафтогазового комплексу. *Проблеми техногенно-екологічної безпеки: освіта, наука, практика*. 2016. С. 7.

16. Побережний Л. Я. Вплив аварій нафтогазопроводів на довкілля. *Екологія і промисловість*. 2007. № 3 (12). С. 20-24.
17. Фесенко І.М. Оцінка якості відходів буріння та контроль за станом ґрунтів в районах спорудження нафтових та газових свердловин (на прикладі ДДЗ): автореф. дис. канд. техн. наук: 21.06.01 / Фесенко І.М.; Харківський національний університет. Харків, 2002. 15 с.
18. Фесенко М. М., Коваленко В. І., Берюк О. В. Удосконалення нормативних документів у сфері поводження з відходами під час спорудження нафтогазових свердловин. *Співробітництво для вирішення проблеми відходів* : матеріали 3-ої Міжнародної конференції (Харків, 7 – 8 лютого 2006 р.). URL: <https://waste.ua/cooperation/2006/theses/fesenko.html>.
19. Фесенко І.М., Решетов І. К., Фесенко М. М. Оцінка класу небезпеки відходів буріння нафтогазових свердловин, які містять важкі метали. *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності*. 2004. № 6. С. 57-61.
20. Дригулич П.Г. Управління відходами буріння: проблема чи можливість? *SUSTAINABILITY LEADER'S GUIDE*. 2023. № 4 (4). С. 47-58. URL: <http://surl.li/hzivot>.
21. Глини А. Я. Радзивілл, Н. В. Вергельська. Енциклопедія Сучасної України. Редкол.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.] ; НАН України, НТШ. – К. : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2006. URL: <https://esu.com.ua/article-30413>.
22. Глини. Характеристики, різновиди та поширення. URL: <https://insgeo.com.ua/gliny/>.
23. Лисак Ю., Шпот Ю., Шира А., Кучер З., Куровець І. Петрофізичні моделі теригенних колекторів кам'яновугільних відкладів центральної частини Дніпровсько-Донецької западини. *Геологія і геохімія горючих копалин*. 2019. № 1 (178). С. 63-73.
24. Деревська К., Ісаєв С., Руденко К., Нурмамедов Л. Літологічні та мінералого-петрографічні особливості еоценових пісковиків північно-східного схилу Дніпровсько-Донецької западини. *Геологія і геохімія горючих копалин*. 2019. № 1 (178). URL: <http://surl.li/jfctwq>.
25. ГСТУ 41-00032626-00-007-97 «Охорона довкілля. Споруджування розвідувальних і експлуатаційних свердловин на нафту та газ на суші. Правила проведення робіт». URL: <http://surl.li/ngmdfm>.
26. Ілів В. В., Ілів Я. В. Дослідження проникності кремнійорганічних рідин у матеріали для отримання вертикальної та горизонтальної гідроізоляції стін. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва*. 2018. № 888. С. 65-71. URL: <http://surl.li/ewiowr>.
27. Технологічна карта на влаштування протифільтраційних екранів шламових амбарів із застосуванням геотекстильних бен-тонітових матеріалів. ТОВ «ПСМ ІЗОЛ». 12.03.2019 р., с. 14. URL: <http://surl.li/gavyoz>.
28. Тимофеева К. А. Ґрунтоцементні сховища для токсичних відходів буріння та експлуатації нафтогазових свердловин : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.23.02. Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – Полтава, 2016. – 22 с.
29. ГСТУ 41-00032626-00-023-2000 «Охорона довкілля. Рекультивация земель під час спорудження нафтових і газових свердловин».

ОЦІНКА ЗБИТКІВ, ЗАПОДІЯНИХ ВОДНИМ БІОРЕСУРСАМ В РЕЗУЛЬТАТІ ВПЛИВУ ВИДОБУТКУ ПІСКІВ НА ДІЛЯНЦІ ДНІПРОВСЬКОГО (ЗАПОРІЗЬКОГО) ВОДОСХОВИЩА

Маренков О.М., Нестеренко О.С., Боровик І.І., Решетняк Д.С., Пацький В.О.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

пр. Науки, 72, 49000, м. Дніпро

gidrobions@gmail.com, nefesst@gmail.com, vanbor17@gmail.com,

d.s.reshetnyak@gmail.com, narsilofpatskiy@gmail.com

Сучасне рибне господарство та промислове рибальство на акваторії Дніпровського (Запорізького) водосховища ведеться у досить складних умовах специфічного антропогенного навантаження та обмеження вилову риб у період дії воєнного стану. Геологічні дослідження надр можуть негативно впливати на водні екосистеми, особливо у водоймах із рибогосподарським значенням, де такі роботи здатні спричинити втрату біологічних ресурсів та порушення екологічного балансу. Під час використання спеціалізованого обладнання можливий прямий вплив на гідробіонтів, або непрямий – порушенням структури біоценозу, через вилучення чи загибель гідробіонтів, підвищення каламутності води та вторинним забрудненням водою.

Промисловий лов на акваторії водосховища в межах міста Дніпра майже не здійснюється. Користувачі освоюють лише гирлову частину Самарської затоки.

Оцінено якість води ділянки, та встановлено, що вона належить до 3 класу якості, 4 категорії (задовільна), евтрофна, α - β -мезосапробна, та не перевищує рибогосподарські ГДК.

Проведено оцінку гідробіоценозів, а також проаналізована рибопродуктивність Дніпровського (Запорізького) водосховища, що становить 26,3 кг/га. За статистичними даними Управління Державного агентства меліорації та рибного господарства у Дніпропетровській області в 2021 році в Дніпровському (Запорізькому) водосховищі вилучено 1078,25 т водних біоресурсів, що на 8 % нижче, ніж показник 2020 року. Серед яких найбільший відсоток припав на карася сріблястого – 55,24 % (що на 0,2 % вище за показник 2020 року та на 3,4 % вище за показник 2019 року). Наступною в промислових умовах домінувала плітка звичайна – 16,32 %, лящ – 6,73 %, плоскирка – 6,73 %. Порівняно зі структурою промислового вилову минулих трьох років, відсоткове відношення промислових груп суттєво не змінилося, а основний промисел базується на представниках родини коропові.

Встановлення штучних нерестових гнізд є одним з екологічних та економічних способів поліпшення умов відтворення риб у природних водоймах. Рекомендується встановлювати штучні нерестовища на дослідній ділянці водосховища із розрахунку 2 тис. штучних нерестовищ на кожен гектар ділянки, яка потрапила під вплив гідромеханізованих днопоглиблювальних робіт.

Ключові слова: риби, нерестовища, гідробіологія, планктон, бентос.

Assessment of damage caused to aquatic bioresources as a result of the impact of sand mining on the Dniprovske (Zaporizke) reservoir site. Marenkov O., Nesterenko O., Borovyk I., Reshetnyak D., Patsky V.

Modern fisheries and industrial fishing activities in the Dniprovske (Zaporizke) Reservoir are conducted under rather challenging conditions due to specific anthropogenic pressures and restrictions on fish harvesting during the martial law period. Geological exploration of mineral resources can negatively impact aquatic ecosystems, especially in water bodies with fishery significance, where such activities can lead to the loss of biological resources and ecological imbalance. The use of specialized equipment during these operations may cause direct impact hydrobionts, or an indirect impact – through disruption of the structure of the biocenosis, through the removal or death of aquatic organisms, increased water turbidity, and secondary pollution of water bodies.

Industrial fishing within the reservoir area near the city of Dnipro is almost nonexistent. Users primarily exploit only the mouth area of the Samara Bay.

The water quality of the studied site has been assessed and determined to belong to Class III, Category 4 (satisfactory), eutrophic, α - β -mesosaprobic, and compliant with fishery MACs.

The hydrobiocenoses of the reservoir have been evaluated, and the fish productivity of the Dniprovske (Zaporizke) reservoir has been analyzed, amounting to 26.3 kg/ha. According to statistical data from the Directorate of the State Agency for Land Reclamation and Fisheries in the Dnipropetrovsk region, 1,078.25 tons of aquatic biological resources were harvested in the Dniprovske (Zaporizke) Reservoir in 2021, which is 8 % lower than the figure for 2020. Among these, the largest share was prussian carp (55.24 %), representing a 0.2 % increase compared to 2020 and a 3.4 % increase compared to 2019. The next dominant species in the industrial catch were common roach (16.32 %), bream (6.73 %), and white bream (6.73 %). Compared to the structure of industrial catches over the past three years, the percentage distribution of industrial groups has remained largely unchanged, with the primary fishery focusing on representatives of the Cyprinidae family.

The installation of artificial spawning nests is considered one of the ecological and economic methods to improve fish reproduction conditions in natural water bodies. It is recommended to install artificial spawning nests in the studied section of the reservoir at a rate of 2,000 artificial nests per hectare of the area affected by hydraulic dredging operations. *Key words:* fish, spawning grounds, hydrobiology, plankton, benthos.

Постановка проблеми та виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Геологічні роботи з вивчення надр можуть погіршувати стан водних екосистемам, під час роботи спеціального обладнання може бути пряме захоплення та знищення гідробіонтів в результаті негативних змін структури біоценозу, впливу підвищеної турбідності та вторинного забруднення водойми. Через це геологічні роботи у водоймах промислово-рибогосподарського значення можуть мати різний ефект та зумовлювати зміни у водних екосистемах. Задля визначення ступеня впливу цих процесів на гідробіонтів та гідроекосистему необхідно проведення комплексних досліджень.

Актуальність дослідження зумовлена значним ступенем трансформаційних змін у гідробіоценозах через антропогенну діяльність. Крім того, якщо забруднення чи промислова експлуатація води чинить здебільшого поступовий і постійний вплив на водосховище, то геологічні розроблення можуть спричинити різкі та суттєві зміни у екосистемі [1, 2]. Комплексна гідроекологічна оцінка ділянки Дніпровського (Запорізького) водосховища (р. Дніпро) дає змогу оцінити вплив видобутку пісків в районах Староігрєнівського та Олексіївського родовищ. Серед задач щодо впливу розробки Олексіївського родовища руслових пісків на гідробіоценоз вказаної ділянки основними є проведення гідрохімічного аналізу води ділянки річки Дніпро, визначення видового складу іхтіофауни. Відбір біологічного матеріалу дозволить провести іхтіологічний аналіз та дослідити якісні та кількісні показники кормової бази.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження виконували в межах держбюджетної науково-дослідної роботи «Оцінка збитків, відновлення та реабілітація водних та прибережних екосистем, порушених унаслідок воєнних дій, техногенного пресу та змін клімату» (Державний реєстраційний номер: 0124U000254). Результати досліджень лягли в основу регламентаційних документів: «Біологічне обґрунтування меж нерестовищ водних біоресурсів у рибогосподарських водних об'єктах Дніпропетровської області (Дніпровському (Запорізькому), Карачунівському, Макортівському водосховищах) на період нерестової заборони 2024 року», «Біологічне обґрунтування меж нерестовищ водних біоресурсів на акваторії Запорізького (Дніпровського) водосховища підконтрольній Управлінню Державного агентства меліорації та рибного господарства у Запорізькій області на період 2024 року», «Лімітів та прогнозів допустимого спеціального використання водних біоресурсів загальнодержавного значення у Дніпровських водосховищах на 2025 р.», «Режиму рибальства у рибогосподарських водних об'єктах (їх частинах)

України у 2025 році», «Розташування зимувальних ям на рибогосподарських водних об'єктах (їх частинах) Дніпропетровської області на період зимівлі водних біоресурсів протягом 2024–2025 років».

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

На сьогодні дослідження впливу геологічного вивчення надр на гідрохімічний та гідроекологічний режим водойм представлені у низці робіт вітчизняних та іноземних науковців. Проведення оцінки впливу видобутку на водне середовище, в тому числі й на іхтіофауну, висвітлює проблематику пристосування організмів до умов геологічних робіт [3, 4]. Також існує дослідження, що демонструє ефект виробничо-видобувної діяльності на водні біотопи, та дає рекомендації щодо екологічного моніторингу та розвитку гірничих робіт [5]. У роботі іноземних вчених також постає проблема впливу видобутку річкового піску на екосистеми. Наслідки неправильного режиму видобутку родовищ на ділянках можуть мати каскадний характер проблем відносно усіх компонентів середовища [6]. Демонструється необхідність впровадження нових методів моніторингу діяльності з видобутку піску, а також заходів зі збереження навколишнього середовища [7].

Новизна. Досліджено гідробіологічний стан Дніпровського (Запорізького) водосховища (р. Дніпро) в районі Олексіївського родовища. Оцінено збитки, заподіяні водним біоресурсам і рибогосподарській діяльності в результаті впливу видобутку пісків. Розроблено рекомендації щодо комплексу рибоводно-меліоративних заходів на території дослідження.

Матеріали і методи досліджень. Відбір та аналіз матеріалів проводили оперуючи традиційними методами [8, 9] і діючим законодавством [10].

Район дослідження охоплює ділянку, що розташована в межах Дніпровського (Запорізького) водосховища (р. Дніпро) вздовж Староігрєнівського родовища в Дніпропетровській області: у 3,5 км на південний захід від житлового масиву Ігрєнь, у руслі р. Дніпро (рис. 1). Площа зони днопоглиблення ділянки геологічного вивчення надр – 203,68 га. Середня глибина ділянки 4 м.

На дослідній ділянці поблизу о. Шевський та о. Олексіївський знаходиться нерестовище для риб загальною площею 62,0 га (табл. 1).

Аналіз якості води проводили в науково-дослідній лабораторії теоретичних та прикладних проблем хімії науково-дослідного інституту хімії та геології (Свідоцтво атестації №ПЧ 06-2/1152-2023 від 25.09.2023 р.), гідробіологічні проби обробляли в науково-дослідній лабораторії гідробіології, іхтіології та радіобіології науково-дослідного інституту біології (Свідоцтво атестації №ПЧ 06-2/1150-2023 від 14.07.2023 р.), які відповідають вимогам ДСТУ ISO 10012:2005 «Системи керування вимірюванням. Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального обладнання».



Рис. 1. Карта-схема проведення робіт в районі Олексіївського родовища пісків: 1–5 – точки досліджень

Таблиця 1

**Місця нересту водних біоресурсів (природні нерестовища)
на акваторії Дніпровського (Запорізького) водосховища**

Акваторія навколо о. Шевський та о. Олексіївський, площею 62,0 га		
Верхня межа	Правий берег	48°27'43.06"Пн 35° 5'45.04"С
	Лівий берег	48°27'43.92"Пн 35° 5'53.30"С
Нижня межа	Правий берег	48°26'37.11"Пн 35° 6'22.79"С
	Лівий берег	48°26'38.82"Пн 35° 6'36.72"С

Дослідження гідрохімічного режиму проводили згідно загальноприйнятих методик [6]. Відбір проб води проводився у місцях нерестовищ різних вікових груп риб. Було визначено наступні параметри: водневий показник (рН), жорсткість, біогенні елементи, розчинені гази, кількість розчиненої органічної речовини за показниками перманганатної окислюваності. За основу для порівняння показників хімічного складу води брали нормативні критерії якості води для рибогосподарських потреб – СОУ 05.01-37-385:2006, ДСТУ 2284:2010.

Відібрані проби зообентосу та зоо- і фітопланктону визначали та аналізували за стандартними гідробіологічними методами [8, 9]. Альгологічні дослідження проб води здійснювали за допомогою батометра Молчанова та сітки Апштейна. Види визначали згідно класичних методів [11, 12]. Біомасу було розраховано за об'ємом клітин, враховуючи питому вагу водоростей, що відповідає одиниці. Ступінь домінування оцінювали за біомасою. Домінантами

вважали види, загальна біомаса яких була не менше 80 % загальної біомаси фітопланктону.

Відбір проб зоопланктону відбувався за традиційною методикою – крізь сітку Апштейна для планктону фільтрується від 50 до 100 дм³ води, та фіксується розчином формальдегіду (4 %). Було визначено якісний склад зоопланктону та їх кількісний розвиток. Підрахунок кількості виконувався у камері Богорова. За формулою залежності маси від довжини тіла визначали біомасу (1):

$$w = ql^3, \tag{1}$$

де l – довжина тіла, w – маса, q – коефіцієнт пропорційності.

З кожної станції було відібрано дві проби зообентосу штанговим парним ковшом Екмана-Берджі, та одну пробу сачком-скребком с діаметром 20–25 см за загальною методикою [8].

Видовий склад визначали за допомогою мікроскопів «MICROmed» XS-2610. Зважування проводили

на лабораторних вагах ТЕВ-0,3-0,005 за групами. Для угрупувань макрзообентосу враховували середні величини чисельності та біомаси. Для кожного виду було визначено також ступінь виявленості, що демонструє відсоткове співвідношення проб з виявленим видом до спільних проб, що відібрали протягом всього періоду досліджень. Розраховували за формулою (2):

$$P = (m / n) 100 \%, \quad (2)$$

де m – кількість проб (станцій) на яких зустрічався даний вид, n – загальна кількість проб (станцій).

Для збору іхтіологічних матеріалів застосовували стандартний комплекс малькових та промислових знарядь лову (малькова волокуша та тканка, ставні сітки, пастки для мальків риб). Молодих особин риб відбирали в третій декаді липня – першій декаді серпня на мілководних районах контрольних точок за допомогою малькової тканки – волокуши завдовжки 10 м. Риб розділяли за видами, підраховували їх кількість і вимірювали довжину з точністю до 1 мм, а масу особин з точністю до 0,01 г. Вибірki для промислових видів становили не менше 50 екземплярів, а для не промислових – не менше 25 екз. Кількість цьоголіток на 100 м² облову вважалась за відносну чисельність.

Щільність розподілу пелагічних ікринок та личинок здійснювали у відповідності до методичних розробок [8]. Видовий склад молоді риб встановлено за визначниками, які звичайно використовуються у практиці подібних досліджень [13, 9]. Вікову, лінійно-вагову та статеву структуру промислових, нерестових і малькових популяцій іхтіофауни визначали на підставі фактичного матеріалу [8].

Розрахунок збитків здійснено за діючими на сьогодні відповідними методиками. При цьому використані дані проектної документації стосовно технологічного процесу виконання робіт та власні матеріали багаторічних іхтіологічних напрацювань на акваторії Дніпровського (Запорізького) водосховища.

З урахуванням вимог існуючих на наш час методик [15], відповідно до формули (3) здійснено розрахунки збитків за організмами кормової бази (фітопланктон, зоопланктон, зообентос):

$$N = F \times n \times P/V \times 1/K_2 \times K_3/100 \times T_1 \times 10^{-6}, \quad (3)$$

де N – втрати рибної продукції, тон; F – об'єм або площа пошкодження, м³/м²; n – концентрація кормових організмів в одиниці об'єму або на одиниці площі, г/м³, г/м²; P/V – коефіцієнт переводу біомаси кормових організмів у продукцію кормових організмів; K_2 – кормовий коефіцієнт для переводу продукції кормових організмів у рибну продукцію; K_3 – показник можливого використання рибою продукції кормових організмів; T_1 – коефіцієнт кратності негативного впливу, який відображає його тривалість; 10^{-6} – коефіцієнт для переводу грамів у тони;

Критерій кратності дії негативного впливу (T_1) визначали як відношення тривалості впливу негативного фактору (t_0) тобто терміну проведення робіт (днів, місяців) до тривалості періоду активного росту риб (t_1), коли безпосередньо відбувається процес споживання іхтіофауною кормових організмів (формула 4):

$$T_1 = t_0 / t_1 \quad (4)$$

Гідравлічну крупність часток ґрунтів, що підлягали розробці визначали як середньовиважену величину в залежності від температури води. Швидкість течії обчислювали за фактичними показниками безпосередньо у місці проведення днопоглиблювальних робіт.

Розрахунки площі розповсюдження зони мутності та її об'ємів здійснені з прив'язкою до лінійних параметрів ділянок днопоглиблення та фактичних глибин акваторій, які були піддані негативному впливу.

Розрахунок рибопродуктивності нерестовищ за промповерненням здійснювали на підставі питомої щільності плідників на нерестовищах, середньої плодючості, маси та коефіцієнта промислового повернення від ікри. При цьому були використані результати власних моніторингових іхтіологічних і гідробіологічних досліджень, а також дані, наведені у відповідній нормативній літературі [14].

Щільність плідників на нерестовищах визначали, як частку від ділення кількості плідників кожного виду на площу нерестовищ. Кількість плідників визначали на підставі фактичної середньої маси та загальної величини промислового запасу (відповідно до «Лімітів та прогнозів допустимого спеціального використання водних біоресурсів загальнодержавного значення у дніпровських водосховищах на 2023 р.», які затверджені наказом Міністерства аграрної політики та продовольства України від 22.11.2022 № 927). При цьому було враховано те, що обсяг допустимого вилову становить 25 % від сформованого промислового запасу [8, 9]. Різноманітність нерестовищ оцінювали на підставі даних облікових малькових зйомок.

Розрахунок збитків рибному господарству. Гранулометричний склад ґрунтів представлений фракціями з діаметром від 1,0 до 0,1 мм. Проте основна маса ґрунтів, що підлягають розробці, складається з часток діаметром в межах 0,1–0,5 мм – 81,6 %. Гідравлічна крупність представлених часток при температурі води 17–20°C змінюється в межах від 0,117 до 0,002 м/с. Розрахована середня виважена величина гідравлічної крупності за всіма фракціями становить 0,03924 м/с.

Середня швидкість течії на ділянці не перевищує 0,36 м/с. Відстань зносу завислих часток ґрунту при глибині розробки 4,00 м становить 19,4 м.

Показник кратності дії негативного впливу для гідромеханізованих пристроїв є наступним – 0,25238.

Наведена інформація лягла в основу розрахунків збитків рибному господарству ділянці Дніпровського (Запорізького) водосховища під час проведення розробки району Олексіївського родовища пісків в Дніпропетровській області, Дніпровському районі, м. Дніпро у руслі р. Дніпро.

Статистичну обробку результатів проводили варіаційно-статистичним методом за допомогою програмного пакета Statistica 8.0.

Викладення основного матеріалу.

Спостереження за станом гідробіоценозів досліджуваних точок дозволяють сформулювати кілька позицій щодо напрямків нанесення збитків рибним запасам унаслідок здійснення розробки руслових пісків.

По-перше, загибель організмів кормової бази (організмів фітопланктону, зоопланктону та зообентосу). Дана позиція пояснюється тим, що реалізація робіт на акваторії може відбуватися з використанням землесосних пристроїв. У такому разі паралельно з вилученням ґрунтів та водно-піщаної суміші вилучаються організми кормової бази іхтіофауни (фіто-, зоопланктон, зообентос). Процеси регенерації пошкоджених біотопів зообентосу відбувається повільно, іноді після відновлення на цьому місці може формуватися зовсім інший біоценоз, що може відрізнятися за показниками продуктивності.

Негативний ефект від проведення робіт може спостерігатися як безпосередньо на акваторії розробки (прямий вплив), так і мати опосередковану дію (непрямий вплив) на кормові організми у зонах підвищеної мутності.

Ефект фізичного забруднення під час дії негативного чиннику відображається у кількісному підвищенні у воді завислих речовин, які збільшують її мутність. Паралельно фіксуються порушення різного ступеня у зовнішніх тканинах гідробіонтів внаслідок прямого контакту зі зваженими речовинами. Для зоопланктону та ранніх личинок представників іхтіофауни такі пошкодження є особливо руйнівними, оскільки викликають зміни у фільтраційних дихальних апаратах організмів. Такі процеси можуть викликати асфіксію у гідробіонтів навіть при задовільному вмістові розчиненого у воді кисню.

По-друге, пошкодження потенційних нерестовищ. Основними чинниками впливу днопоглиблювальних робіт на стан природних нерестовищ є їх пряме порушення та непряме – унаслідок замулення від розповсюдження зони підвищеної мутності. Проте, розрахунки показали, що при максимальному зносі завислих часток площа пошкоджених потенційних нерестовищ при проведенні робіт з придатними для відтворення глибинами не перевищує 10 % від площі ураження.

Видовий та чисельний склад іхтіофауни представлений характерними для Дніпровського (Запорізького) водосховища видами риб. Заборона на масовий промисловий вилов риби у водосховищі влітку 2022 року знижувала промислове наванта-

ження на популяції риб, що призводило до накопичення біомаси, яка може бути використане для промислових цілей.

Оскільки вилов риби в Дніпровському (Запорізькому) водосховищі в 2022 році був обмежений через воєнний стан, сам процес рибоздобування був фрагментарним, тому статистика промислових уловів не дає репрезентативних даних щодо рибопродуктивності та відсоткового співвідношення між окремими видами в уловах. Тому за основу були взяті дані 2021 року, як показового року проведення промислу.

Рибопродуктивність Дніпровського (Запорізького) водосховища становить 26,3 кг/га. За статистичними даними Управління Державного агентства меліорації та рибного господарства у Дніпропетровській області у 2021 році в Дніпровському (Запорізькому) водосховищі вилучено 1078,25 т водних біоресурсів, що на 8 % нижче, ніж показник 2020 року. Найбільший відсоток з вилучених біоресурсів припав на карася сріблястого – 55,24 (що на 0,2 % вище за показник 2020 року та на 3,4 % вище за показник 2019 року). Наступною в промислових уловах домінувала плітка звичайна – 16,32 %, далі лящ – 6,73 %, та плоскирка – 6,73 % (рис. 2).

Порівняно зі структурою промислового вилову минулих трьох років, відсоткове відношення промислових груп не зазнало суттєвих змін, основний обсяг промислу припадає на представників родини карпових.

Острівні системи лівобережжя та гирло Самарської затоки зосереджують біля себе мілководдя, що мають вагоме значення для відтворення гідробіоресурсів. Також деякі нерестовища знаходяться у районі гребного каналу, біля житлового масиву «Перемога». Однак, практично всі вони трансформовані і знаходяться під постійним антропогенним впливом, тому їх якість, як природних нерестовищ, значно знижена.

Промисловий лов на акваторії водосховища в межах міста майже не здійснюється. Користувачами засвоєна практично тільки гирлова частина Самарської затоки.

Іхтіофауна, як найбільш рухливий компонент водних екосистем, більшу частину життя активно переміщується і долає значну відстань. У зв'язку з цим видовий склад більшості акваторій майже однаковий, за виключенням зони водосховища біля Самарської затоки, що дещо відрізняється рівнем біорізноманіття і кількісними показниками.

Найбільш трансформованими є ділянки по правому берегу Дніпра. Особливо це стосується ділянки від залізничного мосту до о. Монастирський. Ділянка прибережної зони повністю забудована (міська набережна та інші споруди), сюди надходять стоки зливових колекторів та деяких підприємств міста та інші забруднювачі, що мають великий вміст органічної речовини. На цій ділянці частково проходить нагул

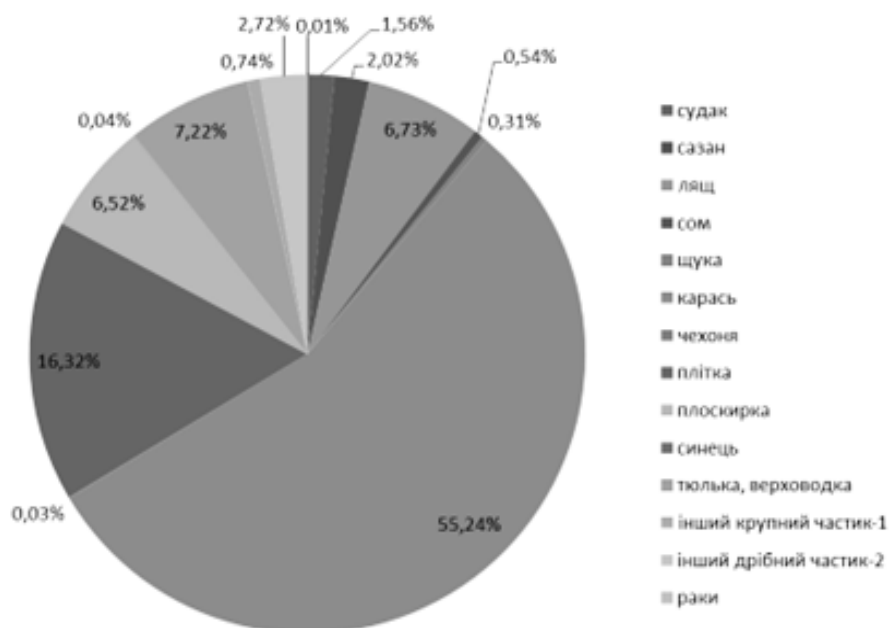


Рис. 2. Відсотковий розподіл промислових видів риби в уловах Дніпровського (Запорізького) водосховища в 2021 році, %.

молоді риби, в тому числі і тих, що мають ресурсну (промислово) цінність. В місцях надходження стоків спостерігаються угруповання цих видів, а також концентрація пелагічних видів (верховодка).

Ділянка правобережжя від о. Монастирський до Південного мосту також помітно трансформована, але на території біля гребного каналу є умови для нересту риби з категорії ресурсних (лящ, плітка, сріблястий карась, краснопірка, головень, окунь, щука, плоскирка та ін.), а також більшості прибережних видів.

Ділянки лівобережжя трансформовані у меншій ступені, ніж на правобережжі. Найбільш антропогенній трансформації на лівобережжі піддана дослідна ділянка від залізничного мосту до Усть-Самарського мосту, внаслідок надходження промислово-побутових стоків, забудов та ін. (крім зони мілководь навколо дамби Усть-Самарського мосту та прилеглих островів). Відтворення спостерігається у прибережних видів, а також короткоциклових (верховодка), і деяких промислових видів, що не мають особливостей до умов нересту (окунь, карась сріблястий, плітка, краснопірка). Досить цінними вважаються біогеоценози, які збереглися в районі, що прилягає до Усть-Самарського мосту (острови Олексіївський, Шевський та суміжні прибережжя). Нерест тут відбувається, крім вищезазначених видів, також у ляща, судака, коропа. На ділянці відмічається нагул молоді цих видів, а також шуки, головня, плоскирки, сома. На ділянці здійснюється промисловий лов користувачами водних біоресурсів, що базуються у Старій Ігрени і у Одиноківки. Крім того, на території ділянки розвинене любительське рибальство (як з берега, так і з човнів).

На даній ділянці зустрічаються всі види риби, що зареєстровані в межах міста (40 видів), в тому числі 21 види мають охоронний статус та 1 вид потребує охорони на регіональному рівні.

Ділянка від Усть-Самарського до Південного мосту значно менше забезпечена захищеними мілководдями, ніж інші. Такі умови спонукають зниження відтворення представників іхтіофауни та зменшують нагульні площі. Але загалом ділянка більш продуктивна, якщо порівнювати із правобережжям.

Підсумовуючи наведене зрозуміло, що на сьогоднішнє рибне господарство та промислове рибальство на акваторії Дніпровського (Запорізького) водосховища функціонує під впливом нестандартних управлінських рішень щодо обмеження вилову риби у період дії воєнного стану, а також в умовах значного антропогенного навантаження. Основною метою відповідних напрацювань є розробка шляхів раціонального, невиснажливого використання промислових запасів риби та кормового ресурсу водосховища у сукупності з розробкою заходів щодо мінімізації втрат від здійснення різного роду виробничих процесів, пов'язаних з порушенням абіотичних і біотичних параметрів середовища існування іхтіофауни.

Гідрохімічні показники водного середовища. На дослідній ділянці Дніпровського (Запорізького) водосховища за класифікацією О.А. Альокіна вода є гідрокарбонатно-кальцієвою другого типу ($С^{Ca}_{II}$). Коливання загальної мінералізації води між сезонами складала 82–160 мг/л. Зміни величини рН залежно від сезону спричинені станом карбонатної рівноваги. Частка CO_2 у воді залежала від рівня актив-

ності фотосинтезу. Збільшення рН до максимальних величин – 9,5 – фіксували влітку під час масового розвитку ціанобактерій. Після цього, в умовах кисневого дефіциту в придонних шарах, величини рН знижувалась до 5,6. Середньостатистичні сезонні значення рН для водосховища склали 7,0–8,4.

Розчинений у воді кисень є важливим гідрохімічним показником, який має вплив на інтенсивність відновно-окислювальних біохімічних процесів у водному середовищі. Нижню межу концентрації кисню спостерігали влітку (серпень) 2,5–4,1 мг/л.

На дослідній ділянці органічна речовина у воді формується як за рахунок автохтонної, що утворюється в результаті життєдіяльності гідробіонтів, так і алохтонної органічної речовини стічних вод господарчо-побутових підприємств. Зміни перманганатної окислюваності проявлялися збільшенням значень у літньо-осінній сезон, коли у воді водосховища активно накопичується фітопланктон і велике значення займають різноманітні процеси перетворення у водоймі.

Інтенсивні процеси мінералізації органічних речовин стимулювали накопичення біогенних елементів. Наприкінці літа вміст амонійного азоту у воді за дослідний період коливався від 0,24 мгN/л до 0,81 мгN/л (у середньому – 0,44 мгN/л); нітритів – від 0,005 мг/л до 0,12 мг/л (0,013 мг/л), нітратів – 0,12–2,6 мг/л (0,32 мг/л), фосфатів – від 0,26 мг/л до 0,58 мг/л (0,32 мг/л). Ступінь евтрофікації за вмістом біогенних елементів характеризується як висока.

Величини рН в різних точках відбору змінювались, у середньому, в інтервалі від 6,68 до 8,35, з переважанням діапазону лужної реакції. Середній рівень рН складає 7,1–8,3 для Дніпровського (Запорізького) водосховища, що є стандартним багаторічним показником.

Таким чином, згідно даних показників, вода на ділянці водосховища належить до 3 класу якості, 4 категорії (задовільна), евтрофна, α - β - мезосапробна. За рибогосподарською характеристикою гідрохімічні показники, в цілому, відповідали ГДК (СОУ 05.01-37-385:2006).

Оцінка гідробіоценозів. Фітопланктон. Видовий склад фітопланктону на досліджуваній ділянці Запорізького (Дніпровського) водосховища у серпні 2023 року характеризувався низьким рівнем різноманітності. Індекс Шеннона, що враховує як видову різноманітність, так і рівномірність розподілу чисельності видів, становив 1,44 біт/екз., що лише незначно перевищує значення 2020 року (1,39 біт/екз.).

У планктонному угрупованні досліджуваної ділянки домінували синьо-зелені водорості, зокрема *Microcystis aeruginosa* (96,4 %). Значно меншу чисельність мали види *Anaebena flos-aquae* та *Aphanisomenon flos-aquae*. Друге місце за чисельністю серед відділів водоростей займали діатомові, представлені видами *Melosira granulata*, *M. italica*, *Navicula gracilis*. У складі угруповання також були

виявлені зелені водорості, що належать до родів *Pediastrum*, *Scenedesmus*, *Volvox* та *Ulothrix*.

У літній період біомаса фітопланктону характеризувалася високими показниками, варіюючи в межах від 3,48 г/м³ до 5,64 г/м³, із середнім значенням 4,82 г/м³.

Такий рівень біомаси є типовим для періоду інтенсивного накопичення синьо-зелених водоростей у воді. За видовим складом фітопланктону досліджувана ділянка водойми належить до α -мезосапробної зони, що свідчить про наявність органічного забруднення.

Спираючись на дані водоростей втрати рибної продукції від загибелі організмів фітопланктону по акваторії розповсюдження зони підвищеної мутності від ділянки розробки ґрунтів (відсоток ураження 50 %) складуть:

$$N_{\text{Фітопланктон}} = 8143200 \text{ м}^3 \times 4,82 \text{ г/м}^3 \times 100 \times 1/50 \times 10/100 \times 0,25238 \times 10^{-6} = 1,98 \text{ т,}$$

З урахуванням відсотка ураження 50 % збитки складуть – 0,99 т.

Зоопланктон. У літній сезон 2023 року склад зоопланктону досліджуваної ділянки Дніпровського (Запорізького) водосховища відрізнявся домінуванням дрібних видів кладоцер *Chydorus sphaericus*, *Bosmina longirostris*, *B. coregoni*. Ці види, що мають кулясту форму тіла, є найбільш адаптованими до умов «цвітіння» синьо-зелених водоростей, зокрема завдяки своїй стійкості до токсинів, що виробляє масовий вид *M. aeruginosa*. Із відзначених видів найбільші показники кількісного розвитку у відношенні виду у *Chydorus sphaericus*. Як і в минулі роки, розмах коливань біомаси зоопланктону виявився значним – від 0,20 г/м³ до 2,02 г/м³ (в середньому 1,52 г/м³).

Слід також зазначити високе видове різноманіття зоопланктону, кількість видів якого на різних ділянках літоралі коливалася від 10 до 15. Серед коловерток домінували види *Brachionus diversicornis*, *Polyarthra vulgaris*, *Filinia longiseta*; серед гіллясто-вусих ракоподібних – *Chydorus sphaericus*, *Bosmina longirostris*, *B. coregoni*, *Diaphanosoma brachyurum*, *Alona rectanula*, *Leptodora kindtii*, *Daphnia cucullata*; серед веслоногих ракоподібних – *Thermocyclops oithonoides*, *Acanthocyclops americanus*, а також їх науплії та ювенальні форми. Видове різноманіття зоопланктону показувало високий рівень, але індекс Шеннона не перевищував 1,64 через домінування виду *Chydorus sphaericus*, що зумовлює низьку вирівняність чисельності видів.

Присутність у пробах таких олігосапробів, як *B. coregoni*, *Diaphanosoma brachyurum*, *Daphnia cucullata*, *Leptodora kindtii* вказує на гарну якість води за сапробіологічною оцінкою в даній ділянці.

Втрати рибної продукції від загибелі організмів зоопланктону у вилученій водно-піщаній суміші (відсоток ураження 50 %) складуть:

$$N_{\text{зоопланктон}} = 8143200 \text{ м}^3 \times 1,52 \text{ г/м}^3 \times 20 \times 1/6 \times 80/100 \times 0,25238 \times 10^{-6} = 8,33 \text{ т}$$

З урахуванням відсотка ураження 50 % збитки складуть – 4,16 т.

Зообентос. Видовий склад і кількісний розвиток зообентосу досліджуваної ділянки Дніпровського (Запорізького) водосховища в літній період характеризувався як достатньо бідний. Біомаса зообентосу була незначною, варіюючи від 0,7 г/м² до 2,22 г/м², з середнім значенням 1,45 г/м². Домінували дрібні псамофільні хірономіди: *Tanytarsus macus*, *Micropectra praecox*, *Cricotopus silvestris*. Олігохети зустрічалися лише поодинокими екземплярами, що свідчить про відсутність відповідних умов для їх існування у вигляді мулових відкладень. Наявність домінування псамофільних хірономід та поодинокі олігохети на тлі загально низької біомаси зообентосу вказує на руйнування донних біоценозів, що є наслідком впливу течії в районі Усть-Самарського мосту.

Втрати рибної продукції від загибелі зообентосу:

$$N_{\text{зообентосу}} = 2036800 \text{ м}^2 \times 1,45 \text{ г/м}^2 \times 1/5 \times 70/100 \times 0,25238 \times 10^{-6} = 0,10435 \text{ т}$$

З урахуванням відсотка ураження 50 % збитки складуть – 0,05217 т.

Іхтіофауна. У ході іхтіологічних досліджень не були виявлені рідкісні види риб або ті, що занесені до Червоної книги України. Переважна більшість риб, виявлених на досліджуваній ділянці, є поширеними для місцевих водойм. Видовий склад малькових уловів нараховував 18 видів риб, які відносилися до 7 родин: *Clupeonella cultriventris* (Nordmann, 1840); *Alburnus alburnus* (Linnaeus, 1758); *Aspius aspius* (Linnaeus, 1758); *Carassius gibelio* (Bloch, 1782); *Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758); *Leucaspis delineatus* (Heckel, 1843); *Pseudorasbora parva* (Temminck et Schlegel, 1846); *Rhodeus amarus* (Bloch, 1782); *Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758); *Scardinius erythrophthalmus* (Linnaeus, 1758); *Cobitis taenia* (Linnaeus, 1758); *Atherina pontica* (Eichwald, 1831); *Syngnathus nigrolineatus* (Eichwald, 1831); *Lepomis gibbosus* (Linnaeus, 1758); *Neogobius kessleri* (Gunther, 1861); *Proterorhinus marmoratus* (Pallas, 1814); *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814); *Neogobius fluviatilis* (Pallas, 1814).

Загальна чисельність та біомаса цьоголіток риб становила 320,97 екз./100 м² та 171,13 г/100 м² відповідно. Видом-домінантом був гірчак звичайний – чисельність цьоголіток даного виду сягала 126,17 екз./100 м². Серед промислових видів риб в уловах зустрічалися плітка, сазан (короп) і білізна (табл. 2).

Аналіз результатів іхтіологічних досліджень на ділянці водосховища вказує на те, що в місці проведення робіт є нерестовище для відтворення ляща, судака, сазана, сріблястого карася, плітки, плоски-

рки, окуня та краснопірки. При загальній площі нерестовища 62,0 га на частку нерестовищ, які можуть бути порушені припадає 25 %, що становить 15,5 га. При цьому для акваторій, де будуть виконуватись роботи відсоток нерестовищ на пошкодженій донній поверхні може досягати 100 %. Результати розрахунків імовірних збитків за рибопродуктивністю нерестовищ Дніпровського (Запорізького) водосховища представлені у таблиці 3.

Загальна кількість імовірних втрат рибної продукції для Дніпровського (Запорізького) водосховища внаслідок проведення робіт з розробки Староігрєнівської ділянки (родовища) руслових пісків буде становити:

– за елементами кормової бази – 5,20217 тонн (фітопланктон – 0,99 т; зоопланктон – 4,16 т; зообентос – 0,05217 т);

– втрата нерестовищ – 22,0224 тонн.

Для нарахування збитків від заподіяної шкоди у вартісному відношенні необхідно провести розрахунок з прив'язкою до існуючого цінового механізму та рибоводного заводу-аналогу для даної місцевості.

Головні висновки. На основі аналізу комплексних досліджень ділянки Дніпровського (Запорізького) водосховища у районі видобутку пісків встановлені деякі особливості гідробіоценозів. Гідрохімічні дослідження встановили, що вода ділянки має задовільні показники та відповідає рибогосподарським ГДК. Безпосередні роботи з розробки родовищ на території акваторії водосховища можуть негативно впливати на біоценоз, формуючи менш продуктивні ділянки для розвитку зоо- та фітопланктону, що у свою чергу веде до зниження чисельності іхтіофауни. Найвний видовий та чисельний склад угруповань риб прибережної зони та існуючі нерестові ділянки в районі дослідної є об'єктом промислового рибальства. Втрати рибної продукції при видобутку будуть становити 5,20217 тонн для кормової бази, а 22,0224 тонн – за втрати нерестовищ.

Перспективи використання результатів дослідження і рекомендації щодо комплексу рибоводно-меліоративних заходів. Встановлення штучних нерестових гнізд є одним з екологічних та економічних способів поліпшення умов відтворення риб у природних водоймах.

Відтворювальний потенціал аборигенних риб у водоймах не реалізується в повному обсязі через деградацію природних нерестовищ та їх низьку ефективність. Окрім відновлення зон нересту риб шляхом проведення гідромеханізованих робіт, найбільш ефективним підходом є створення штучних нерестовищ на прибережних ділянках річок, де спостерігається низький рівень мілководних ділянок і заток, особливо в районах масового нересту риб.

Штучні нерестовищ потрібно встановлювати у відповідності до відтворювального потенціалу аборигенних риб. Окрім цього, процес відновлення

Таблиця 2

Видовий склад та чисельні параметри угруповань риб прибережної зони ділянки досліджень

№	Види риб	Дніпровське (Запорізьке) водосховище			
		0+		1+	
		х	у	х	у
Родина оселедцевих Clupeidae Cuvier, 1816					
1.	Тюлька чорноморо-азовська <i>Clupeonella cultriventris</i> (Nordmann, 1840)	12,01	3,64	1,23	2,34
Родина коропових Cyprinidae Fleming, 1822					
2.	Верховодка звичайна <i>Alburnus alburnus</i> (Linnaeus, 1758)	1,24	0,45	6,78	18,56
3.	Білізна європейська <i>Aspius aspius</i> (Linnaeus, 1758)	2,85	1,45	3,25	5,64
4.	Карась сріблястий <i>Carassius gibelio</i> (Bloch, 1782)	23,17	25,63,0	18,44	36,19
5.	Сазан <i>Cyprinus carpio</i> (Linnaeus, 1758)	0,25	0,75	0,34	2,56
6.	Верховка звичайна (вівсянка) <i>Leucaspis delineatus</i> (Heckel, 1843)	1,24	0,3	2,45	1,51
7.	Чебачок амурський <i>Pseudorasbora parva</i> (Temminck et Schlegel, 1846)	56,15	21,19	47,19	52,56
8.	Гірчак звичайний <i>Rhodeus amarus</i> (Bloch, 1782)	126,17	87,16	56,18	248,12
9.	Плітка звичайна <i>Rutilus rutilus</i> (Linnaeus, 1758)	16,15	9,22	12,45	26,22
10.	Краснопірка звичайна <i>Scardinius erythrophthalmus</i> (Linnaeus, 1758)	0,62	0,36	2,45	8,54
Родина в'юнових Cobitidae Swainson, 1839					
11.	Щипавка звичайна <i>Cobitis taenia</i> Linnaeus, 1758	1,46	1,24	1,23	4,86
Родина атеринових Atherinidae Risso, 1827					
12.	Атерина чорноморська <i>Atherina pontica</i> (Eichwald, 1831)	5,24	2,46	8,26	16,18
Родина голкові Syngnathidae Bonaparte, 1831					
13.	Морська голка пухлощока чорноморська <i>Syngnathus nigrolineatus</i> (Eichwald, 1831)	0,49	0,34	1,25	1,15
Родина центрархові Centrarchidae Bleeker, 1759					
14.	Сонячний окунь <i>Lepomis gibbosus</i> (Linnaeus, 1758)	4,41	0,86	4,68	5,32
Родина бичкові Gobiidae Fleming, 1822					
15.	Бичок-пісочник <i>Neogobius fluviatilis</i> (Pallas, 1814)	56,27	33,16	14,22	43,28
16.	Бичок-головач <i>Neogobius kessleri</i> (Gunther, 1861)	0,45	0,22	3,22	7,58
17.	Бичок-кругляк <i>Neogobius melanostomus</i> (Pallas, 1814)	11,55	7,88	0,56	4,67
18.	Бичок цуцик <i>Proterorhinus marmoratus</i> (Pallas, 1814)	1,25	0,45	0,35	2,19
	Всього:	320,97	171,13	184,53	487,47

Примітка: 0+ – цьоголітки, 1+ – дволітки, х – чисельність, екз./100 м²; у – біомаса, г/100 м².

Таблиця 3

Розрахунок втрат рибпродукції від пошкодження нерестовищ

Вид риб	Площа пошкодження, га	Рибпродуктивність нерестовищ за промповерненням, кг/га	Втрати рибної продукції, тонн
Лящ	15,5	219,1	3,39605
Судак	15,5	12,4	0,1922
Сазан	15,5	100,3	1,55465
Карась сріблястий	15,5	712,7	11,04685
Плітка	15,5	308,5	4,78175
Плоскирка	15,5	58,6	0,9083
Інші (окунь краснопірка)	15,5	9,2	0,1426

ресурсноцінних видів риб можливо підвищити за рахунок створення ідентичних до природних нерестових площ – кам'яних валів та градів, що також забезпечать території багатьма аспектами для відтворення і, відповідно, збільшить кількість риби всіх вікових розмірів.

Нами рекомендується встановлювати штучні нерестовища на порушених і трансформованих ділянках водосховища із розрахунку 2 тис. штучних нерестовищ на кожен гектар водойми або її ділянки, яка потрапила під вплив гідромеханізованих днопоглиблювальних робіт.

Відмічено, що штучні гнізда досить ефективно використовуються пліткою, лящем та сазаном (коро-

пом). Необхідно звернути увагу користувачів на те, що встановлення нерестових субстратів покращує якість відтворення рибних біоресурсів, збільшує відсоток виживання ікри та величину виходу молоді. Нерестові гнізда забезпечують ефективний захист відкладеної ікри від перепадів рівня води у водосховищі. Відмічено, що плідники фітофільних риб підходять на нерестовища неодноразово, а в декілька партій.

Для раціонального використання штучних нерестовищ, рекомендуємо виставляти їх поступово відповідно до прогріву води та підходу плідників риб. Це зробить можливим більш оптимально використати додаткові нерестові площі.

Література

1. Marenkov, O. N. Transformation of Dnepr (Zaporizhia) reservoir's fish fauna: retrospective review and current status. *Ecology and Noospherology*, 2016, 27(3-4), 70-76. <https://doi.org/10.15421/031615>
2. Nesterenko, S., Marenkov, M., & Kurchenko, V. O. The influence of dredging works near the lisy and green islands on the hydrobiocenoses of areas of the Dnipro river. In «Modern aspects of natural science research in the context of sustainable development of society»: Scientific monograph. Riga, Latvia: "Baltija Publishing", 2024. 424 p. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-395-8-11>
3. Процун, А. В. Оцінка сучасного використання території після видобування руслових пісків. *Інноваційні методи проектних та геодезичних робіт*: матеріали 83-ї Міжнар. студент. наук. конф., 14 квіт. 2021 р. Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т., 2021. С. 219-223.
4. Мигович, Д. С. Вплив на довкілля розробки руслових пісків. *Інноваційні методи проектних та геодезичних робіт*: матеріали 83-ї Міжнар. студент. наук. конф., 14 квіт. 2021 р. Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т., 2021. С. 197-199.
5. Серета Р. М. Екологічна безпека територій під час розробки родовищ руслових пісків. *Екологія і виробництво*, № 5. 2019. С. 185. <https://doi.org/10.32846/2306-9716-2019-3-26-34>
6. Rentier E. S., Cammeraat L. H. The environmental impacts of river sand mining. *Science of the Total environment*. 2022. vol. 838. Pt1. 155877. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155877>
7. Pandey S. Kumar, G., Kumari, N., & Pandey, R. Assessment of causes and impacts of sand mining on river ecosystem. *Hydrogeochemistry of aquatic ecosystems*. Chapter 16, 2023. P. 357-379. <https://doi.org/10.1002/9781119870562.ch16>
8. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / Арсан О. М. та ін.; за ред. В. Д Романенка. НАНУ: Ін-т гідробіології. Київ: Логос. 2006. С. 156-180.
9. Мовчан Ю. В. Риби України: (визначник-довідник) Збірник праць Зоологічного музею. 2011. 443 с.
10. Методика збору і обробки іхтіологічних і гідробіологічних матеріалів з метою визначення лімітів промислового вилучення риб з великих водосховищ і лиманів України / Озінковська С. П. та ін. Київ.: ІРГ УААН. 1998. Т. 47. С. 10-11.
11. Про затвердження Методики розрахунку збитків, заподіяних рибному господарству внаслідок порушення законодавства про охорону навколишнього природного середовища. Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки України № 36 від 18.05.95 р. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0155-95> (дата звернення: 18.11.2024).
12. Гринь ВГ. Об'ємно-вагова характеристика провідних видів фітопланктону нижнього Дніпра: Питання екології і ценології водних організмів Дніпра; 1963; Київ, Україна: Видавництво АН УРСР; 1963. С. 35-40.
13. Методи досліджень фітопланктону / Щербак В. І. Методичні основи гідробіологічних досліджень водних екосистем. 2002. С. 41-47.
14. Kottelat M., Freyhof J. Handbook of European freshwater fishes. Publications Kottelat, Cornol and Freyhof, Berlin., vol. 13. 2007. 646 pp.
15. Методика розрахунку збитків, заподіяних рибному господарству внаслідок порушення правил рибальства та охорони водних живих ресурсів. Наказ Міністерства аграрної політики України, Міністерства охорони навколишнього природного середовища України № 248/273, від 12.07.2004, Київ, Україна. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0155-95> (дата звернення: 18.11.2024).

ЕКОЛОГІЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ

УДК 502.4:502.5

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.6-57.7>

ШТУЧНІ РИФИ ЯК ІНСТРУМЕНТ ВІДНОВЛЕННЯ МОРСЬКИХ ТА ЛИМАННИХ ЕКОСИСТЕМ

Грубий М.В.¹, Трохименко Г.Г.²¹Регіональний ландшафтний парк «Тилігульський»
вул. Медична, 6, 57400, с.м.т. Березанка²Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
пр. Героїв України, 9, 54007, м. Миколаїв
grubyu@ukr.net, university@nuos.edu.ua

Вивчено формування біотичного співтовариства на штучному рифі у прибережних водах лиманних екосистем на прикладі Тилігульського лиману. Колонізація рифу гідробіонтами є типовою екологічною сукцесією розвитку складного біотичного співтовариства. Досліджено особливості системи забезпечення екологічного моніторингу морських та лиманних акваторій, процес організації системи екологічного моніторингу морських та лиманних акваторій, оцінку ефективності екологічного моніторингу морських та лиманних акваторій, теоретико-методичні основи проведення процесу екологічного моніторингу та основи розвитку екологічного моніторингу як галузі наукового знання. Крім того, було визначено теоретичні та методологічні засади щодо вдосконалення процесу екологічного моніторингу морських та лиманних акваторій. Екологічні розрахунки проводилися з використанням новітніх методів і комп'ютерних технологій обробки статистичного матеріалу.

Розглянуто найбільш доцільні конструкції штучних рифів для їх встановлення у прибережних ділянках Тилігульського лиману. На основі проведеного аналізу встановлено, що вже через 2–3 роки на штучному рифі може зрости видова різноманітність, біомаса гідробіонтів та біоценоз рифу стає потужним біофільтром, який бере участь у процесі самоочищення середовища. Отримані результати про функціонування рифового біоценозу можуть бути основою для використання штучних рифів у біологічному очищенні води у прибережній зоні моря. Запропоновано напрямки вдосконалення системи проведення екологічного моніторингу морських та лиманних акваторій, процес оптимізації організації процесу екологічного моніторингу.

Методологічною основою проведення моніторингу довкілля загалом і акваторій поверхневих водних об'єктів зокрема є дистанційне зондування, спостереження за станом екосистем за допомогою аерофото- та космічних знімків. *Ключові слова:* лиман, моніторинг, штучний риф, гідробіонти, біорізноманіття, оздоровлення екосистем.

Artificial reefs as a tool for restoration of marine and estuarine ecosystems. Hrubyi M., Trokhymenko H.

The formation of a biotic community on an artificial reef in the coastal waters of estuarine ecosystems was studied using the example of the Tyligul estuary. Colonization of the reef by hydrobionts is a typical ecological succession of the development of a complex biotic community. The features of the system for ensuring environmental monitoring of marine and estuarine water areas, the process of organizing the system for environmental monitoring of marine and estuarine water areas, the assessment of the effectiveness of environmental monitoring of marine and estuarine water areas, the theoretical and methodological foundations of the process of environmental monitoring and the foundations of the development of environmental monitoring as a field of scientific knowledge were studied. In addition, theoretical and methodological principles for improving the process of environmental monitoring of marine and estuarine water areas were determined. Ecological calculations were carried out using the latest methods and computer technologies for processing statistical material. The most appropriate constructions of artificial reefs for their installation in the coastal areas of the Tyligul estuary were considered. Based on the analysis, it was found that after 2–3 years, species diversity can increase on an artificial reef, the biomass of hydrobionts and the reef biocenosis becomes a powerful biofilter that participates in the process of self-purification of the environment. The results obtained on the functioning of the reef biocenosis can be the basis for the use of artificial reefs in biological water purification in the coastal zone of the sea. Directions for improving the system of environmental monitoring of marine and estuarine water areas, the process of optimizing the organization of the environmental monitoring process are proposed.

The methodological basis for monitoring the environment in general and surface water areas in particular is remote sensing, monitoring the state of ecosystems using aerial and space images. *Key words:* estuary, monitoring, artificial reef, hydrobionts, biodiversity, ecosystem rehabilitation.

Постановка проблеми. Однією з основних завдань під час проведення екологічного моніторингу морських прибережних екосистем, поряд з оцінкою та прогнозом їх стану, є біоремедіація порушених біоценозів. Це стосується в першу чергу добіотичних співтовариств, схильних до впливу антропогенного фактора.

В екологічній реконструкції з метою оптимізації процесу розвитку та їх стійкості особливо потребують бентосні угруповання як найбільш уразливі при забрудненні прибережних вод [1].

Актуальність дослідження. У прибережних морських екосистемах основними первинними продуцентами органічної речовини є бурі, червоні та

зелені багатоклітинні водорості, що забезпечують бентосне співтовариство органічною речовиною, оскільки частка фітопланктону у виробництві продукції прибережної зони моря нижче [2]. Водорості донних фітоценозів у процесі трансформації сонячної енергії вилучають із середовища та акумулюють багато хімічних елементів, включаючи багато ксенобіотиків, та беруть участь у біологічному очищенні води [3].

Штучні рифи успішно застосовуються вже понад 2000 років як у морському, так і в прісноводному аматорському рибальстві, а також для створення рибальських місць. По-друге, штучні рифи за рахунок численного біорізноманіття підвищують здатність моря (водойми) самовідновлюватися, долати забруднення.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. У даній роботі розглядається питання побудови ресурсно-орієнтованих сценаріїв природокористування в лиманних екосистемах, на основі балансу між водоспоживанням та регенерацією. Концепція системного аналізу використовується для розробки інтегрованої моделі природокористування, метою якої є підтримання нормальних умов для відтворення водних ресурсів.

Основна увага в цих дослідженнях приділяється простим у реалізації методам створення комп'ютерних моделей еколого-економічних систем, що дозволяють прогнозувати сценарії розвитку процесів при різних варіантах господарського використання природних ресурсів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Штучний риф – це створена людиною прісноводна або морська бентосна структура [4]. Як правило, будується в районах із загалом невиразним дном для розвитку морського життя, він може бути призначений для боротьби з ерозією, захисту прибережних територій, блокування проходу суден, блокування використання тралових сіток, [5] підтримки відновлення рифів, покращення аквакультури, або покращити підводне плавання та серфінг. Перші штучні рифи були побудовані персами та римлянами.

Можливий штучний риф будується з об'єктів, які були призначені для інших цілей [6], таких як затоплення нафтових вишок (через програму «Вишки до рифів»), затоплення кораблів або шляхом розміщення уламків чи будівельного сміття. Уламки кораблів можуть перетворитися на штучні рифи, якщо вони збережені на морському дні. Звичайний штучний риф використовує такі матеріали, як бетон, який можна формувати в спеціальні форми (наприклад, рифові кулі). Зелені штучні рифи містять поновлювані та органічні матеріали, такі як рослини волокна та черепашки, щоб покращити стійкість і зменшити споживання енергії, забруднення та викиди парникових газів. У деяких випадках штучні рифи були розроблені як витвори мистецтва.

Штучні рифи зазвичай створюють тверді поверхні, де прикріплюються водорості та безхребетні, такі як вусоні моллюски, корали та устриці, а також місця, де можуть ховатися риби різного розміру. Накопичення прикріплених морських мешканців, у свою чергу, забезпечує складні структури та їжу для зграй риб [7].

Екологічний вплив штучного рифу залежить від багатьох факторів, у тому числі від місця його розташування, способу його споруди, віку та типів задіяних видів. Хоча штучні рифи сприяють росту коралів, це змінює екосистему, оскільки відносно зростання для різних видів не завжди однакове. Дослідження виявили, що макроводорості, групи ціанобактерій і корали, які швидко ростуть, ростуть у штучних рифах з іншою швидкістю, ніж у природних рифах [8].

Проводяться значні дослідження методів будівництва та впливу штучних рифів. Багато матеріалів, які використовувалися на початку, тепер вважаються небажаними.

Огляд літератури показав, що близько половини вивчених рифів досягли своїх цілей. Довгострокове планування та постійне управління були визначені як важливі фактори успіху. Нещодавній аналіз рифів у всьому світі між 1990 і 2020 роками прийшов до висновку, що штучні рифи можуть бути корисними інструментами для відновлення морських екосистем, якщо вони стратегічно розроблені відповідно до свого конкретного розташування та потреб у ресурсах [9].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Штучні рифові споруди мають різноманітне цільове використання, починаючи від захисту, покращення та відновлення морських екосистем до підтримки людської діяльності, як-от риболовля, рекреаційне дайвінг і серфінг. Штучні рифи можна використовувати як інструменти активного відновлення для пом'якшення шкоди навколишньому середовищу та втрати середовища існування, відновлення деградованих екосистем, таких як ліси водоростей і коралові рифи, а також сприяння біорізноманіттю [10].

Конструкція та конструкція штучного рифу можуть сильно відрізнятися залежно від його запропонованого місця розташування та передбачуваних цілей. Риф, призначений для однієї мети, може виявитися непридатним для іншої. Ранні спроби створити штучні рифи часто зазнавали невдачі або, в кращому випадку, давали неоднозначні результати. Останні огляди робіт за 1990–2020 роки свідчать про те, що правильно створений штучний риф, розроблений відповідно до цільової екосистеми, може бути корисним як інструмент для відновлення морських екосистем. Рецензенти закликають до кращого порівняння штучних і природних рифів до/після та до контролю, посиленого моніторингу рифів протя-

гом їхнього життя та уваги до просторової орієнтації, складності та форми рифового субстрату, серед іншого [11].

Новизна. У контексті досліджень методів для поліпшення біологічного стану Тилігульського лиману вирізняється підхід, який передбачає використання «зелених рифів». Ці конструкції характеризуються виключно природним походженням матеріалів. На даному етапі «зелені рифи» представлені мішками, що наповнені оболонками від устриць. Використовуваний для створення мішків джгутовий канат також є природного походження.

Тилігульський лиман як і більшість лиманів Північного Причорномор'я традиційно відчуває значний антропогенний вплив. Останнім часом, внаслідок прийнятих обмежувальних заходів щодо купання в Чорному морі, цей вплив істотно зріс. Хоча самоочищення лиману може відбуватися за рахунок молюсків-фільтраторів, піщано-мулиста структура дна лиману є непридатною для їхнього розповсюдження та розмноження [12]. Враховуючи ці фактори, стає очевидною потреба в імplementації твердих субстратів – штучних рифів – з метою підтримки біорізноманіття, стимуляції популяцій молюсків фільтраторів та поліпшення якості води у Тилігульському лимані. У рамках реалізації напрямку поліпшення екологічного стану Тилігульського лиману рекомендується встановлення штучних рифів [13].

Методологічне або загальнонаукове значення.

Одним із варіантів, що масово використовуються для поліпшення стану гідроєкосистем у країнах Європи та Америки є **рифові кулі**. Це штучні структури, які служать захистом для молюсків та інших морських організмів, надаючи їм безпечне середовище для життя та розмноження.

Ці конструкції рекомендовані двома авторитетними міжнародними організаціями, що спеціалізуються на відновленні природних водних екосистем:

– **Міжнародна асоціація «Альянс природного відновлення устриць» (The Native Oyster Restoration Alliance, NORA).** Асоціація NORA працює над захистом і природним відновленням Європейської устриці (*Ostrea edulis*), що є аборигеною для Чорного моря, та її історичних оселищ;

– **Фундація рифових куль (Reef Ball Foundation).** Ця організація запатентувала конструкцію рифових куль і отримала низку екологічних нагород за її впровадження у різних регіонах світу.

Виклад основного матеріалу. Рифові кулі вже успішно встановлено в 62 країнах світу, що підтверджує їхню ефективність та надійність використання (рис. 1) [14].

Ці конструкції виготовляються з цементу, за спеціальним запатентованим рецептом із використанням мікрокремнезему (силікатного пилу). Цей склад забезпечує рівень рН, аналогічний до рН морської води, гарантуючи сумісність з морським середовищем та підвищуючи привабливість конструкцій для колонізуючих організмів. Враховуючи ці чинники, рифові кулі можна вважати конструктивним рішенням для підтримки біорізноманіття та забезпечення ефективного самоочищення Тилігульського лиману [15].

Зважаючи на значний вплив військових дій на морські екосистеми внаслідок війни росії проти України, розробка та впровадження ефективних методів екологічного моніторингу є надзвичайно важливою для відновлення та збереження природного середовища.

На рис. 2 наведено супутникові знімки акваторій лиманів під час їх «цвітіння». Знімки було оброблено за допомогою інструменту *Ulyssys Water Quality Viewer* (осад та вміст хлорофілу у воді) *EO Browser*.

З рисунку видно ділянки «цвітіння», які спостерігались 23 червня 2023 року, в Дніпро-Бузькому лимані та Березанському лимані, а також Чорному морі. Евтрофікаовані ділянки ймовірно були пов'я-



Рис. 1. Карта встановлення рифових куль

зані з потраплянням в воду значної кількості органічних речовин після підриву ГЕС.

Для порівняння наведено знімки, які ідентифікують стан Куяльницького та Хаджибейського лиману Одеської області (рис. 2е), але для цих акваторій зазвичай така картина «цвітіння» характерна. На рис. 2г, д, а також на рис. 3 (4.09.23) наведено евтрофіковані ділянки Тилігульського лиману, що ймовірно пов'язано зі спекотною та сухою погодою, але в цілому не типово для Тилігульського лиману. В цей період на даних ділянках також спостерігався мор риби [16].

Для збереження та відновлення природного стану Березанського та Дніпро-Бузького лиманів та покращення стану евтрофікованих ділянок Тилігульського лиману необхідно впроваджувати комплексні заходи з моніторингу забруднення, впровадження екологічно чистих технологій та стратегій управління водними ресурсами. Одним із таких заходів може бути встановлення штучних рифів. Рифові кулі є ефективними інструментами для заохочення природних процесів самоочищення, стимулюючи розвиток моллюсків-фільтраторів та інших морських організмів.

Досвід встановлення штучних рифів був протестований в акваторії Чорного моря поблизу Кінбурнської коси і виявився успішним. За перші шість місяців, після встановлення «зеленого рифу», було зафіксовано появу личинок чорноморської мідії та подальшу колонізацію об'єкта колонією цього

виду. За результатами моніторингу, було виявлено, що новостворений біоценоз відзначався зростанням чисельності двох видів чорноморських крабів, п'яти видів бичків, молоді камбали та глоси, а також трьох видів креветок та інших видів риб та моллюсків. Отже, дані свідчать про високий потенціал використання «зелених рифів» для забезпечення біорізноманіття та підтримки процесу самоочищення лиманних акваторій Миколаївщини [17].

При цьому важливо встановити моніторингову систему для постійного контролю за станом рифів та екосистеми в цілому. Це дозволить вчасно виявляти будь-які зміни та реагувати на них, щоб забезпечити успішну імплементацію та ефективність проєкту збереження Тилігульського, Березанського та Дніпро-Бузького лиманів.

У контексті досліджень методів для поліпшення біологічного стану Тилігульського лиману вирізняється підхід, який передбачає використання «зелених рифів». Ці конструкції характеризуються виключно природним походженням матеріалів. На даному етапі «зелені рифи» представлені мішками, що наповнені оболонками від устриць. Використовуваний для створення мішків джгутовий канат також є природного походження (рис. 4).

Крім того, результат наростання біомаси фітопланктону в результаті встановлення штучних рифів наведено на рис. 6.

Отже, динаміка заростання знову підтверджує високий потенціал використання «зелених рифів»

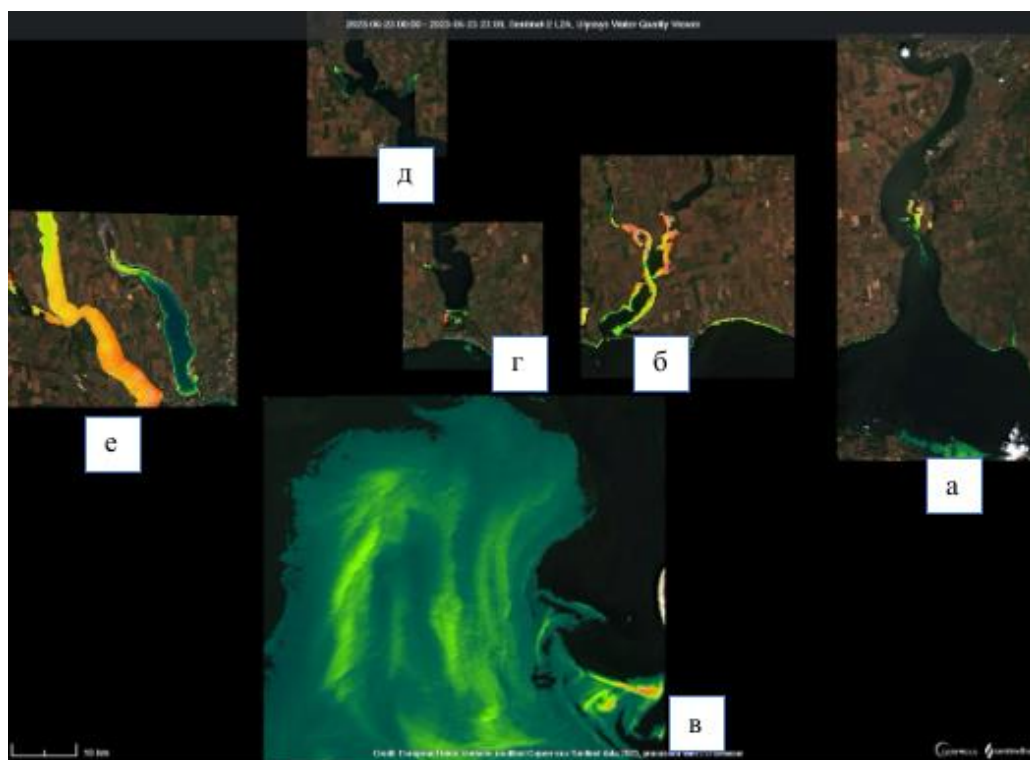


Рис. 2. Евтрофіковані ділянки акваторій, 23.06.23: а – Дніпро-Бузький лиман, б – Березанський лиман, в – Чорне море, г, д – Тилігульський лиман, е – Куяльницький та Хаджибейський лиман

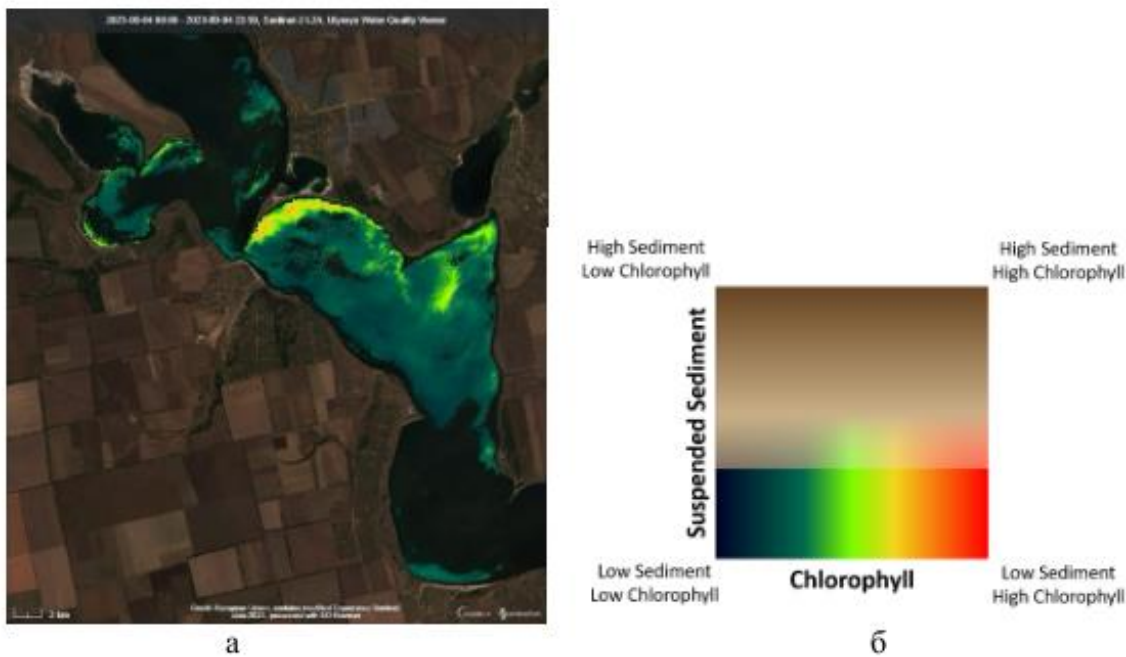


Рис. 3. Евтрофікована ділянка Тилігульського лиману, 4 вересня 2023 року, б – шкала, яка показує вміст хлорофілу та зважених речовин за кольором.



Рис. 4. «Зелений риф» під час встановлення

для забезпечення біорізноманіття Тилігульського лиману, а також підвищення можливостей до самоочищення.

Вплив на формування обростання макрзообентосу також визначається фізико-хімічними властивостями твердих субстратів. Так, шорсткість субстратів впливає на їх адсорбційні властивості, міцність прикріплення личинок донних безхребетних, а їх хімічний вплив може стимулювати або інгібувати розвиток гідробіонтів. На ряду з твер-

дими субстратами природного походження – вапняком, гранітом, формування угруповання обростання тісно пов'язано з площею доступної поверхні штучного матеріалу – бетону. Значна частка видів макрзообростання у своєму розвитку має планктонну стадію, тож формування даного угруповання залежить і від особливостей просторового розподілу личинок, їх виживання в період планктонного життя, а також від успішного їх осідання на субстрат та подальшого метаморфозу [18].



Рис. 5. «Зелений риф» через рік



а)



б)

Рис. 6. Динаміка заростання штучних рифів протягом 2022–2023 років: а) зразу після встановлення; б) через 10 місяців після встановлення

Математична структура хіміко-біологічного блоку моделі евтрофікації вод побудована на основі синтезу відомих моделей якості вод (RCA-

HydroQual, 2004; Cerco and Cole – CE-QUAL-ICM, 1995, Ambrose at all – WASP5, 1993) [19].

Хіміко-біологічний блок містить опис динаміки в локальній точці простору наступних екологічних змінних: біомаса фітопланктону (B_{ph}), сталі детритна і розчинена фракції органічного фосфору ($P_{гпрор}$, $P_{гдор}$), лабільні детритна і розчинена фракції органічного фосфору ($I_{гпрор}$, $I_{гдор}$), розчинений мінеральний фосфор ($P_{дпр}$) – фосфати $P-PO_4$, стійкі детритна і розчинена фракції органічного азоту ($N_{гпрон}$, $N_{гдон}$), лабільні детритна і розчинена фракції органічного азоту ($N_{лпрон}$, $N_{лдон}$), амонійний азот $N-NH_4$ (N_{nh4}), нітратний (+ нітритний) азот $N-NO_3$ ($N_{но3}$), стійкі детритна і розчинена фракції вуглецевого біохімічного споживання кисню ($BOD_{грс}$, $BOD_{гдс}$) – кисневого еквіваленту органічного вуглецю, лабільні детритна і розчинена фракції вуглецевого біохімічного споживання кисню ($BOD_{лрс}$, $BOD_{лдс}$), розчинений кисень (O_2).

Діаграма зв'язків між компонентами хіміко-біологічного блоку моделі евтрофікації наведена на рис. 7 [19].

Біомаса фітопланктону B_{ph} , $мгС \cdot дм^{-3}$.

$$\frac{dB_{ph}}{dt} = [G_p - k_{pr}(T) - k_{grz}(T)] \times B_{ph} \quad (1)$$

де t – час, доб; T – температура води, С;

G_p – питома швидкість росту, $доб^{-1}$;

k_{pr} – питома швидкість метаболізму (дихання), $доб^{-1}$;

k_{grz} – питома швидкість споживання зоопланктоном і істотної смертності фітопланктону, $доб^{-1}$, які записуються як функціональні залежності:

$$G_p = G_p^{max} \times G_{pT}(T) \times G_{pI}(I) \times G_{pNP}(N_{min}, P_{min}) \quad (2)$$

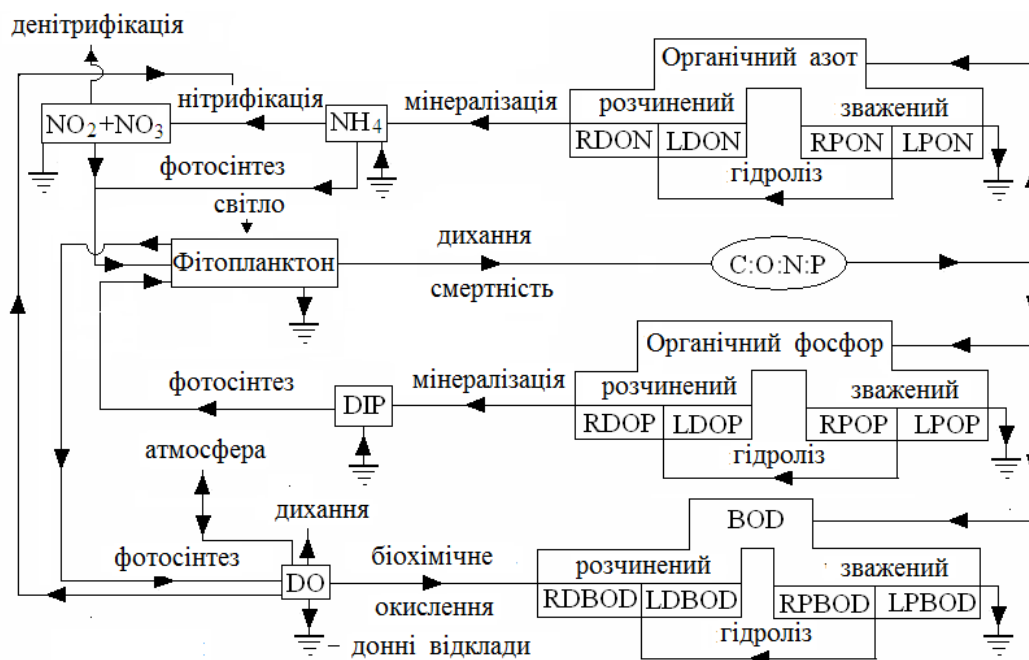


Рис. 7. Структурна діаграма хіміко-біологічного блоку моделі евтрофікації вод

$$G_{pl}(I) = \frac{2.72 f_d}{\alpha \Delta z} (\exp(R_1) - \exp(R_2)) \quad (2a)$$

$$R_1 = -\frac{I_0}{I_{opt}} \exp(-\alpha(z_s + \Delta z)), R_2 = -\frac{I_0}{I_{opt}} \exp(-\alpha z_s)$$

$$G_{pNP}(N_{min}, P_{min}) = \min \left\{ \frac{N_{min}}{K_{phn} + N_{min}}, \frac{P_{min}}{K_{phn} + P_{min}} \right\} \quad (2b)$$

$$G_{pT}(T) = \begin{cases} e^{-\zeta_1(T-T_m)^2} & \text{при } T \leq T_m \\ e^{-\zeta_2(T_m-T)^2} & \text{при } T > T_m \end{cases} \quad (2в)$$

$$k_{pr}(T) = r_g G_p + r_b \theta_{pr}^{(T-20)} \quad (3)$$

$$k_{grz}(T) = k_{grz}(20^\circ C) \theta_{grz}^{(T-20)} \quad (4)$$

де G_p^{max} – максимальна питома швидкість росту фітопланктону, $доб^{-1}$;

I_0 – середній за світловий день потік ФАР, який проникає через поверхню моря, $Вт \cdot м^{-2}$;

I_{opt} – оптимальна для фотосинтезу опроміненість, $Вт \cdot м^{-2}$;

f_d – доля світлового дня у добі ($0 \leq f_d \leq 1$);

I_z – опроміненість на глибині z , $Вт \cdot м^{-2}$;

α – інтегральний коефіцієнт послаблення інтенсивності ФАР з глибиною, $м^{-1}$;

K_{phn}, K_{php} – сталі напівнасичення швидкості процесу утилізації фітопланктоном мінеральних форм азоту і фосфору, $мг \cdot дм^{-3}$ та $мг \cdot дм^{-3}$, відповідно;

T_m – оптимальна для росту водоростей температура води, $^\circ C$;

ζ_1, ζ_2 – коефіцієнти, які визначають характер впливу температури на ріст водоростей у діапазонах вище і нижче $T_m, ^\circ C^{-2}$;

r_g – доля продукції водоростей, яка витрачається на енергетичне забезпечення фотосинтезу, $доб^{-1}$;

r_b – питома швидкість основного метаболізму водоростей при температурі $20^\circ C$, $доб^{-1}$;

θ_{pr} – коефіцієнт впливу температури на швидкість метаболізму;

$k_{grz}(20)$ – питома швидкість виїдання і загибелі фітопланктону при температурі $20^\circ C$, $доб^{-1}$;

θ_{grz} – коефіцієнт впливу температури на швидкість споживання і смертності водоростей;

z_s – відстань від поверхні води до верхньої межі розрахункового шару води, $м$;

Δz – товщина шару води, $м$;

N_{min} – розчинений мінеральний азот (DIN);

P_{min} – розчинений мінеральний фосфор (DIP).

Стійкий органічний фосфор детриту (RPOP) $мг \cdot дм^{-3}$ [20]

$$\frac{dP_{rpop}}{dt} = \alpha_{pc} f_{rpop} (k_{pr}(T) + k_{grz}(T)) B_{ph} - k_{rdp} \theta_{rdp}^{(T-20)} P_{pop} \frac{B_{ph}}{K_B + B_{ph}} \quad (5)$$

де

α_{pc} – співвідношення між фосфором і вуглицем в органічній речовині, $мг \cdot P \cdot мг \cdot C^{-1}$;

f_{rpop} – частка RPOP у метаболічних виділеннях водоростей, залишках відмерлих і спожитих водоростей;

k_{rdp} – питома швидкість гідролізу RPOP при температурі води $20^\circ C$, $доб^{-1}$;

θ_{rdp} – температурний коефіцієнт для процесу гідролізу *RPOP*;

K_B – стала напівнасичення, яка визначає лімітуючий вплив наявної біомаси фітопланктону на регенерацію мінеральних сполук фосфору і азоту, мгС·дм⁻³.

Лабільний органічний фосфор детриту (LPOP)

P_{lpop} – мгР·дм⁻³;

$$\frac{dP_{lpop}}{dt} = \alpha_{pc} f_{lpop} (k_{pr}(T) + k_{grz}(T)) B_{ph} - k_{ldp} \theta_{ldp}^{(T-20)} P_{lpop} \frac{B_{ph}}{K_B + B_{ph}} \quad (6)$$

де

f_{lpop} – частка *LPOP* у метаболічних виділеннях водоростей, залишках відмерлих і спожитих водоростей;

k_{ldp} – питома швидкість гідролізу лабільної фракції органічного фосфору детриту *LPOP* при температурі води 20 °С, доб⁻¹;

θ_{ldp} – температурний коефіцієнт для процесу гідролізу *LPOP*.

Стійкий розчинений органічний фосфор (RDOP)

P_{rdop} – мгР·дм⁻³;

$$\frac{dP_{rdop}}{dt} = \alpha_{pc} f_{rdop} (k_{pr}(T) + k_{grz}(T)) B_{ph} - k_{rdp} \theta_{rdp}^{(T-20)} P_{rdop} \frac{B_{ph}}{K_B + B_{ph}} \quad (7)$$

де f_{rdop} – частка *RDOP* у метаболічних виділеннях водоростей, залишках відмерлих і спожитих водоростей;

k_{rdp} – питома швидкість мінералізації стійкої фракції розчиненого органічного фосфору *RDOP* при температурі води 20 °С, доб⁻¹;

θ_{rdp} – температурний коефіцієнт [21].

Для калібрування моделі евтрофікації будуть використані дані гідрохімічних та гідробіологічних спостережень, проведених у Тилігульському лимані. Змодельовавши процес евтрофікації без використання штучних рифів та за їх присутності, зможемо простежити як буде змінюватись стан Тилігульського лиману та його придатність для розвитку зоопланктону.

Збір даних щодо динаміки росту зоопланктону проводився шляхом обліків тварин на досліджуваних площах (ДП), передбачувано придатних для встановлення штучних рифів. Кожна ДП складалася з п'яти пасток (0,5-літрові скляні пляшки), розташованих на відстані 10 м одна від одної. Над пастками був встановлений дах, щоб запобігти потраплянню води в пастки. Тестові ділянки були влаштовані для спостереження за тим, чи залежить просторовий розподіл тварин від ефекту екотону.

Головні висновки. Для забезпечення більшої стабільності гідроекосистеми Тилігульського лиману, збереження і примноження біорізноманіття у зв'язку з експоненційним зростанням рівня антропогенного навантаження буде доцільним використання штучних рифів у формі куль. У подальшому планується науковий експеримент зі встановлення дослідних куль малого діаметру для виявлення швидкості обростання та дослідження видового складу організмів.

Перспективи використання результатів дослідження. Представлене дослідження може в майбутньому бути використане при розробці пропозицій щодо ефективної модернізації систем маркетингового забезпечення промислових підприємств. А також узагальненні та систематизації основних аспектів модернізації систем маркетингового забезпечення промислових підприємств, питанням яких в науковій літературі приділяється недостатньо уваги.

Література

1. Моніторинг довкілля : підручник / Боголюбов В. М. та ін.; за ред. В. М. Боголюбова і Т. А. Сафранова. Херсон: Гринь Д. С., 2011. 529 с.
2. Прилади і методи дослідження стану довкілля : навч. посіб. / Л. С. Старикович, К. П. Дудок, Н. М. Любас. Львів : ЛНУ ім. І. Франка, 2014. 195 с.
3. Сучасні інформаційні технології екологічного моніторингу Чорного моря / Довгий С.О. та ін.; за ред. С.О. Довгого. Київ: Інформаційні технології, 2010. 260 с.
4. Мартін В. Інфраструктура та довкілля. Річний огляд навколишнього середовища та ресурсів. Львів, 2007. С. 349–373.
5. Нові рішення для повернення природи в міський океан. Річний огляд морської науки / Айрольдї Л. та ін. Київ, 2017. С. 445–477.
6. Мацура Б. Вплив структурних модифікацій середовища проживання в прибережних помірних системах на поповнення риби: систематичний огляд. Харків: Екологічні докази, 2019. С. 14.
7. Бейн М. Штучні рифи: огляд їх дизайну, застосування, управління та ефективності». Київ: Управління океаном і узбережжям, 2001. С. 241–259.
8. Воробйова Л.В., Кулакова І.І., Бондаренко А.С., Портянко В.В. Контактні зони Чорного моря: мейофауна літоконтура північно-західного шельфу: монографія. Одеса, 2019. 196 с.
9. Alexandrov V.G. Management possibilities of marine coastal waters quality on Odessa Bay example. *Management and conservation of the northern-western Black Sea coast* (sci. publ. proceed, of the EUCC Inter. Symp., Odessa, Ukraine, 1996). Odessa : ASTROPRINT, 1998. P. 7–14.
10. Artificial Reefs in the Black Sea. *Training Reference Book*, 2015. 12 p.
11. Baine M. Artificial reefs: a review of their design, application, management and performance. *Ocean Coast. Manag.* 2001. 44. P. 241–259.

12. Тимченко В.М. Еколого-гідрологічні дослідження водойм Північно-Західного Причорномор'я. Київ, 1990. 240 с.
13. Успішні штучні рифи залежать від правильного контексту через складні соціально-біо-економічні взаємодії / Каплан Д. та ін. Київ: Наукові доповіді, 2021. С. 11.
14. Alexandrov V.G. Management possibilities of marine coastal waters quality on Odessa Bay example. *Management and conservation of the northern-western Black Sea coast* (sci. publ. proceed, of the EUCC Inter. Symp., Odessa, Ukraine, 1996). Odessa : ASTROPRINT, 1998. P. 7–14.
15. Baine M. Artificial reefs: a review of their design, application, management and performance. *Ocean Coast. Manag.* 2001. 44. P. 241–259.
16. Тучковенко Ю.С., Кушнір Д.В., Лобода Н.С. Оценка влияния условий водообмена с морем на изменчивость уровня и солёности воды в Тилигульском лимане. *Український гідрометеорол. журнал.* 2015. № 16. С. 232–241.
17. Fabi G., Scarcella G., Spagnolo A., Bortone S., Charbonnel E., Goutayer J., Gachon C. Practical Guidelines for the Use of Artificial Reefs in the Mediterranean and the Black Sea. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2015. 84 p.
18. Визначення біотехнологічних показників для проектування і розміщення екопозитивних конструкцій в морських екосистемах України : метод. реком. / С. В. Стадніченко та ін. Херсон: Олді-Плюс, 2021. 70 с.
19. Математичне моделювання систем і процесів / Павленко П.М., Філоненко С.Ф., Чередніков О.М., Трейтяк В.В. Київ: НАУ, 2017. 392 с.
20. Павленко П.М. Основи математичного моделювання систем і процесів: навч. посіб. Київ: Книжкове вид-во НАУ, 2013. 201 с.
21. Чуйко Г.П., Дворник О.В., Яремчук О.М. Математичне моделювання систем і процесів: навч. посіб. Миколаїв: Вид-во ЧДУ імені Петра Могили, 2015. 244 с.

УДК 504.064

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.6-57.8>

ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОДИ РІЧКИ ДНІПРО В РАЙОНІ ПИТНОГО ВОДОЗАБОРУ М. ЗАПОРІЖЖЯ

Домбровський К.О., Лапченкова М.Ю.

Запорізький національний університет
вул. Університетська, 66, 69600, м. Запоріжжя
dombrov1717@ukr.net, masha474@ukr.net

У статті розглянуто питання щодо оцінки якості води річки Дніпро в районі питного водозабору Дніпровської водопровідної станції № 1 (ДВС-1) м. Запоріжжя. Вода є одним з найважливіших факторів навколишнього середовища, вона бере участь у всіх фізико-хімічних процесах в організмі. Також, її використовують для санітарно-гігієнічних, господарсько-побутових та виробничих потреб. Від якості води залежить стан і здоров'я людини. Необхідність проведення контролю показників якості води є актуальною та важливою задачею. Проводили аналіз основних гідрохімічних показників якості води дослідженого питного водозабору: водневий показник рН, перманганатна окиснюваність, хімічне споживання кисню, азот амонійний, азот нітритний, залізо загальне.

Оцінка якості поверхневих вод у районах репрезентативних питних водозаборів здійснюється за ДСТУ 4808:2007 «Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні і екологічні вимоги щодо якості води та правила вибирання». Річка Дніпро в районі питного водозабору ДВС-1 м. Запоріжжя визначена як вода III класу за індексом забруднення води (ІЗВ). Для води III класу належать поверхневі водні об'єкти, які демонструють значні зміни в концентрації деяких фізико-хімічних показників якості води порівняно з природними водами, а рівень змін наближається до меж екологічної стійкості водної екосистеми.

Отримані результати можуть бути корисними для розробки ефективних стратегій управління та поліпшення якості води р. Дніпро (Запорізьке водосховище). Одним з варіантів вирішення проблеми погіршення якості питної води на рівні Запорізького регіону є використання сучасних принципово нових багатоступеневих біотехнологій, які розроблені саме в Україні. Тобто, необхідно проводити заходи щодо біологічного очищення будь-якої води (промислових, комунально-побутових та інших стічних вод, а також зливових і природних вод). *Ключові слова:* якість поверхневих вод, водні ресурси, гідрохімічні показники, індекс забруднення води.

Assessment of water quality of the Dnipro River in the area of the drinking water intake of the city of Zaporizhzhia. Dombrovskiy K., Lapchenkova M.

The article raises the issue of assessing the water quality of the Dnipro River in the area of the drinking water intake of the Dnipro Water Supply Station No. 1 (DWS-1) of the city of Zaporizhzhia. Water is one of the components of the environment, it participates in all physicochemical processes in the body. It is also needed for sanitary and hygienic, household and production needs. The condition and health of a person depends on the quality of water. The possibility of monitoring water quality indicators is an urgent and important task. The main hydrochemical indicators of water quality of the studied drinking water intake were analyzed: water pH, permanganate oxidation, chemical oxygen demand, ammonium nitrogen, nitrite nitrogen, total iron. Assessment of surface water quality in areas of representative drinking water intakes was created according to DSTU 4808:2007 «Sources of centralized drinking water supply. Hygienic and environmental requirements for water quality and selection rules». The Dnipro River in the area of the DWS-1m drinking water intake. Zaporizhzhia is defined as Class III water according to the water pollution index (WPI). Class III water includes surface water bodies that demonstrate significant changes in the concentration of some physicochemical indicators of water quality in accordance with natural waters, and the level of change approaches the limits of the ecological stability of the aquatic ecosystem.

The results obtained can be useful for developing effective strategies for managing and improving water quality. Dnipro (Zaporizhzhia Reservoir). One of the options for solving the problem of improving the quality of drinking water at the levels of the Zaporizhzhia region is the use of the modern principle of new multi-stage biotechnologies, which were developed specifically in Ukraine. Therefore, it is necessary to carry out biological treatment measures for any water (industrial, municipal and other wastewater, as well as storm and natural waters). *Key words:* surface water quality, water resources, hydrochemical indicators, water pollution index.

Постановка проблеми. Водні ресурси Запорізької області використовуються головним чином для питного водоспоживання, а також для рекреаційних потреб населення. Ріка Дніпро, а саме Запорізьке (Дніпровське) водосховище є головним джерелом питного водопостачання населених пунктів Запорізького, Вільнянського, Новомиколаївського районів, міста Запоріжжя та деяких інших міст Запорізького регіону [1]. Комунальне підприємство «Водоканал» м. Запоріжжя забезпечує питною водою споживачів цих населених пунктів із чисельністю населення приблизно 900 тисяч осіб та близько 9 тисяч підприємств і організацій.

Розвиток промислового комплексу із врахуванням нерівномірного розподілу водних ресурсів спричинив гостру проблему питного та промислового водозабезпечення Запорізького регіону. Зростаючий антропогенний вплив на водні екосистеми промислових і сільськогосподарських підприємств та інші фактори можуть призвести до погіршення якості господарсько-питних вод та інших компонентів водних екосистем. Екологічна оцінка стану поверхневих вод р. Дніпро на території Запорізької області є важливою задачею, яка допоможе встановити стан екосистеми та удосконалити науково-методологічні підходи щодо її оцінки.

Актуальність дослідження. Вода є одним з найважливіших факторів навколишнього середовища, вона бере участь у всіх фізико-хімічних процесах в організмі. Від якості води залежить стан і здоров'я людини. Вплив господарської діяльності людини призвів до порушення природної рівноваги в багатьох водних екосистемах, що призвело до погіршення якості води поверхневих вод. Питна вода – життєво-важливий ресурс для людини, якість якої впливає на здоров'я населення [2]. В сучасному світі на якість питної води впливають антропогенні фактори такі як: забруднення довкілля, зміни клімату, технологічні викиди, використання азотовмісних добрив та ін. [3]. Забезпечити населення безпечною та якісною питною водою є основною задачею для місцевої влади багатьох регіонів України. Загрозу погіршення якості питної води, що надходить у системи водопостачання, може бути викликано активним використанням миючих засобів, поширенням нових забруднюючих речовин що надходять у системи водопостачання [4]. Проблема є особливо актуальною у нас час при різкому зростанні населення в містах а також приросту виробництва, що потребує ефективніших методів очищення та контролю якості води. Таким чином, гігієнічна характеристика показників якості питної води централізованого водопостачання – актуальна та важлива проблема, що вимагає подальших досліджень та заходів з покращення контролю.

Мета. Провести оцінку якості води річки Дніпро в районі питного водозабору Дніпровської водопровідної станції № 1 (ДВС-1) м. Запоріжжя.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Проведений гідрохімічний контроль якості води питного водозабору ДВС-1 м. Запоріжжя за значеннями індексу забруднення води та встановлений клас якості води Запорізького водосховища у верхньому б'єфі Дніпровської ГЕС.

Новизна. Виконано порівняльний аналіз основних гідрохімічних показників якості води питного водозабору ДВС-1 м. Запоріжжя з нормативними показниками якості води рибогосподарського призначення.

Методологічне або загальнонаукове значення. Отримані результати досліджень демон-

струють важливість комплексного підходу при оцінці якості води річки Дніпро в районі питного водозабору Дніпровської водопровідної станції № 1 м. Запоріжжя.

Матеріали та методи дослідження. Дніпровська водопровідна станція № 1 (ДВС-1) забезпечує питною водою підприємства і населення лівобережної частини м. Запоріжжя та Кушугумську об'єднану територіальну громаду. Також, питна вода надається Комунальному підприємству «Облводоканал» для забезпечення водопостачання м. Вільнянськ та смт. Ново-Миколаївка. Загальна чисельність населення складає 510 тис. осіб. Джерелом водних ресурсів для ДВС-1 є річка Дніпро, яка зарегульована у Запорізьке водосховище. Вода р. Дніпро у місцях водозабору слабомінералізована, помірно кольорова, слабокаламутна. Забарвленість води знаходиться у межах 35–90 град. Більшою частиною її значення складають 45–55 град.

Оцінку якості води річки Дніпро в районі питного водозабору ДВС-1 проводили за допомогою індексу забруднення води (ІЗВ), який розраховували за шістьма фізико-хімічними показниками: водневий показник рН, перманганатна окиснюваність, хімічне споживання кисню (ХСК), азот амонійний, азот нітритний, залізо загальне [5]. Вихідними даними для розрахунку ІЗВ слугували матеріали центральної лабораторії контролю питної води Комунального підприємства «Водоканал» м. Запоріжжя.

Викладення основного матеріалу. Середня концентрація фізико-хімічних показників за досліджений період (березень–жовтень) питного водозабору ДВС-1 м. Запоріжжя представлено в таблицях 1–2.

Водневий показник рН в досліджуваних пробах коливався у весняний період – від 8,09 до 9,07; в літній період – від 7,42 до 7,78, а в осінній період був у межах 7,66–7,67. Перевищення цього показника від нормативу було виявлено в квітні-травні місяці на рівні 1,0–1,1 ГДК.

Впродовж всього періоду дослідження нами було виявлено перевищення концентрації перманганатної окиснюваності води від рибогосподарського нормативу. Окиснюваність води р. Дніпро в районі ДВС-1 коливалась у межах 11,32–12,97 мг/дм³, що перевищувало значення ГДК в 1,1–1,3 рази.

Таблиця 1

Середні значення фізико-хімічних показників якості води річки Дніпро питного водозабору ДВС-1 м. Запоріжжя в 2024 р.

Показники	березень	квітень	травень	червень
Водневий показник, рН	8,09	9,07	8,61	7,78
Окиснюваність, мг/дм ³	11,32	12,50	12,97	12,42
ХСК, мг О ₂ /дм ³	43,27	46,39	37,86	35,43
Азот амонійний, мг NH ₄ /дм ³	0,45	0,55	0,59	0,52
Азот нітритний, мг NO ₂ /дм ³	0,045	0,035	0,016	0,105
Залізо загальне, мг Fe/дм ³	0,54	0,71	0,65	0,58

Концентрація хімічного споживання кисню (ХСК) з березня по вересень 2024 р. також перевищували рибогосподарський норматив більш ніж у 1,6–2,3 рази.

Азот амонійний NH_4^+ в пробах води коливався у весняний період – від 0,45 до 0,59; в літній період – від 0,52 до 0,53, а в осінній період був у діапазоні 0,33–0,40. Перевищення амоній-іону від нормативу було виявлено в квітні-серпні місяці на рівні 1,1–1,2 ГДК. В інші місяці (березень, вересень, жовтень) концентрація азоту амонійного у воді водотоку не перевищувала значення ГДК та була в нормі і відповідала нормативам рибогосподарського призначення.

Показники концентрації азоту нітритного у воді не перевищували значення нормативів ГДК у весняний, осінній періоди та влітку в серпні місяці. Проте незначне перевищення цього показника від рибогосподарського нормативу було виявлено в літку в червні-липні місяці, див. табл. 1–2.

Вміст аміаку і нітритів в пробах води в районах питних водозаборів подекуди в певні місяці 2024 року перевищували нормативи ГДК. Тому при проведенні технологічної обробки річкової води (очищення води поверхневих вод) для питних потреб населення м. Запоріжжя на ДВС-1 необхідно особливо увагу звертати саме на ці гідрохімічні показники. Так, як навіть незначний вміст (концентрація) азоту амонійного й нітрит-іонів у питній воді

небезпечні тим, що потрапляючи в організм людини викликають порушення дихання, а саме гіпоксію, яка може стати причиною слабкості, погіршення самопочуття, порушення функцій нервової системи, серця, тканин нирок і печінки.

Впродовж всього періоду дослідження нами було виявлено перевищення концентрації загального заліза у воді р. Дніпро в районі питного водозабору. Перевищення концентрації загального заліза у пробах води у весняний, літній та осінній періоди дослідження від рибогосподарського нормативу було (за середніми показниками) в 6,3; в 5,2 та в 4,9 разів вищими від ГДК.

За результатами дослідження показників якості води питного водозабору ДВС-1 (табл. 3) було розраховано індекс забруднення води (ІЗВ) на дослідженій ділянці р. Дніпро. На досліджуваному об'єкті ІЗВ змінюється в межах 1,64 (серпень) – 2,21 (квітень).

За результатами проведених досліджень (табл. 3) вода р. Дніпро в районі питного водозабору ДВС-1 м. Запоріжжя визначена як вода III класу за індексом забруднення води (ІЗВ).

Для води III класу належать поверхневі водні об'єкти, які демонструють значні зміни в концентрації деяких фізико-хімічних показників якості води порівняно з природними водами, а рівень змін наближається до меж екологічної стійкості водної екосистеми. Підвищений вміст деяких забруднюючих речовин у воді може призвести до того, що вода р. Дніпро

Таблиця 2

Середні значення фізико-хімічних показників якості води річки Дніпро питного водозабору ДВС-1 м. Запоріжжя в 2024 р.

Показники	липень	серпень	вересень	жовтень
Водневий показник, рН	7,42	7,55	7,66	7,67
Окиснюваність, мг/дм ³	12,38	11,93	12,90	12,70
ХСК, мг O ₂ /дм ³	33,27	32,10	35,76	34,20
Азот амонійний, мг NH ₄ /дм ³	0,53	0,52	0,40	0,33
Азот нітритний, мг NO ₂ /дм ³	0,082	0,056	0,187	0,031
Залізо загальне, мг Fe/дм ³	0,54	0,44	0,48	0,50

Таблиця 3

Результати розрахунку Індексу забруднення води (ІЗВ) річки Дніпро питного водозабору ДВС-1 м. Запоріжжя в 2024 р.

Місяць	ІЗВ	Клас якості води
Березень	1,85	III
Квітень	2,21	III
Травень	2,01	III
Червень	2,01	III
Липень	1,88	III
Серпень	1,64	III
Вересень	1,99	III
Жовтень	1,66	III

може бути обмежено придатною для багатьох видів використання, включаючи питну воду і споживчі потреби. Дуже важливо вжити негайні заходи для зменшення забруднення води і відновлення її якості до прийнятних нормативів.

Якість питної води повинна відповідати діючим нормативним вимогам Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» ДСанПіН 2.2.4-171-10 або іншим нормативним документам, які будуть затверджені на період дії технологічного регламенту.

Головні висновки. На основі аналізу деяких гідрохімічних показників води питного водозабору міста Запоріжжя було встановлено перевищення нормативів головним чином для п'ятих показників – водневого показника, азоту амонійного, азоту нітритного, перманганатної окиснюваності води,

та хімічного споживання кисню, що свідчить про органічного забруднення поверхневих вод даного водного об'єкту. Це вказує на потенційні ризики для здоров'я людей та потребу у вжитті негайних заходів для зменшення забруднення.

За результатами проведених досліджень вода р. Дніпро в районі питного водозабору ДВС-1 м. Запоріжжя визначена як вода III класу за індексом забруднення води, що характеризує її якість, як помірно забруднена вода.

Одним з варіантів вирішення проблеми погіршення якості питної води на рівні Запорізького регіону є використання сучасних принципово нових багатоступеневих біотехнологій, які розроблені саме в Україні. Тобто, необхідно проводити заходи щодо біологічного очищення будь-якої води (промислових, комунально-побутових та інших стічних вод, а також зливових і природних вод).

Література

1. Непша О.В. Організація системи відпочинку в приміських зонах. Географія і сучасність. *Збірник наукових праць Національного педагогічного університету ім. М.П. Драгоманова*. 2000. Вип. 4. С. 125-131.
2. Гвоздяк П.І. Біохімія води. Біотехнологія води (автомонографія). Київ : Видавничий дім Києво Могилянська академія, 2019. 228 с.
3. Андрусишина І.М. Вплив мінерального складу питної води на стан здоров'я населення : Вода і водоочисні технології : Навчальний посібник. Київ : Інститут медицини праці імені Ю.І. Кундієва, 2015. 31 с.
4. Зоріна О.В., Протас С.В. Гігієнічна оцінка якості водопровідних питних вод за санітарно-хімічними показниками та удосконалення науково-методологічних підходів до їх оцінки з урахуванням вимог європейського законодавства. *ScienceRise: Biological Science*. 2018. № 4(13). С. 4-11.
5. Яров Я.С. Оцінка якості води річки Барабой за гідрохімічними показниками. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2012. Вип. 13. С. 177-186.

УДК 556.18, 504.064.2:628.11

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.6-57.9>

ОЦІНКА СТАНУ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ДЖЕРЕЛ ПИТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ В БАСЕЙНІ Р. РОСЬ

Єзловецька І.С.

Інститут колоїдної хімії та хімії води імені А.В. Думанського
Національної академії наук України
бульв. Академіка Вернадського, 42, 03142, м. Київ
i.ezlovetskaya@ukr.net

Дослідження природно-техногенної безпеки в басейні р. Рось є важливою умовою сталого розвитку водних ресурсів в цьому регіоні. Сучасний рівень техногенного навантаження на основні джерела питного водопостачання в басейні р. Рось і його наслідки вивчали в районі питних водозаборів м. Біла Церква (Верхнє Білоцерківське водосховище) і м. Корсунь-Шевченківський (Корсунь-Шевченківське водосховище). Вони розташовані на різних водогосподарських ділянках і відрізняються між собою фізико-географічним розташуванням, природними умовами формування якості води, рівнем антропогенного навантаження та різним галузевим розподілом водокористування. Період спостережень: наближений до маловодного рік, який характеризувався складними умовами формування кількісних і якісних параметрів функціонування гідроекосистем р. Рось в довоєнний період.

Оцінено рівень використання природного стоку р. Рось в районі репрезентативних питних водозаборів за 4 показниками. Відмічено «дуже високий» рівень фактичного використання природного стоку на верхній ділянці басейну (водозбір складає біля 50 % водних ресурсів басейну). Оцінено якісні характеристики гідроекологічного потенціалу природно-техногенних водних екосистем джерел питного водопостачання в басейні р. Рось. Встановлено, що за найгірших умов якісні параметри гідроекосистем в районі репрезентативних питних водозаборів відповідають «зоні песимуму», «низькій» здатності до самоочищення, «незадовільній» категорії природно-техногенної безпеки і «конфліктному» екологічному стану водних екосистем в цілому.

Визначено основні екологічні проблеми басейну р. Рось. Встановлено, що в умовах зростаючого дефіциту якісної води та кліматичних змін першочерговим заходом повинно бути раціональне використання джерел питного водопостачання та всебічне збереження їх гідроекосистем, яке базуватиметься на застосуванні передових екологічно збалансованих ресурсозберігаючих технологій, маловідходних замкнених циклах, подальшому розвитку систем оборотного й повторного використання вод і ефективності систем локального очищення стічних вод. *Ключові слова:* техногенне навантаження, джерело, питне водопостачання, гідроекологічний потенціал, якість води, басейн р. Рось.

Assessment of the state of natural and technological safety of drinking water sources in the Ros River basin. Yezlovetska I.

The study of natural and technological safety in the Ros River basin is an important condition for the sustainable development of water resources in this region. The current level of anthropogenic load on the main sources of drinking water supply in the Ros River basin and its consequences were studied in the area of drinking water intakes in Bila Tserkva (Bilotserkivskiy Upper Reservoir) and Korsun-Shevchenkivskiy (Korsun-Shevchenkivskiy Reservoir). They are located in different water supply areas and differ in their physical and geographical location, natural conditions of water quality formation, level of anthropogenic load and different sectoral distribution of water use. Observation period: close to a low-water year, which was characterized by difficult conditions for the formation of quantitative and qualitative parameters of the functioning of the Ros River hydroecosystems in the pre-war period.

The level of use of the natural flow of the Ros River in the area of representative drinking water intakes was assessed by 4 indicators. A 'very high' level of actual use of the natural flow in the upper part of the basin was noted (water intake is about 50 % of the basin's water resources). The qualitative characteristics of the hydroecological potential of natural and anthropogenic aquatic ecosystems of drinking water sources in the Ros River basin are assessed. It is established that under the worst conditions, the quality parameters of hydroecosystems in the area of representative drinking water intakes correspond to the 'zone of pessimism', 'low' self-purification ability, 'unsatisfactory' category of natural and technological safety and 'conflict' ecological state of aquatic ecosystems in general.

The main environmental problems of the Ros River basin are identified. It has been established that in the context of the growing shortage of quality water and climate change, the first priority should be the rational use of drinking water sources and the comprehensive preservation of their hydroecosystems, based on the use of advanced environmentally balanced resource-saving technologies, low-waste closed cycles, further development of water recycling and reuse systems and the efficiency of local wastewater treatment systems. *Key words:* technogenic load, source, drinking water supply, hydroecological potential, water quality, Ros River basin.

Постановка проблеми. Цілий ряд проблем, які спостерігаються у водному господарстві України, а також природна специфіка формування водних ресурсів в різних природно-кліматичних зонах країни, обумовлюють досить високу складність досягнення водної безпеки, навіть без врахування наслідків війни [1]. Передбачається, що вже до середини ХХІ ст. слід очікувати ще більшого загострення

дефіциту водних ресурсів (зокрема, скорочення річкового стоку на 70 % в південних та південно-східних регіонах України, а в басейні р. Дніпро (лісова зона) – на 29 %), що також призведе до підвищення інтенсивності забруднення водних об'єктів через зростання кількості стічних вод на 1 м³ поверхневих вод [2, 3]. Відповідно це ускладнюватиме отримання високоякісної питної води, обумовлюватиме

зростання негативного впливу на здоров'я людини та підвищуватиме собівартість отриманої продукції. Тому основною стратегією досягнення водної безпеки має бути «забезпечення збалансованого користування водними ресурсами з урахуванням необхідності забезпечення ними прийдешніх поколінь» [4] шляхом зменшення антропогенного тиску на водні об'єкти. Для досягнення поставлених цілей, в першу чергу, необхідно оцінити ефективність взаємодії складових елементів та процесів природно-техногенних гідроекосистем водних об'єктів.

Особливо це актуально для басейну р. Рось – багатогалузевого господарського комплексу з високим рівнем освоєння території (харчова, легка, нафтохімічна промисловості, сільськогосподарське виробництво) та високою зарегульованістю річкового стоку, поверхневі води якого забезпечують питні, санітарно-гігієнічні і виробничі потреби міст Біла Церква, Богуслав, Миронівка, Корсунь-Шевченківський, частково – Умані [5].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження відповідає стратегічним цілям та завданням, які встановлені у Законі України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» [4], Водній стратегії України на період до 2050 року [1] тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз результатів вітчизняних та закордонних досліджень свідчить про багатоплановість впливу техногенного навантаження, ускладненого наслідками зміни клімату, на якість і кількість поверхневих вод як природного ресурсу, що призводить до ряду негативних екологічних, соціальних, технічних й економічних наслідків як на сьогодні, так і в перспективі [6–10]. Встановлено, що відсутність механізму адаптації водного господарства до глобальних змін клімату знижує ефективність існуючої системи водозабезпечення населення і галузей економіки [1–3, 11]. Висока водоемність виробництв (10 м³ використаної води на 1000 грн. ВВП), відсутність в ряді регіонів сучасних систем водопостачання (сільське населення забезпечене лише на четверть), питоме водоспоживання на 1 людину (в середньому 250 л/добу) обумовлюють нераціональне використання водних ресурсів із порушенням екологічних вимог і зростання рівня водного стресу в Україні – до 12,26 %, що в 1,5 разів вище за середнє по Європі [12, 13]. Високий рівень концентрації промислових об'єктів, відсутність чи недостатня потужність очисних споруд, рівень санітарії (частка централізованих систем водовідведення на селі – 1,8 %), недосконалість технологій очищення чи незадовільна експлуатація очисних споруд, недостатня роль оборотного та повторного використання стічних вод обумовлюють забруднення водних джерел внаслідок надходження значних об'ємів стічних вод та забруднюючих речовин з ними [10–15]. Отже необхідність обмеження

техногенного навантаження на компоненти та комплекси водних екосистем і досягнення екологічно безпечного використання водних ресурсів є першочерговим завданням водної політики України.

Попередні наукові дослідження в басейні р. Рось дозволили оцінити антропогенні фактори впливу як на функціонування його водогосподарського комплексу, так і самих водних об'єктів в басейні [5, 16–18]. Однак комплексному оцінюванню рівня природно-техногенної безпеки як важливої умови сталого розвитку водних ресурсів в басейні р. Рось, особливо на фоні складних кліматичних умов останнього десятиліття (період 75–95 % водності), уваги приділяли недостатньо.

Тому **метою** цієї роботи є аналіз основних чинників техногенного навантаження для оцінки природно-техногенної безпеки джерел питного водопостачання в басейні р. Рось.

Матеріали та методи дослідження. Дослідження проводили на двох водогосподарських ділянках в басейні р. Рось, які мали різний рівень техногенного навантаження на водні ресурси, в районі репрезентативних питних водозаборів:

Ділянка I. Від витоку до кордону Київської та Черкаської областей (верхня ділянка) з питним водозабором м. Біла Церква (с. Глибичка);

Ділянка II. Від кордону Київської та Черкаської областей до гирла (нижня ділянка) з питним водозабором м. Корсунь-Шевченківський.

Відрізнялися ці ділянки між собою також різним запасом водних ресурсів. Так Верхнє Білоцерківське водосховище, на якому розташований питний водозабір м. Біла Церква, є основним акумулятором і регулятором водних ресурсів у басейні Росі, а Корсунь-Шевченківське водосховище – останнє на основному руслі Росі і акумулює в собі, в основному, той об'єм води, який надходить з верхньої ділянки, зокрема з каскаду Білоцерківських водосховищ (Верхнього, Середнього і Нижнього). Тому нижня ділянка басейну Росі є менш забезпеченою водними ресурсами і залежить від їх перерозподілу з верхньої ділянки.

Період спостережень: наблизений до маловодного рік (2021 р.), який характеризувався складними умовами формування кількісних і якісних параметрів функціонування гідроекосистем р. Рось в довоєнний період.

Методи дослідження – аналіз і систематизація даних щодо кількісних і якісних аспектів водокористування в басейні р. Рось [19]; методи розрахунку показників використання природного стоку водних об'єктів [20], індексу гідроекологічного потенціалу природно-техногенних гідроекосистем [21, 22].

Індекс гідроекологічного потенціалу (ІГЕП) є узагальнюючим показником якісної складової гідроекологічного потенціалу природно-техногенних гідроекосистем, що дозволяє оцінити їх стабільність і екологічну безпеку. Для розрахунку було відібрано

25 основних показників якості води, поєднаних в блоки: органолептичний (каламутність, кольоровість, запах), загальносанітарний хімічний (сухий залишок, хлориди, сульфати, рН, магній, жорсткість загальна, лужність загальна, сполуки азоту і фосфору, вміст розчиненого кисню, ХСК, БСК_п) і токсикологічний (залізо, мідь, марганець, цинк, хром (VI), феноли, нафтопродукти, СПАР). ІГЕП розраховували шляхом ділення нормативного значення конкретного показника, який відповідає оптимальному 2 класу якості води джерел питного водопостачання [23], на величину цього показника.

Рівень потенціалу якості оцінювали за наступною шкалою: буферний (зона екологічної рівноваги) – ІГЕП > 5; оптимальний – 3 <ІГЕП ≤ 5; напруженої адаптації – 1 <ІГЕП ≤ 3; зона песимуму в межах -1 <ІГЕП ≤ 1; критичний – при значеннях показника -3 <ІГЕП ≤ -1; кризовий – при значеннях показника -3 <ІГЕП ≤ -5; катастрофічний (зона екологічного лиха) – -5 <ІГЕП ≤ -3 [21, 22].

Викладення основного матеріалу. Дослідження проблем функціонування гідроекосистем джерел питного водопостачання потребує аналізу значної кількості елементів і оцінки взаємовідносин між ними. В зв'язку з тим, що сучасні гідроекосистеми – це сукупність природних і техногенних об'єктів та процесів в межах водних басейнів, діяльність яких постійно змінює кількісні і якісні параметри водних об'єктів під дією техногенних змін, їх оцінювання бажано здійснювати за відповідними комплексними показниками.

Одним з таких комплексних показників є рівень використання природного стоку водних об'єктів для задоволення потреб різних галузей економіки, що

характеризує рівень техногенного навантаження на водні об'єкти (табл. 1).

Як видно з табл. 1, на верхній ділянці басейну р. Рось зафіксовано «дуже високий» рівень фактичного використання водного стоку та показник безповоротного водоспоживання – «вище норми». Це обумовлено тим, що з басейну р. Рось на різні потреби в період спостереження забирали половину його водних ресурсів (59 млн м³/рік), при цьому на верхню ділянку припадало 92 % забору води від загального по басейну [19]. Отже, кількісні характеристики використання природного стоку на цій ділянці були визначальними.

В той же час якісні характеристики використання природного стоку за показниками скиду стічних вод у річкову мережу і надходження в річкову мережу забруднених стічних вод – «вище норми» і «низький» відповідно. Наявність на цій ділянці м. Біла Церква з розгалуженим господарським комплексом і ряду комунальних підприємств – ТОВ «Білоцерківвода», КП БМК «Богуславводоканал», КП «Миронівкаводоканал», КП УМР «Узинводоканал», які є основними постачальниками стічних вод (91 % скинутих стічних вод від загального по басейну, з них 95 % – водоканалами) відіграло визначальну роль в забрудненні річкових вод, хоча частка стічних вод без очистки і недостатньо очищених становила всього 1 %.

Що стосується нижньої ділянки басейну р. Рось (8 % забору річкових вод і 9 % скиду стічних вод від загального по басейну), то тут рівень використання природного стоку за 4 показниками був стабільно «низький» (табл. 1). Тобто тиск на водні ресурси, обумовлений в основному діяльністю КП

Таблиця 1

Рівень використання природного стоку верхньої і нижньої ділянок басейну р. Рось за умов наближеного до маловодного періоду

Показники	Нормативна величина, %	Значення показника, %	Рівень використання природного стоку
Верхня ділянка			
Показник фактичного використання природного стоку	<10,0	28,7	Дуже високий
Показник безповоротного водоспоживання природного стоку	<10,0	14,1	Вище норми
Показник скиду стічних вод у річкову мережу	<6,0	20,5	Вище норми
Показник надходження в річкову мережу забруднених стічних вод	<1,0	0,2	Низький
Нижня ділянка			
Показник фактичного використання природного стоку	<10,0	2,8	Низький
Показник безповоротного водоспоживання природного стоку	<10,0	1,2	Низький
Показник скиду стічних вод у річкову мережу	<6,0	1,6	Низький
Показник надходження в річкову мережу забруднених стічних вод	<1,0	0,0008	Низький

«Водоканал» м. Корсунь-Шевченківський і ДП «Корсунь-Шевченківський гранкар'єр «Сівач», на порядок менший, ніж на верхній ділянці.

Отже, умови водоспоживання на верхній ділянці басейну Росі, на відміну від нижньої ділянки, в цілому жорсткі і можуть обумовити значні негативні екологічні наслідки у гідроекосистемах, проте поки що не провокують різкого дефіциту води, і потребують особливої уваги при плануванні водохоронних заходів.

Ще одним комплексним показником якості гідроекосистем є гідроекологічний потенціал, який характеризує ту частину водних ресурсів, що може бути використана за умов збереження екологічної безпеки та при мінімальному техногенному ризику, який підлягає управлінню. Саме за ним і оцінюють буферну здатність гідроекосистем – здатність зберегти стійкість під впливом техногенних факторів, тобто залишити позитивним гідроекологічний потенціал.

Отримані результати, наведені в табл. 2, дозволили оцінити рівень гідроекологічного потенціалу, здатність гідроекосистем до самоочищення, категорії природно-техногенної безпеки водного об'єкту і екологічний стан водного середовища в цілому.

Встановлено, що в місцях питних водозаборів, подалі від місць скиду стічних вод основних підприємств-забруднювачів, гідроекологічний потенціал гідроекосистем обумовлює «зону песимуму» і «зону напруження адаптації» до існуючих природно-техногенних умов. При цьому стан водних екосистем коливається від «конфліктного» до «насторожуючого», здатність водної екосистеми до самоочищення – від «низької» до «середньої», рівень природно-техногенної безпеки водних екосистем – від «незадовільного» до «задовільного».

Ситуація приблизно однакова як для верхньої, так і для нижньої ділянок басейну р. Рось, що свідчить про стабільний техногенний тиск на водні екосистеми в басейні р. Рось. Однак відмічено поступове і незначне погіршення екологічного стану гідроекосистем вниз за течією (питний водозабір м. Корсунь-Шевченківський) як за найгіршими величинами ІГЕП, так і за середніми, хоча і в межах категорії. Це можна пояснити тим, що нижня ділянка акумулює в собі все, що надходить з верхів'я басейну, і хоча має набагато нижчі показники використання річкового стоку, проте накопичує біля 30 % забруднюючих речовин від загального по басейну (біля 3 тис. т/рік).

Додатково було встановлено, що визначальними при обчисленні ІГЕП були загальносанітарні хімічні показники на всіх питних водозаборах (ІГЕП від -1,7 до 0,9) і токсикологічні показники (залізо загальне, хром (VI), нафтопродукти) в районі питного водозабору м. Корсунь-Шевченківський (ІГЕП від -0,2 до 1,6), що обумовлено як природними умовами формування якості води р. Рось, так і техногенними чинниками, зокрема скидом забруднюючих речовин, що на фоні зниження річкового стоку, підвищення температури у вегетаційний період, обумовлює інтенсивну евтрофікацію водойм, особливо каскаду водосховищ на основному руслі.

Слід відмітити, що частка забруднених стічних вод в загальному обсязі водовідведення становила в цілому 1 %, в тому числі на верхній ділянці – біля 1 %, на нижній – 1,6 %. Враховуючи те, що цільове значення цього показника (станом до 2030 р.) повинно бути не більшим 5 %, то в басейні р. Рось найближчі роки скидання забруднених стічних вод на існуючому рівні буде знаходитися в допустимих межах, якщо тільки при цьому не враховувати їх вплив на еколого-гігієнічний стан джерел питного водопостачання.

Таблиця 2

Оцінка якісних параметрів гідроекологічного потенціалу джерел питного водопостачання верхньої і нижньої ділянок басейну р. Рось в місцях репрезентативних питних водозаборів

Якісні параметри гідроекологічного потенціалу	Величини параметрів	Верхня ділянка	Нижня ділянка
		с. Глибичка, питний водозабір м. Біла Церква	м. Корсунь-Шевченківський, питний водозабір
Значення ІГЕП	найгірші	0,2	-0,03
	середні	1,4	1,2
Оцінка гідроекологічного потенціалу	найгірші	Зона песимуму	Зона песимуму
	середні	Напруження адаптації	Напруження адаптації
Здатність водної екосистеми до самоочищення	найгірші	Низька	Низька
	середні	Середня	Середня
Категорія природно-техногенної безпеки водної екосистеми	найгірші	Незадовільна	Незадовільна
	середні	Задовільна	Задовільна
Стан водної екосистеми	найгірші	Конфліктний	Конфліктний
	середні	Насторожуючий	Насторожуючий

Отже, серед екологічних проблем в басейні р. Рось основними є:

– кількісне виснаження водних ресурсів внаслідок господарської діяльності людини, особливо на верхній ділянці, де показник використання річкового стоку «дуже високий» (фактично становить половину водних ресурсів басейну). При цьому частка вільних водних ресурсів, яка може бути використана за умов збереження екологічної безпеки та при мінімальному техногенному ризику, є незначною;

– поступова деградація водних екосистем до «конфліктного» стану (четверта категорія із шести) як на верхній, так і на нижній ділянках, через стабільний рівень техногенного навантаження. Одним із основних чинників було забруднення водних об'єктів стічними водами (біля 27 млн м³/рік), які привносять з собою понад 10 тис. т забруднюючих речовин. Причинами можуть бути як штатні, так і аварійні скиди стічних вод, у тому числі неочищених; наявність звалищ побутових і промислових відходів на прибережних територіях; слабкий рівень забезпечення сільського населення, яке становить майже половину людського ресурсу в басейні, централізованими системами водовідведення (на сьогодні до 12 %) тощо.

Відомо, що «відтворення та охорона водних ресурсів вимагають суттєвих матеріальних витрат, економічна і соціальна ефективність яких повинна бути достатньо високою для того, щоб суспільство могло їх собі дозволити» [5]. Тому слід, в першу чергу, зосередитися на економічно прийнятних водоохоронних заходах: жорсткому дотриманні нормативів споживання і використання водних ресурсів; підтриманні у належному стані діючих споруд, систем і мереж; попередженні аварійних ситуацій; дотриманні умов використання прибережних смуг та водоохоронних зон тощо.

Головні висновки. Оцінено рівень використання природного стоку р. Рось в районі репрезентативних питних водозаборів за умови низької водності (наближений до маловодного рік). Відмічено «дуже високий» рівень фактичного використання природного стоку на верхній ділянці басейну.

Визначено основні чинники формування техногенного навантаження на водні ресурси басейну р. Рось.

Оцінено якісні характеристики гідроекологічного потенціалу природно-техногенних водних екосистем джерел питного водопостачання в басейні р. Рось. Встановлено, що за найгірших умов якісні параметри гідроекосистеми відповідають «зоні песимуму», «низькій» здатності до самоочищення, «незадовільній» категорії природно-техногенної безпеки і «конфліктному» екологічному стану водних екосистем в цілому.

Визначено, що для забезпечення екологічно стійкого функціонування водних об'єктів в басейні р. Рось із збереженням буферних властивостей гідроекосистем необхідно враховувати, в першу чергу, технічні аспекти охорони природних вод.

Перспективи використання результатів дослідження. Вивчення і аналіз основних чинників техногенного навантаження дозволив окреслити головні проблеми репрезентативних водних джерел басейну Росі, які вимагають подальшого їх вирішення. В умовах зростаючого дефіциту якісної води та кліматичних змін першочерговим заходом повинно бути їх раціональне використання та всебічне збереження, яке базуватиметься на застосуванні передових екологічно збалансованих ресурсозберігаючих технологій, маловідходних замкнутих циклах, подальшому розвитку систем оборотного й повторного використання вод і ефективності систем локального очищення стічних вод.

Література

1. Водна стратегія України на період до 2050 року. Розпорядження КМУ від 09.12.2022 р. № 1134-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1134-2022-%D1%80#Text> (дата звернення: 10.11.2024).
2. Осадчий В. І. Ресурси та якість поверхневих вод України в умовах антропогенного навантаження та кліматичних змін. *Вісник НАН України*. 2017, № 8. С. 29–46.
3. Сніжко С., Шевченко О., Дідовець Ю. Аналіз впливу кліматичних змін на водні ресурси України / Центр екологічних ініціатив “Екодія”. Київ, 2021. 68 с.
4. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року: Закон України від 28.02.2019 № 2697-VIII. *Відомості Верховної Ради (ВВР)*. 2019. № 16. Ст. 70. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text> (дата звернення: 10.11.2024).
5. Звіт про діяльність БУВР Росі з питань управління, використання та відтворення поверхневих водних ресурсів в басейні річки Рось в 2016 році. Біла Церква, 2017. 159 с.
6. *Toward a sustainable water future: visions for 2050* / editet by Walter M. Grayman, Daniel P. Loucks, Laurel Saito. Reston, 2012. 386 p.
7. *Resources of Water* / ed. by Chandrasekaran P. T., Javaid M. S., Sadiq A. 2021. 170 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.77929>.
8. *Multiple Stressors in River Ecosystems: Status, Impacts and Prospects for the Future* / ed. by: S. Sabater, A. Elosegı, R. Ludwig. Oxford: Elsevier, 2019. 392 p.
9. *Екологічні основи управління водними ресурсами* / Томільцева А. І. та ін. Київ: Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017. 200 с.
10. Вергун О. М. Аналіз актуальних чинників погіршення якості джерел питного водопостачання в контексті екологічної безпеки України. *Екологічна безпека та природокористування* : зб. наук. праць. 2014. № 15. С. 22–30.

11. Єзловецька І. С. Ефективність водокористування в Україні як частини водогосподарського комплексу. *Modern science: innovations and prospects: proceedings of XV International Scientific and Practical Conference (Stockholm, Sweden, 13–15 November 2022)*. 2022. Р. 186–189. URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2022/11/MODERN-SCIENCE-INNOVATIONS-AND-PROSPECTS-13-15.11.22.pdf> (дата звернення: 15.11.2022).
12. FAO. Aquastat URL: https://tableau.apps.fao.org/views/ReviewDashboard-v1/region_dashboard?%3Aembed=y&%3AisGuestRedirectFromVizportal=y (дата звернення: 10.11.2024).
13. Цілі сталого розвитку. Україна 2021. Моніторинговий звіт. Київ, 2021. 100 с.
14. Хільчевський В. К., Забоклицька М. Р., Кравчинський Р. Л., Чунарьов О. В. Основні засади управління якістю водних ресурсів та їхня охорона. Київ, 2015. 172 с.
15. Левковська Л., Мандзик В., Митрофанова О. Теоретичні засади формування сталого водозабезпечення в умовах екологічних обмежень. *Економіка довкілля та сталий розвиток*. 2020. № 7 (26). С. 32–39.
16. Гідроекологічний стан басейну річки Рось / В. К. Хільчевський та ін.; за ред. В. К. Хільчевського. Київ : Ніка-Центр, 2009. 116 с.
17. Грабовська Т. О., Бабій П. О., Олешко О. А. та ін. Оцінка екологічного стану річки Рось у межах Білоцерківського району. *Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва*. 2021. № 2. С. 78–85. DOI: 10.33245/2310-9289-2021-166-2-78-85.
18. Бабій П. О., Вишневський В. І., Шевчук С. А. Річка Рось та її використання. Київ, 2016. 128 с.
19. Основні показники використання водних ресурсів в Україні за 2015-2023 роки. Портал електронних послуг. Держводагентство України [Електронний ресурс]. URL: <https://e-services.davr.gov.ua/parlor/p-report-genn-advanced/preview> (дата звернення: 10.11.2024).
20. Методика розрахунку антропогенного навантаження і класифікації екологічного стану басейнів малих річок. Київ, 2007. 71 с.
21. Архипова Л.М. Природно-техногенна безпека гідроекосистем: монографія. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2011. 355 с.
22. Патент України, № 64027. Архипова Л.М. Спосіб оцінки якості поверхневих вод. URL: <https://ua.patents.su/5-64027-sposib-ocinki-yakosti-poverkhnevikh-vod.html> (дата звернення: 10.11.2024).
23. ДСТУ 4808:2007. Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання. Київ, 2007. 36 с.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ ПОВЕРХНЕВИХ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ В УМОВАХ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Кірейцева Г.В.

Державний університет «Житомирська політехніка»
вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир
gef_kgv@ztu.edu.ua

У статті проведено комплексне дослідження теоретичних основ управління екологічною безпекою поверхневих водних об'єктів в умовах зростаючого антропогенного навантаження. Актуальність дослідження обумовлена критичним станом водних ресурсів України, де понад 70% малих річок перебувають у незадовільному екологічному стані, що вимагає розробки та впровадження ефективних механізмів управління їх екологічною безпекою. Дослідження базується на ґрунтовному бібліометричному аналізі 2835 наукових публікацій з бази даних Scopus, що дозволило виявити ключові тенденції розвитку наукової думки в галузі управління водними ресурсами та екологічної безпеки водних об'єктів. Проведений аналіз динаміки публікаційної активності за період 1982-2024 років демонструє експоненційне зростання наукового інтересу до проблематики управління водними ресурсами, особливо з початку 2000-х років. Дослідження виявило чітку міждисциплінарну структуру наукової галузі, де домінують екологічні науки (39,6%), соціальні науки (14,7%), науки про Землю (11,3%) та інженерні науки (9,4%). Така різноманітність наукових напрямків підтверджує необхідність комплексного підходу до управління екологічною безпекою водних об'єктів. Кластерний аналіз публікацій дозволив виділити три основні напрямки досліджень: технічні аспекти управління водними ресурсами, управлінські та політичні аспекти, екологічні аспекти та питання якості води. У роботі встановлено, що основними джерелами антропогенного впливу на малі річки є промислові підприємства (35% загального забруднення), комунальні стоки (30%), сільськогосподарська діяльність (25%) та інші джерела (10%). Дослідження підкреслює важливість впровадження басейнового принципу управління водними ресурсами, який передбачає інтегрований підхід до використання, охорони та відновлення водних ресурсів у межах річкових басейнів.

Таким чином, проведене дослідження демонструє комплексний характер проблеми управління екологічною безпекою поверхневих водних об'єктів та необхідність застосування інтегрованого підходу, що враховує екологічні, економічні та соціальні аспекти водокористування. Результати дослідження можуть бути використані для вдосконалення існуючих механізмів управління водними ресурсами та розробки нових підходів до забезпечення екологічної безпеки поверхневих водних об'єктів в умовах зростаючого антропогенного навантаження. *Ключові слова:* стійкий розвиток, екологічна безпека, водні об'єкти, антропогенне навантаження, інтегроване управління водними ресурсами, моніторинг якості води.

Theoretical foundations of managing the environmental safety of surface water bodies under anthropogenic pressure. Kireitseva H.

The article presents a comprehensive study of the theoretical foundations for managing the environmental safety of surface water bodies under increasing anthropogenic pressure. The relevance of the research is driven by the critical state of Ukraine's water resources, where over 70% of small rivers are in unsatisfactory ecological condition, requiring the development and implementation of effective mechanisms for managing their environmental safety. The study is based on an in-depth bibliometric analysis of 2,835 scientific publications from the Scopus database, which allowed identifying key trends in the development of scientific thought in the field of water resource management and environmental safety of water bodies. The analysis of publication activity dynamics over the period 1982–2024 demonstrates exponential growth in scientific interest in water resource management issues, particularly since the early 2000s. The study revealed a clear interdisciplinary structure of the scientific field, where environmental sciences dominate (39.6%), followed by social sciences (14.7%), earth sciences (11.3%), and engineering sciences (9.4%). This diversity of scientific directions confirms the necessity of an integrated approach to managing the environmental safety of water bodies. Cluster analysis of publications identified three main research directions: technical aspects of water resource management, managerial and policy aspects, and ecological aspects and water quality issues. The study established that the primary sources of anthropogenic impact on small rivers include industrial enterprises (35% of total pollution), municipal wastewater (30%), agricultural activities (25%), and other sources (10%). The research emphasizes the importance of implementing a basin management principle, which involves an integrated approach to the utilization, protection, and restoration of water resources within river basins.

Thus, the study demonstrates the complex nature of the problem of managing the environmental safety of surface water bodies and highlights the necessity of applying an integrated approach that considers ecological, economic, and social aspects of water use. The research results can be used to improve existing water resource management mechanisms and develop new approaches to ensure the environmental safety of surface water bodies under increasing anthropogenic pressure. *Key words:* sustainable development, environmental safety, water bodies, anthropogenic pressure, integrated water resource management, water quality monitoring.

Постановка проблеми. Екологічна безпека розвитку промисловості, сільського господарства поверхневих водних об'єктів, зокрема малих річок, та урбанізації водні ресурси зазнають безпрецедентного антропогенного навантаження. За даними є одним із ключових питань сучасної екологічної політики України та світу. В умовах інтенсивного Національної доповіді про стан навколишнього при-

родного середовища в Україні, близько 60% малих річок країни перебувають у незадовільному екологічному стані, що вимагає негайного впровадження ефективних механізмів управління їх екологічною безпекою [1].

Антропогенний вплив на річкові екосистеми проявляється через комплекс факторів, серед яких: надходження токсичних та шкідливих речовин від промислових підприємств, забруднення від сільськогосподарської діяльності, комунальні стоки та рекреаційне навантаження. Особливо гостро ця проблема постає в урбанізованих територіях, де концентрація антропогенного впливу досягає критичних значень. Забруднюючі речовини, що надходять до водних об'єктів, призводять до евтрофікації водойм, порушення природних процесів самоочищення та деградації водних екосистем [2].

Додатковим фактором погіршення екологічного стану водних об'єктів є масштабна трансформація прибережних територій. Вирубка лісів, знищення прибережної рослинності та розорювання земель призвели до збільшення надходження біогенних елементів у річкові екосистеми, що спричинило порушення природного гідрологічного режиму, зменшення водності річок та деградацію їх екосистем [3].

Отже, ця ситуація вимагає розробки та впровадження комплексного підходу до управління екологічною безпекою поверхневих водних об'єктів, який би враховував усі аспекти антропогенного впливу та забезпечував збалансоване водокористування.

Актуальність дослідження. Актуальність дослідження теоретичних основ управління екологічною безпекою поверхневих водних об'єктів обумовлена критичним станом водних ресурсів України. Особливого значення набуває той факт, що поверхневі води є основним джерелом питного водопостачання для 80% населення країни, при цьому їх якість характеризується незадовільним станом через підвищений вміст органічних та біогенних речовин [4]. Така ситуація створює суттєві ризики для здоров'я населення та функціонування водних екосистем, що вимагає розробки ефективних механізмів управління їх екологічною безпекою.

В умовах європейської інтеграції України особливої актуальності набуває впровадження вимог Водної Рамкової Директиви ЄС щодо моніторингу та управління водними ресурсами [5]. Відповідно до Статті 8 ВРД, необхідно забезпечити створення комплексної системи моніторингу стану поверхневих вод, яка дозволить здійснювати всебічну оцінку їх екологічного та хімічного стану в межах кожного річкового басейну [5]. Це завдання вимагає не лише технічного переоснащення систем моніторингу, але й розробки теоретико-методологічних засад управління екологічною безпекою водних об'єктів відповідно до європейських стандартів.

Актуальність дослідження також підсилюється необхідністю досягнення «доброго» екологічного та

хімічного стану для всіх масивів поверхневих вод, що відповідає вимогам Додатку V до ВРД. Це потребує розробки науково обґрунтованих підходів до оцінки стану водних об'єктів, ідентифікації джерел забруднення та впровадження ефективних управлінських рішень в умовах зростаючого антропогенного навантаження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичні основи управління екологічною безпекою поверхневих водних об'єктів стали предметом активних наукових досліджень, що обумовлено їх вирішальним значенням для забезпечення сталої якості води та здоров'я екосистем. Сучасні дослідження охоплюють широкий спектр аспектів, від методологічних засад до практичних механізмів управління екологічною безпекою поверхневих вод.

Фундаментальні аспекти екологічної безпеки водних ресурсів досліджували провідні українські вчені: Архипова Л.М., Бедункова О.О., Трофіменко А.Г., Білявський Г.О., Бондар О.І., Гандзюра В.П., Гриб Й.В., Гребінь В.В., Ісаєнко В.М., Осадчий В.І., Павличенко А.В., Петрук В.Г., Удод В.М., Шмандій В.М. [6, 7, 8, 9]. Їхні роботи заклали теоретичну основу для розуміння механізмів забезпечення екологічної безпеки водних об'єктів. Особливу увагу вивченню екологічного стану водних екосистем під впливом техногенних факторів приділили Міхєєв О.М., Пічура В.І., Протасов О.О., Маджд С.М., Коцюба І.Г. [7, 9], а комплексний аналіз стану поверхневих водних ресурсів представлений у дослідженнях Циганенко-Дзюбенка І.Ю., Пономаренка Є.Г., Дмитренка Т.В., Немцової А.А. [2, 10, 11].

У міжнародному науковому просторі значний внесок у розробку концептуальних основ управління забрудненням водних ресурсів зробили Мунте Дж., Постума Л., Альтенбургер Р., Брак В. [12], які запропонували комплексний підхід до управління хімічними забруднювачами. Важливі дослідження взаємодії підземних і поверхневих вод проведені Конантом Б., Робінсоном К., Хінтоном М. [13], що дозволило створити надійні концептуальні моделі гідрологічних та біогеохімічних процесів.

Виклад основного матеріалу. На основі проведеного аналізу наукових публікацій можна констатувати необхідність комплексного підходу до вивчення управління екологічною безпекою поверхневих водних об'єктів в умовах антропогенного навантаження. Для глибшого розуміння сучасного стану досліджень у цій галузі було проведено детальний бібліометричний аналіз публікацій у базі даних Scopus щодо інтегрованого управління водними ресурсами (2835 документів).

Для розуміння загального розвитку досліджень проаналізуємо динаміку публікаційної активності за період 1982-2024 років, яка демонструє складну еволюцію наукових досліджень у цій галузі. Аналіз динаміки публікаційної активності з питань інте-

грованого управління водними ресурсами за період 1982-2024 років демонструє складну еволюцію розвитку наукових досліджень у цій галузі (рис. 1). Загальні тенденції публікаційної активності характеризуються експоненційним зростанням інтересу до тематики з початку 2000-х років, стабілізацією кількості публікацій в останнє десятиліття та наявністю циклічних коливань публікаційної активності з періодичністю 2-3 роки. Спостерігається загальний тренд на збільшення не лише кількості, але й якості досліджень у сфері управління водними ресурсами.

На початковому етапі (1982-1994 роки) спостерігалася низька публікаційна активність з кількістю публікацій до 5 на рік, що характеризувалося стабільним, але повільним розвитком досліджень та формуванням базових концепцій управління водними ресурсами. Наступний період (1994-2002 роки) відзначився поступовим зростанням наукового інтересу до проблематики, що відобразилося у збільшенні кількості публікацій до 5-25 щорічно. Цей етап характеризувався початком формування міждисциплінарних підходів та суттєвим розширенням географії досліджень. Період 2002-2010 років став етапом активного розвитку досліджень з управління водними ресурсами, що супроводжувалося стрімким зростанням кількості публікацій від 25 до 150 щорічно. У цей час відбувалося формування комплексних підходів до управління водними ресурсами та активна інтеграція екологічних і соціальних аспектів у дослідження. У період 2010-2022 років спостерігалася стабільно висока публікаційна активність з кількістю публікацій на рівні 125-175 щорічно, з піковими значеннями у 2018-2019 роках (близько 170 публікацій). Цей період характеризувався розвитком інноваційних підходів та методів у дослідженнях водних ресурсів. Сучасний період (2022-2024 роки) відзначається помітним зниженням кількості публікацій, що може бути пов'язано з неповнотою даних

за останній період, проте демонструє значний потенціал для розвитку нових напрямків досліджень.

Враховуючи виявлену динаміку росту публікацій, важливо проаналізувати географічний розподіл досліджень для розуміння основних наукових центрів та їх внеску у розвиток галузі (рис. 2).

Аналіз географічного розподілу публікацій показує, що лідером досліджень є США (450 публікацій), за якими слідує європейські країни – Німеччина (350) та Велика Британія (300), а також Китай (250), Нідерланди та Південна Африка (по 200), Канада, Австралія, Індія та Іспанія (150-100 публікацій), що свідчить про глобальний характер досліджень з управління водними ресурсами.

Поряд з географічним розподілом, для розуміння комплексності досліджень важливо проаналізувати їх міждисциплінарний характер (рис. 3).

Аналіз розподілу публікацій за галузями науки виявив переважання екологічних наук (39,6%), значний внесок соціальних наук (14,7%), наук про Землю (11,3%), інженерних (9,4%) та сільськогосподарських наук (7,9%), що підтверджує міждисциплінарний характер досліджень у сфері управління водними ресурсами та необхідність комплексного підходу до вирішення водних проблем. Бібліометричний аналіз публікацій у базі даних Scopus (2835 документів) демонструє зростаючий науковий інтерес до проблематики управління екологічною безпекою водних об'єктів. Виявлено експоненційне зростання кількості публікацій з початку 2000-х років, а також розширення географії досліджень, де лідерами є США та європейські країни. Аналіз показав міждисциплінарний характер досліджень з домінуванням екологічного напрямку (39,6%) та значним внеском соціальних, інженерних наук та наук про Землю, що підтверджує необхідність комплексного підходу до вирішення проблем екологічної безпеки водних об'єктів.

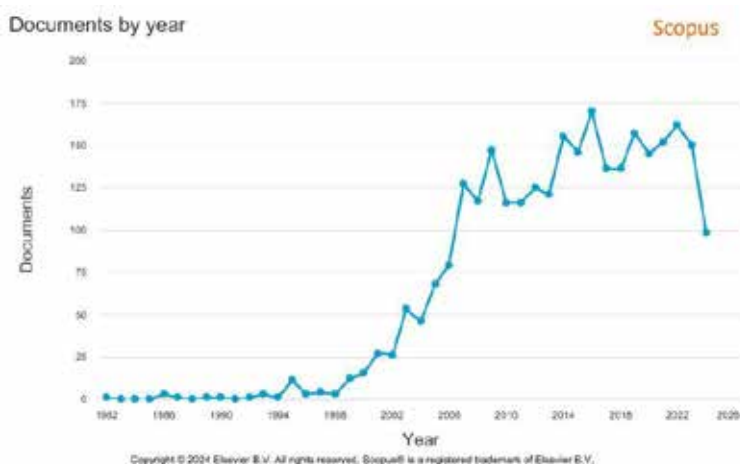


Рис. 1. Динаміка публікаційної активності з питань інтегрованого управління водними ресурсами за період 1982-2024 років за даними бази Scopus (2835 документів): тренди розвитку наукових досліджень

Documents by country or territory

Scopus

Compare the document counts for up to 15 countries/territories.

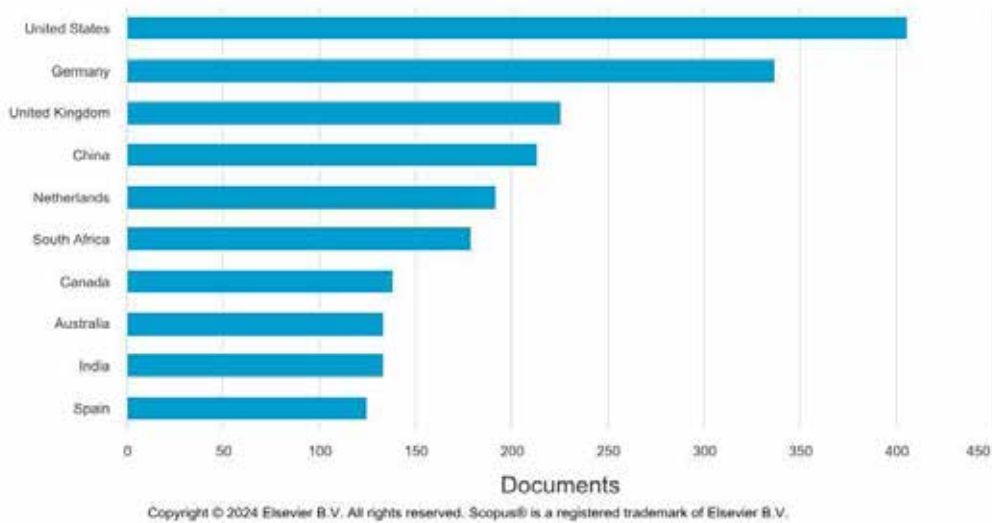


Рис. 2. Розподіл публікацій з інтегрованого управління водними ресурсами за країнами у базі даних Scopus (2835 документів) як складова бібліометричного аналізу дослідницьких трендів

Documents by subject area

Scopus

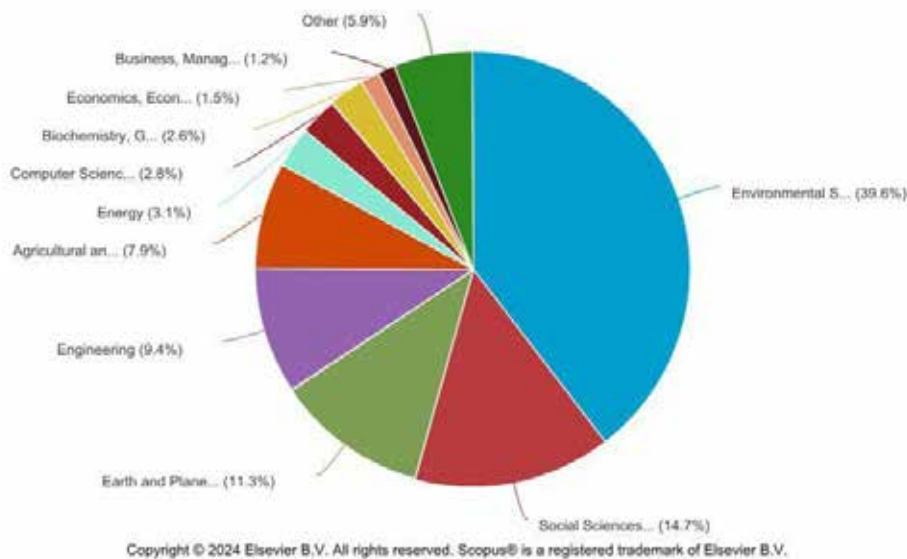


Рис. 3. Розподіл публікацій з інтегрованого управління водними ресурсами за галузями науки у базі даних Scopus (2835 документів): аналіз міждисциплінарності досліджень

Висновки. На основі проведеного дослідження встановлено, що управління екологічною безпекою поверхневих водних об'єктів вимагає комплексного, міждисциплінарного підходу, що підтверджується результатами бібліометричного аналізу публікацій у базі даних Scopus. Виявлено експоненційне зростання наукового інтересу до даної проблематики

з початку 2000-х років, що свідчить про її актуальність та важливість для світової наукової спільноти. При цьому домінування екологічних наук (39,6%) у структурі досліджень поряд зі значним внеском соціальних, інженерних наук та наук про Землю демонструє багатогранність підходів до вирішення проблем екологічної безпеки водних об'єктів.

Дослідження показало, що основними джерелами антропогенного впливу на водні об'єкти є промислові підприємства, комунальні стоки та сільськогосподарська діяльність, сумарний вплив яких призводить до критичного погіршення екологічного стану водойм. Впровадження басейнового принципу управління, закріпленого у Водній Рамковій Директиві ЄС, разом із розвитком систем моніторингу та економічних механізмів регулювання, створює основу для ефективного управління екологічною безпекою водних об'єктів. Особливу роль відіграють інноваційні природоорієнтовані рішення та автоматизовані системи моніторингу, які дозволяють опе-

ративно виявляти зміни стану водних об'єктів та впроваджувати відповідні управлінські рішення.

Ефективне управління екологічною безпекою поверхневих водних об'єктів потребує координації зусиль усіх зацікавлених сторін, розвитку міжнародного співробітництва та впровадження сучасних технологічних рішень. При цьому особливого значення набуває гармонізація національного законодавства з європейськими стандартами та розвиток транскордонного співробітництва у сфері охорони водних ресурсів, що створює передумови для досягнення «доброго» екологічного стану водних об'єктів та забезпечення їх сталого використання.

Література

1. Національна доповідь про стан водних ресурсів України, 2021 / Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. – Київ, 2021. – URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf> (дата звернення: 10.12.2024).
2. Kireitseva N., Šerevičienė V., Khrutba V., Zamula I. Internal and external factors of use and conservation of water resources in Zhytomyr region. *Environmental Problems*. 2024. Т. 9, № 1. С. 43–50. URL: <https://doi.org/10.23939/ep2024.01.043>.
3. Кірейцева Г. В., Циганенко-Дзюбенко І. Ю., Герасимчук О. Л., Скиба Г. В., Хоменко С. В. GAP-аналіз водокористування у контексті запобігання евтрофікації річки Тетерів в межах урбоекосистеми м. Житомира. *Екологічні науки*. 2024. Вип. 4(55). С. 53–58.
4. Бондар О. І., Загороднюк К. Ю., Третьяков С. В., Загороднюк Ю. В. Основи водозабезпечення територій з дефіцитом водних ресурсів з урахуванням принципів раціонального природокористування (на прикладі Коблівської ОТГ). *Екологічні науки*. 2023. Вип. 5(50). С. 7–13.
5. Директива Європейського Парламенту і Ради 2000/60/ЄС від 23 жовтня 2000 року про встановлення рамок заходів Співтовариства в галузі водної політики. – URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text (дата звернення: 10.12.2024).
6. Klymenko M., Gandziura V., Biedunkova O., Statnyk I. Influence of hydrochemical factors on morphometric variability of Scardinius erythrophthalmus in a freshwater river system. *Biosystems Diversity*. 2022. Vol. 30(3). P. 244–254. DOI: <https://doi.org/10.15421/012226>.
7. Kotsiuba I., Skyba G., Skuratovskaya I., Lyko S. Ecological Monitoring of Small Water Systems: Algorithm, Software Package, the Results of Application to the Uzh River Basin (Ukraine). *Methods and Objects of Chemical Analysis*. 2019. Vol. 14(4). P. 200–207. URL: [http://moca.net.ua/print/moca_2019_14\(4\)_200-207p.pdf](http://moca.net.ua/print/moca_2019_14(4)_200-207p.pdf).
8. Udod V. M., Madzhd S. M., Kulynych Y. I. Regional features of the structural-functional organization of the development of technogenically altered aquatic ecosystems. *Bulletin of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*. 2017. № 3(104). С. 93–99.
9. Madzhd S. M. General ecological characteristics of structural-functional regularities of the development of technonatural systems of the Irpin River estuary area. *Bulletin of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*. 2018. № 5(112). С. 110–114. DOI: <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2018.5.110-114>.
10. Циганенко-Дзюбенко І., Кірейцева Г., Герасимчук О., Скиба Г., Хоменко С. Антропогенний вплив війни на водні ресурси: аналіз та потенційні шляхи відновлення. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2024. № 3. С. 51–59. DOI: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-3-7>.
11. Ponomarenko Y. G., Dmytrenko T. V., Nemtsova A. A. Assessment of the ecological state of surface water bodies by different criteria. *Bulletin of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*. 2022. № 4(135). С. 30–38. DOI: <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2022.4.4>.
12. Munthe J., Brorström-Lundén E., Rahmberg M., Posthuma L., Altenburger R., Brack W., Bunke D., Engelen G., Gawlik B., Gils J., Herráez D., Rydberg T., Slobodnik J., Wezel A. An expanded conceptual framework for solution-focused management of chemical pollution in European waters. *Environmental Sciences Europe*. 2017. Vol. 29. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12302-017-0112-2>.
13. Conant B., Robinson C., Hinton M., Russell H. A framework for conceptualizing groundwater-surface water interactions and identifying potential impacts on water quality, water quantity, and ecosystems. *Journal of Hydrology*. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2019.04.050>.

АНАЛІЗ РИЗИКІВ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ ПРОМИСЛОВИМИ СТОКАМИ НА ВОДНІ РЕСУРСИ УКРАЇНИ: ПОКАЗНИКИ ТА ПРЕВЕНТИВНІ ЗАХОДИ

Маркіна Л.М.¹, Ковач В.О.², Власенко О.В.¹, Зудіков А.О.³, Копаниця О.Б.¹

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

²Центр інформаційно-аналітичного та технічного забезпечення моніторингу
об'єктів атомної енергетики Національної академії наук України
пр. Академіка Палладіна, 34А, 03142, м. Київ

³Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
пр. Дмитра Яворницького, 19, 49005, м. Дніпро
olegvvvv@gmail.com

Аналіз стану водних ресурсів України засвідчив, що малі річки забруднені значніше, ніж великі. Це пояснюється їхньою малою водністю та недостатньою захищеністю від викидів. Найбільш забруднені – Південний Буг, ріки Донецької й Луганської областей, а також Чорноморське узбережжя півдня України. Окрім того, очищення річок знаходиться на досить низькому рівні. Наявні на сьогодні очисні споруди (навіть використовуючи біологічне очищення) вилучають лише 10–40 % неорганічних речовин (зокрема: 40 % азоту, 30 % фосфору, 20 % калію) та майже не вилучають солі важких металів. Така ситуація загострила проблему, істотно вплинула на якість водних об'єктів, часто непридатних не тільки з метою забезпечення населення питною водою, а й навіть для господарських цілей, що практично свідчить вже про досягнуту межу їх використання. Аналіз стану річок України показав, що зниження темпів водокористування, з огляду на нестабільну економічну ситуацію в країні, не призвело до підвищення рівня якості поверхневих вод – за деякими показниками спостерігається збільшення в них концентрацій забруднюючих речовин. Кількість біологічно активних хімічних елементів у організмах тварин і тканинах, що надходять з водою водойм, здебільшого залежать від місця їх мешкання. При вмісті важких металів (свинець, мідь, цинк, миш'як, ртуть, кадмій, хром, алюміній та ін.) у воді вище за допустимі норми спостерігається підвищення надходжень важких металів у раціони та відповідно погіршення якості споживаної води. У приміському господарстві при утриманні за наявності в раціоні важких металів – свинцю, нікелю та хрому у 2–7 разів вище ГДК, їх вміст у 1,25–2 рази вище допустимих норм, а за відсутності селену та надлишку заліза, марганцю та кадмію призводить до зниження титрованої кислотності. *Ключові слова:* екологічний моніторинг, програмний комплекс, інформаційно-вимірювальні системи, ризики водокористування, дефіцит та якість води, забруднення водного середовища, виснаження водних ресурсів.

Analysis of risks from industrial wastewater pollution on Ukraine's water resources: indicators and preventive measures.
Markina L., Kovach V., Vlasenko O., Zudikov A., Kopanytsia O.

The water situation in Ukraine shows that small rivers are more polluted than large ones. This can be explained by their low water content and insufficient protection from emissions. The most polluted in Ukraine are the Southern Bug, the rivers of Donetsk and Luhansk regions, and the Black Sea coast of southern Ukraine. In addition, the level of river purification is currently at a low level. The existing treatment facilities, even with biological purification, remove only 10–40% of inorganic substances (in particular: 40% nitrogen, 30% phosphorus, 20% potassium) and almost do not remove heavy metal salts. The situation has exacerbated the low quality of water bodies, often unsuitable not only for drinking purposes, but even for economic purposes, which indicates that the limit of their use has already been practically reached. An analysis of the state of Ukraine's rivers showed that the decrease in water use rates due to the unstable economic situation has not led to an increase in the quality of surface water, and according to some indicators, an increase in the concentrations of pollutants in them has been observed. The amount of biologically active chemical elements in animal organisms and tissues that enter through water bodies largely depends on their habitat. When the content of heavy metals (lead, copper, zinc, arsenic, mercury, cadmium, chromium, aluminum, etc.) in water exceeds the permissible norms, there is an increase in the intake of heavy metals in the diet and, accordingly, a deterioration in the quality of the water consumed. In suburban farms, when the content of heavy metals in the diet – lead, nickel and chromium – is 2–7 times higher than the maximum permissible concentration, their content is 1.25–2 times higher than the permissible norms, and due to a lack of selenium, an excess of iron, manganese and cadmium leads to a decrease in titrated acidity. *Key words:* environmental monitoring, software package, information and measurement systems, water use risks, water shortage and quality, water environment pollution, water resource depletion.

Постановка проблеми. Проблема деградації середовища значною мірою пов'язана з сільським господарством яке на сьогодні є найбільшим джерелом забруднення води, так, як неочищені стічні води з полів складають до 90% забруднення водойм. Навіть при зменшенні використання мінеральних добрив, гербіцидів та пестицидів у порівнянні з 1980-ми роками мінералізація зворотних вод стоку поливних вод залишається високим. Так, наприклад у середній та нижній течії Дністра ГДК нітратів перевищено удвічі, сульфатів – у чотири рази. Промислові стоки значно менші за обсягом, але вони

більш небезпечні та шкідливі за рівнем токсичності.

Промислове виробництво вважається основним забруднювачем води важкими металами, фенолами та нафтопродуктами. Найбільш проблематична ситуація в районах з високою концентрацією промислових підприємств, наприклад, у промислових зонах великих міст України (рис. 1). Неякісне очищення міських стічних вод зазвичай має місце у містах, але не поширена у сільській місцевості. Ризик послідовного збільшення дефіциту водних ресурсів належної якості неухильно зростає при продовженні використання великого зрошуваного землеробства з величезними потребами у воді, зміни демографічної ситуації, розвитку промислового виробництва та наслідків глобальних змін клімату. Саме тому виникає потреба створення надійної системи забезпечення якості водних ресурсів.

Актуальність дослідження. Ця стаття є актуальною, так, як дозволяє оцінити стан води, яка використовується в життєдіяльності людини за багатьма показниками, що допоможе усунути забруднення водойм промисловими стоками. За ступенем небезпеки забруднюючих речовин ГДК_{р.в.} поділяються на:

- особливо небезпечні (ГДК із вмістом забруднюючих речовин менш ніж 0,0001 мг/л), що передбачає відсутність шкідливої речовини у воді;
- небезпечні (токсичні, але стабільні), що лімітуються ГДК;
- токсичні;
- екологічні, що лімітуються за загальносанітарним нормами.

Військова агресія РФ проти України може призвести до руйнування реакторів, цілісності хвостосховищ та інших потенційно небезпечних об'єктів, що призведе до стихійного лиха (землетрусу або повені). Можливі аварії та викиди з цих об'єктів в результаті витоків або пилоутворення радіоактивних відходів і радону з відкритих хвостосховищ можуть завдати серйозної шкоди навколишньому середовищу та понад 24 млн осіб, які мешкають у басейні ріки Дніпро.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Необхідність ідентифікації проблем водокористування з метою прийняття управлінських рішень щодо пріоритетності реалізації природоохоронних заходів зумовило численні дослідження щодо створення інтегральних оцінок якості водних ресурсів [1–12]. Більшість з них характеризують ступінь зміни якісного стану водних об'єктів щодо їх фонового середовища. Аналіз світової практики водокористування [1, 3–5, 7, 13, 14] дозволив виділити ключові ризики та ранжирувати їх за рівнем пріоритетності. В основу ранжирування покладені вже існуючі проблеми, пов'язані з використанням водних ресурсів та несприятливими наслідками, спричинені водним фактором, з урахуванням їхнього територіального охоплення та виникнення соціальних та економічних проблем. Існуючі види ризиків об'єднані у три групи, залежно від причин, що впливають на можливість їх виникнення (табл. 1).

Перша група поєднує ризики, зумовлені безпосереднім антропогенним впливом на водні ресурси



Рис. 1. Карта річкових басейнів України

Таблиця 1

Ранжування ризиків за рівнем пріоритетності під час використання водних ресурсів та ризиків, обумовлених водним фактором

Ризик	Група	Територія, що піддається ризику	Пріоритетність
Погіршення якості водних ресурсів	I	Країни всього світу, де присутній промисловий, сільськогосподарський та комунально-побутовий вплив	Висока
Виснаження водних ресурсів	I	Азія (більшість країн), Північна Африка	Висока
		Північна Америка (більшість країн), Південна Америка, Австралія та держави Океанії	Низька
		Європа (більшість країн), Африка (крім Північного регіону)	Низька і середня
Порушення природного гідродинамічного режиму та прояв процесів підтоплення, затоплення та заболочування	I	Території розташування великих, дуже великих та найбільших водосховищ, території меліорованих сільськогосподарських земель	Висока
		Території близького залягання до поверхні рівня ґрунтових вод, розміщення малих, невеликих та середніх водосховищ, розробки родовищ корисних копалин, які супроводжуються зосередженим водозабором	Середня
Виникнення конфліктних ситуацій, пов'язаних із дефіцитом водних ресурсів	II	Південна та Південно-Східна Азія, Північна, Східна та Південна Африка	Висока
		Інша Азія, Північна та Південна Америка, Австралія, Європа, Африка (крім Східного та Південного регіонів)	Низька
Виникнення захворювань що передаються водним шляхом, через недостатню забезпеченість належними системами водопостачання та каналізації	II	Західна, Центральна та Східна Африка	Висока
		Північна та Південна Африка, Південна та Південно-Східна Азія, Центральна Америка та окремі країни Південної Америки	Середня
		Країни решти світу	Низька
Виникнення захворювань що передаються водним шляхом, через невідповідну нормативам природної якості води	III	Гідрохімічні провінції, підземні води яких збагачені одним або декількома нормованими компонентами небезпечними для здоров'я людини	Висока
Прояв повеней	III	Південна Азія, Східна Азія, Тихоокеанський регіон	Висока
		Європа, Азія Центральна, Латинська Америка, Карибський басейн, Тропічна Африка	Середня
		Близький Схід, Африка Північна, Австралія	Низька
Прояв процесів підтоплення, затоплення та заболочування, ерозії берегової лінії	III	Прибережні країни всього світу	Від низької до високою
Порушення стану водних ресурсів, обумовлене глобальними змінами клімату	III	Усі країни світу (пріоритетність ризику залежно від географічного розташування регіону)	Середня і висока

(або геологічне середовище), тобто пов'язані з їх експлуатацією чи забрудненням внаслідок різних видів господарської діяльності. Друга група передбачає ризики не пов'язані з безпосереднім антропогенним впливом на водні ресурси, а обумовлено інженерними, технічними, економічними та політичними конфліктами та проблемами. До третьої групи належать ризики не пов'язані з безпосереднім

антропогенним впливом на водні ресурси, а зумовлені природними явищами та факторами. При цьому існують ризики, поява яких може бути обумовлена як антропогенним впливом на геологічне середовище, так і природними явищами, що дає підставу відносити їх до кількох груп, або виділяти як самостійну.

Ключовими факторами, що зумовлюють ризик погіршення якості та виснаження водних ресурсів,

є: урбанізація та зростання чисельності населення, промислове та сільськогосподарське виробництво. Промислові, сільськогосподарські та комунально-побутові стічні води, тверді та рідкі відходи призводять до надходження у водні об'єкти токсичних металів (свинець, ртуть, хром, миш'як), нітратів, фосфатів та ін., які, з одного боку, виступають як забруднювачі довкілля та, з іншого, як потенційні джерела токсикологічного ризику. Побутові стоки містять фекалії та патогенні мікроорганізми (бактеріальне забруднення). Для більшості країн світу серйозною проблемою є утворення значних обсягів небезпечних для здоров'я людини та навколишнього середовища відходів. У тимчасовій динаміці немає тенденції суттєвого їх скорочення, а для більшості країн світу, навпаки, обсяги небезпечних відходів щорічно зростають.

Методологічне або загальнонаукове значення.

Для здійснення дослідження було використано такі методи: систематизація матеріалу, наукового узагальнення, порівняння. Вони дозволили виявити та усвідомити просторову диференціацію та різноманітність факторів, що надають вплив на стан водних ресурсів та водокористування у різних природних та соціально-економічних умовах; систематизувати та узагальнити ризики, що виникають під час використання водних ресурсів та обумовлені водним фактором.

Мета статті – проаналізувати ризики від забруднення промисловими стоками на водні ресурси України.

Виклад основного матеріалу. В межах території України виділяють дев'ять районів річкових басейнів – це Вісла (Західний Буг та Сан), Дунай, Дністер, Південний Буг, Дніпро, Дон, річки Причорномор'я, річки Приазов'я та річки Криму [12]. Хімічний статус визначається за вмістом пріоритетних забруднювальних речовин. Всього до переліків пріоритетних речовин на теперішній час віднесено 45 забруднювальних речовин (серед них важкі метали (кадмій, свинець, нікель, ртуть) та органічні речовини): 33 – згідно Директиви 2008/105/ЄС про екологічні стандарти у сферах водної політики та 15 – згідно Директиви 2013/39/ЄС, яка вносить зміни до ВРД та Директиви 2008/105/ЄС про пріоритетні речовини (табл. 2). Вони встановлені в таких Директивах: Директива щодо скиду ртуті (82/176/ЄЕС); Директива щодо скиду кадмію (83/513/ЄЕС); Директива щодо ртуті (84/156/ЄЕС); Директива щодо скидів гексахлороциклогексану (84/491/ЄЕС); та Директива щодо скидів небезпечних речовин (86/280/ЄЕС) [13].

Тоді, з урахуванням максимальних недіючих концентрацій [15–16], автори пропонують визначати ступінь ризиків шкідливого впливу забруднювальних хімічних речовин використовуючи відповідні показники (1) або рівень захворюваності за певними нозологічними групами, зміни максимальних недіючих концентрацій та кількість населення, яка постійно піддається шкідливому впливу (2)

$$\lambda = \frac{1}{lg MHK} \frac{1}{e^{\Delta C \beta}} ; \quad (1)$$

$$\gamma = \frac{T}{t_{50} T_1 lg MHK} \frac{\chi}{(1-\chi) e^{\Delta C \beta}} ; \quad (2)$$

де T – кількість населення, яке зазнало впливу речовин; T_1 – кількість населення, що мешкає на певній території, яка досліджується; t_{50} – час, за який може з'явитись перші ознаки захворювання; $lg MHK$ – логарифми максимальної недіючої концентрації впливу в компонентах довкілля; χ – рівень захворюваності за відповідною нозологічною групою за рік; ΔC – зміни рівня концентрацій окремих речовин; β – частка зазначених хімічних речовин у загальному об'ємі забруднення.

Запропонована математична модель була апробована на прогнозуванні ризику промислового забруднення води з визначенням концентрацій шкідливих хімічних речовин [17], що дозволило в деяких випадках отримати відповідні прогнозні моделі змін концентрацій (табл. 3).

Конвенція з транскордонних вод поширює та підтримує механізми адаптації практики управління водними ресурсами до зміни клімату та доповнюється Протоколом по проблемах води та здоров'я, який спільно обслуговується ЄЕК ООН та ЄБР ВООЗ [19]. Обидві згадані конвенції допомагають країнам досягти цілей у сфері сталого розвитку, зокрема реалізації рамкової програми щодо запобігання аварійному забрудненню води Дніпра і Дністра на 2015–2030 роки [20]. Варто зазначити, що рамкова програма сприяє розумінню ризиків, управлінню ними, готовності до реагування їх усередині країни, та й за її межами. Під егідою конвенцій у 1998 році було утворено Спільну групу експертів з проблем води та промислових аварій. Нею розроблено низку керівних документів, таких як Контрольний перелік ЄЕК ООН для планування дій у разі виникнення надзвичайних обставин ситуацій при аваріях, що торкаються транскордонних вод, та Керівні принципи ЄЕК ООН з безпеки та передової практики для хвостосховищ.

Збір даних щодо якості води в басейні Дністра здійснювався за період з 1998 по 2024 роки. Відповідні урядові установи трьох країн (України, Молдови, Румунії) визначили компетентних національних експертів – по два експерти на кожну прибережну країну: один з питань довкілля та водних ресурсів, другий з питань промислової безпеки. За участю експертів було вивчено систему забезпечення якості води, проведено інвентаризацію та аналіз потенційних джерел забруднення. Згідно з даними лабораторних досліджень, проведених в II кварталі 2023 року, поверхневі води річки Дністер, в основному, задовільної якості (табл. 4). Для аналізу змін стану вод по руслу річки виділено основні показники якості води – азот амонійний,

Пріоритетні речовини [13–14]

	CAS номери (1)	EU номери (2)	Назви пріоритетних речовин	Ідентифіковані як пріоритетні небезпечні речовини
(1)	15972-60-8	240-110-8	Алахлориди	
(2)	120-12-7	204-371-1	Антрацени	(x)*
(3)	1912-24-9	217-617-8	Антразини	(x)*
(4)	71-43-2	200-753-7	Бензоли	
(5)	Дані відсутній	Дані відсутній	Бромовані дифенілетари (**)	X****
(6)	7440-43-9	231-152-8	Кадмій та його сполуки	X
(7)	85535-84-8	287-476-5	C ₁₀₋₁₃ -хлоро алкани**	X
(8)	470-90-6	207-432-0	Хлорофенвінфоси	
(9)	2921-88-2	220-864-4	Хлорпіріфоси	(x)*
(10)	107-06-02	203-458-1	1,2-Дихлоретани	
(11)	75-09-2	200-838-9	Дихлорметани	
(12)	117-81-7	204-211-0	Ди(2-етилгідроксил)фталати	(x)*
(13)	330-54-1	206-354-4	Діурони	(x)*
(14)	115-29-7	204-079-4	Ендосульфани	(x)*
(15)	206-44-0	205-912-4	Флуорантрени (****)	
(16)	118-74-1	204-273-9	Гексахлорбензоли	X
(17)	87-68-3	201-765-5	Гексахлорбутадієни	X
(18)	608-73-1	210-158-9	Гексахлорциклогексани	X
(19)	34123-59-6	251-835-4	Ізопротурони	(x)*
(20)	7439-92-1	231-100-4	Свинець і його похідні сполуки	(x)*
(21)	7439-97-6	231-106-7	Ртуть і її похідні сполуки	X
(22)	91-20-3	202-049-5	Нафталіни	(x)*
(23)	7440-02-0	231-111-4	Нікель і його похідні сполуки	
(24)	25154-52-3	246-672-0	Ноніфеноли	X
(25)	1806-26-4	217-302-0	Октилфеноли	(x)*
(26)	608-93-5	210-172-5	Пентахлорбензоли	X
(27)	87-86-5	201-778-6	Пентахлорфеноли	(x)*
(28)	відсутній	відсутній	Поліароматичні вуглеводні	X
	50-32-8	200-028-5	(Безо(а)пірени)	
	205-99-2	205-911-9	(Бензо(б)флуорантени)	
	191-24-2	205-883-8	(Бензо(г,х,і)перилени)	
	207-08-9	205-916-6	(Бензо(к)флуорантен)	
	193-39-5	205-893-2	(Індено(1,2,3-сd)пірен)	
(29)	122-34-9	204-535-2	Симазини	(x)*
(30)	688-73-3	211-704-4	Трибутилолові сполуки	X
	36643-28-4	відсутній	(Трибутилоловий-катіон)	
(31)	12002-48-1	234-413-4	Трихлорбензоли	(x)*
	120-82-1	204-428-0	(1,2,4-Трихлорбензоли)	
(32)	67-66-3	200-663-8	Трихлорометани (хлороформ)	
(33)	1582-09-8	216-428-8	Трифлураліни	(x)*

(*) Для певної групи речовин до переліку включено їхніх типових індивідуальних представників як індикативні параметри.

(**) Ці групи речовин включають значну кількість індивідуальних сполук.

(***) Ця пріоритетна речовина підлягає перегляду для її ідентифікації як можливої «пріоритетної небезпечної речовини».

Термін, встановлений у Статті 16 Директиви 2000/60/ЕС для пропозицій Комісії щодо регулювання, від цього перегляду не зміниться.

(****) Лише пентабромобіфенілетери (CAS-номер 32534-81-9).

(*****) Флуорантени включено до переліку в ролі індикаторів інших, більш шкідливих, поліароматичних вуглеводнів.

1 CAS: Chemical Abstract Services – Хімічна реферативна служба.

2 EU – номер в EINECS (European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances – Європейський реєстр існуючих торгових хімічних речовин) або в ELINCS (European List of Notified Chemical Substances – Європейський перелік зареєстрованих хімічних речовин).

Таблиця 3

Ризик промислового забруднення, прогнозовані математичні залежності змін концентрацій у природних поверхневих водах [18]

Речовина	Математична залежність
Нафтопродукт	$y = -0,2468x^4 + 3,4372x^3 - 17,318x^2 + 37,348x - 29,2; R^2 = 1$
Іон міді (II)	$y = -0,0042x^4 + 0,0585x^3 - 0,2943x^2 + 0,642x - 0,572; R^2 = 1$
Розчинний амоній (NH_4^+)	$y = -0,0364x^4 + 0,5326x^3 - 2,8426x^2 + 6,4284x - 4,865; R^2 = 1$
Фосфати (PO_4^{3-})	$y = -0,0575x^3 + 0,6009x^2 - 2,1256x + 2,866; R^2 = 0,9793$
Загальне залізо (III)	$y = -67,875x^4 + 543895x^3 - 2E+09x^2 + 2E+12x - 1E+15; R^2 = 1$
Нітриди (NO_2^-)	$y = 11,258x^4 - 90216x^3 + 3E+08x^2 - 4E+11x + 2E+14; R^2 = 1$
Нітрати (NO_3^-)	$y = -1,9586x^4 + 15692x^3 - 5E+07x^2 + 6E+10x - 3E+13; R^2 = 1$
Феноли	$y = 8E+11x^4 + 5E+09x^3 - 2E+08x^2 + 954316x - 1448,4; R^2 = 0,9882$
о-, м-, п-толуоли	$y = 0,0039\ln(x) + 0,0129; R^2 = 0,9862$
Сірководень	$y = 4E+11x^{5,4768}; R^2 = 0,9998$
Оцтова кислота	$y = 7E+13x^{5,6142}; R^2 = 0,9982$
Іони марганцю (II)	$y = -0,0001x^4 + 0,0053x^3 - 0,0749x^2 + 0,2766x + 9,1603; R^2 = 1$
Аліфатичні спирти	$y = -6E-06x^5 + 0,0003x^4 - 0,0057x^3 + 0,0473x^2 - 0,1578x + 0,4671; R^2 = 1$
Амінокислоти	$y = -6E-06x^6 + 0,0005x^5 - 0,0156x^4 + 0,2311x^3 - 1,656x^2 + 5,1919x + 2,5613; R^2 = 0,9972$
Ароматичні сульфокислоти (СПАР)	$y = 9E-06x^6 - 0,0006x^5 + 0,0159x^4 - 0,2016x^3 + 1,2727x^2 - 3,5623x + 4,2467; R^2 = 0,9892$

Таблиця 4

Моніторинг водних ресурсів України на предмет промислових викидів [19]

№ з/п	Лабораторія	Кількість проб води за квартал		Кількість вимірювань Води	
		Фізико-хімічних показників	Радіологічних показників	Фізико-хімічних показників	Радіологічних показників
1	Лабораторія Львівського облводрес.	8	7	176	9
2	Івано-Франківська лабораторія моніторингу вод та ґрунтів	21	14	609	28
3	Тернопільська лабораторія моніторингу вод та ґрунтів	12	8		
4	Хмельницька лабораторія моніторингу вод та ґрунтів	4	4	120	*
5	Басейнова лабораторія моніторингу вод та ґрунтів БУВР річок Прут і Сірет	5	3	190	**
6	Новодністровська лабораторія моніторингу вод	12	5	372	10+6
7	Одеська гідрогеолого-меліоративна експедиція	13	1	389	***

ХСК, БСК5, фосфат-іони. Аналіз графічних матеріалів засвідчує, що найвищий вміст азоту амонійного і фосфат-іонів зафіксований у створі в с. Розвадів (1191 км) та в с. Журавно (1159 км) і в порівнянні з відповідним періодом минулого року ці значення зросли в 1,1–2,3 рази.

У вугільному машинобудуванні основними джерелами забруднення водного середовища є процеси, пов'язані з підготовкою та обробкою поверхні хіміч-

ними та електрохімічними методами: травлення та гальвано – технічними процесами. Травильні та гальванічні виділення утворюють до 60% виробничо-технічних стічних вод. Травлення – ефективний спосіб очищення поверхні металів від оксидів (окалин), сутність якого полягає в хімічному розчиненні оксидів у кислотах. На ремонтно-механічних заводах чи майстернях сильно забруднені стічні води утворюються після миття деталей. Використовуються для

охладження різних машин та механізмів (компресорів, теплообмінників та ін.) води мають в основному теплові забруднення та в невеликій кількості нафтопродуктів.

Показники, що характеризують органічне забруднення, найвищі в створах у с. Устечко (968 км) та на Дністровському водосховищі (783 км), де встановлений питний водозабір м. Кам'янець-Подільський. Так, показник БСК₅ в цих створах рівний 1,4 ГДК, а в створі на Дністровському водосховищі показник ХСК, в порівнянні з відповідним періодом минулого року, зріс в 1,2 раза. Отже, господарсько-побутові, промислові та сільськогосподарські стічні води можуть містити весь перелік природних і створених людиною хімічних елементів і речовин. На підприємствах вугільного машинобудування утворюються різні стічні води, які в тій чи іншій мірі забруднюють навколишнє середовище. Особливо небезпечні стічні води, що містять ціаніди та важкі метали, а також відпрацьовані технологічні розчини. Небезпечно їх потрапляння не лише у водоймища, а й у ґрунт. Оскільки стічні води призводять також до термічного забруднення природних вод і зменшення концентрації кисню, що знижує окисний потенціал води.

Висновки. Завдяки розвитку науково-технічного прогресу понад 40% випадків забруднень виникають у результаті промислових робіт. Антропогенний чинник чи не провідний у цій сфері. Але якщо говорити про нафту, то вона може забруднювати прісну воду не лише внаслідок людської діяльності, а й у місцях своїх покладів. Однак у більшості випадків це відбувається в результаті її видобутку, переробки та використання сировини в якості пального. Крім забруднення поверхні води, вона перекриває доступ кисню та світла, що призводить до загибелі риби та інших мешканців водойми. Щоденно ступінь чистоти прісної води погіршується через викиди токсинів. Вони з'являються у вигляді шару піни. Вона особливо помітна на порогах. Ці речовини вкрай негативно впливають на водне середовище, його флору та фауну. Варто зазначити, що сильними забруднювачами прісної води є важкі метали, а саме: Гідраргірум, Плюмбум (свинець), Купрум, Манган. Для навколишнього середовища та здоров'я людини найбільшу загрозу являють ртуть, кадмій, свинець та їх сполуки. Це ускладнює використання прісної води без попередньої підготовки навіть для побутових та промислових цілей

Література

1. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability / Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. – Cambridge University Press, Cambridge, UK. – 976 с.
2. Progress on drinking water and sanitation: 2012 Update. – UNICEF and WHO, 2012. – 66 p.
3. The United Nations World Water Development Report 4. – Режим доступа: <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/wwdr4-2012/#c219661>
4. Water Quality for Ecosystem and Human Health, 2nd Edition. – The United Nations Environment Programme Global Environment Monitoring System (GEMS) / Water Programme. – 2008. – 120 с.
5. Технологія водопідготовки. Лабораторний практикум для студентів напряму підготовки «Хімічна технологія» усіх форм навчання. / Автори: Г.С. Столяренко, Т.В. Клименко. ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ЧДТУ, 2010. – 95 с.
6. Сорокіна К.Б. Водопостачання та водовідведення: Конспект лекцій для студентів 1 курсу денної і заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.060103 «Гідротехніка (Водні ресурси)» спеціальності «Водопостачання та водовідведення». – Харків: ХНАМГ, 2009. – 80 с.
7. Про Загальнодержавну цільову програму «Питна вода України»: Закон України від 20.10.2011 р. № 3933- VI. Відомості Верховної ради України. – 2005. № 15. – Ст. 243.
8. Директива 2000/60/ЄС Європейського парламенту і Ради «Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики» від 23.10.2000 р.
9. Hansen, Wenke, Eleftheria Kampa, Christine Laskov and R. Andreas Kraemer (2002), Synthesis Report on the Identification and Designation of Heavily Modified Water Bodies (draft), Ecologic (Institute for International and European Environmental Policy), Berlin, 29th April 2002.
10. Owen, Roger, Willie Duncan and Peter Pollard (2002), Definition and Establishment of Reference Conditions, Scottish Environment Protection Agency, April 2002.
11. EEA Strategy 2014–2020. Multi-annual Work Programme. Luxembourg : Office for Official Publications of the European Communities, 2014. 42 p. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/multiannual-work-programme-2014-2020>.
12. Методики гідрографічного та водогосподарського районування території України відповідно до вимог Водної Рамкової Директиви Європейського Союзу / В. В. Гребінь, В. Б. Мокін, В. А. Сташук, В. К. Хільчевський, М. В. Яцюк, О.В. Чунарьов, Є. М. Крижановський, В. С. Бабчук, О. Є. Ярошевич К.: Інтерпрес ЛТД, 2013. – 55 с.
13. WFD CIS Guidance Document No. 2 (Dec 2002). Identification of Water Bodies (Керівний Документ № 2 ССВ ВРД Ідентифікація Водних Тіл). Published by the Directorate General Environment of the European Commission, Brussels, ISBN No. 92-894-5122-X, ISSN No. 1725-1087.
14. WFD CIS Guidance Document No. 9 (Dec 2002). Implementing the Geographical Information System Elements (GIS) of the Water Framework Directive (Керівний Документ № 9 ССВ ВРД Впровадження Географічної Інформаційної Системи (ГІС) Водної Рамкової Директиви). Published by the Directorate General Environment of the European Commission, Brussels, ISBN No. 92- 94-5129-7, ISSN No. 1725-1087.

15. Строкаль В. П., Шевчук С. А. Загоплення та підтоплення територій : ризики для водної та продовольчої безпеки регіонального рівня. Екологічні науки. 2023. № 4(49). С. 159-170. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.21>.
16. Stokal V., Kurovska A., Stokal M. More river pollution from untreated urban waste due to the Russian-Ukrainian war: a perspective view. *Journal of Integrative Environmental Sciences*. 2023. Vol. 20, No. 1. P. 1-11. <https://doi.org/10.1080/1943815X.2023.2281920>.
17. Chu-Ketterer L.-J., Platten W.E., III Bolenbaugh S. and Haxton T. Resilience Analysis and Emergency Response Evaluation for Drinking Water Systems. *JAWWA*. 2023. 115. С. 32-42. <https://doi.org/10.1002/awwa.2107>
18. Дубовик І.В., Козловська Т.Ф. Математико-прогностична оцінка рівнів забруднення поверхневих природних вод як прикладна характеристика екологічного ризику. Вісник Вінницького політехнічного інституту. – Вінниця, 2006. – № 5(68). – С. 75–77.
19. Identification of Tailings Sites and Review of Available Information and Initiatives on Issues Related to Tailings Management in the Countries of Eastern Europe, Caucasus and Central Asia (EECCA). OECD project report, 2021.
20. Офіційний вісник України, 2017 р., № 43, ст. 1342.

УДК 341.1:504.4

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.6-57.12>

СТАН ВПРОВАДЖЕННЯ ВИМОГ ЄВРОПЕЙСЬКОГО ЗАКОНОДАВСТВА ЩОДО ОХОРОНИ І РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ В УКРАЇНИ

Сапко О.Ю.

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова
вул. Львівська, 15, 65016, м. Одеса
sapko-olga@ukr.net

Підписавши Угоду про Асоціацію з Європейським Союзом (ЄС), Україна взяла на себе низку зобов'язань, серед яких і приведення свого законодавства у відповідність до норм і стандартів ЄС, в тому числі у сфері водного господарства. Питання впровадження вимог ЄС щодо охорони і раціонального використання водних ресурсів є надзвичайно актуальним для України. Від ефективності цього процесу залежить не лише екологічна ситуація в країні, але й її соціально-економічний розвиток, а також здатність адаптуватися до нових викликів глобального масштабу, таких як зміни клімату та забезпечення водою населення.

У сфері якості води та управління водними ресурсами імплементація законодавства ЄС для України відбувається в рамках шести директив, серед яких Водна Рамкова Директива, Паводкова Директива, Нітритна Директива, Директиви про очищення міських стічних вод, про питну воду та Рамкова Директива про морську стратегію. Для реалізації європейських норм в Україні: створено систему інтегрованого управління на основі басейнового принципу, а також засновано Басейнові ради; продовжується підготовка «Планів управління річковими басейнами» відповідно до затвердженого урядом Порядку; запроваджено діагностичний моніторинг вод у всіх річкових басейнах України, проведено скринінг забруднюючих речовин у найбільших річках, а також створено сучасні регіональні лабораторії для моніторингу якості води; затверджено нову методику для віднесення масивів поверхневих вод до класів екологічного та хімічного станів, що відповідає вимогам ЄС; затверджено «Водну стратегію до 2050 року», яка визначає основні принципи державної політики в сфері використання та охорони водних ресурсів, з акцентом на забезпечення водної безпеки та сталого управління водними ресурсами; схвалено «Морську природоохоронну стратегію України»; затверджено «Плани управління ризиками затоплення для певних територій у межах річкових басейнів»; прийнято Закон України «Про водовідведення та очищення стічних вод», який спрямований на покращення умов життєдіяльності людей і захист навколишнього середовища від впливу стічних вод. Таким чином, Україна вже здійснила значні кроки для впровадження вимог європейського законодавства в сфері управління водними ресурсами. Нові управлінські системи забезпечать досягнення цілей водної політики, зокрема доброго екологічного стану води та ефективності її використання. *Ключові слова:* водне середовище, водні ресурси, інтегроване управління, імплементація водного законодавства, євроінтеграція.

The state of implementation of the requirements of European legislation on the protection and rational use of water resources in Ukraine. Sapko O.

By signing the Association Agreement with the European Union (EU), Ukraine has undertaken a number of obligations, including bringing its legislation in line with EU norms and standards, including in the water sector. The issue of implementing EU requirements for the protection and rational use of water resources is extremely important for Ukraine. Not only the environmental situation in the country, but also its socio-economic development and ability to adapt to new global challenges, such as climate change and water supply, depend on the effectiveness of this process.

In the field of water quality and water management, Ukraine implements EU legislation within the framework of six directives, including the Water Framework Directive, the Flood Directive, the Nitrite Directive, the Urban Wastewater Treatment Directive, the Drinking Water Directive and the Marine Strategy Framework Directive. To implement European standards in Ukraine, the following has been done: an integrated management system based on the basin principle has been created, and Basin Councils have been established; preparation of River Basin Management Plans continues in accordance with the government-approved Procedure; diagnostic water monitoring has been introduced in all river basins of Ukraine, pollutants have been screened in the largest rivers, and modern regional laboratories for water quality monitoring have been established; a new methodology for assigning surface water bodies to classes of ecological and chemical conditions that meets EU requirements was approved; the Water Strategy until 2050 was approved, which defines the basic principles of state policy in the field of water use and protection, with a focus on ensuring water security and sustainable water management; the Marine Environmental Strategy of Ukraine was approved; Flood Risk Management Plans for certain areas within river basins were approved; the Law of Ukraine 'On Water Drainage' was adopted; the Law of Ukraine 'On Water Disposal and Wastewater Treatment' was adopted, which is aimed at improving the living conditions of people and protecting the environment from the impact of wastewater. Thus, Ukraine has already taken significant steps to implement the requirements of European legislation in the field of water management. New management systems will ensure that water policy objectives are met, in particular good ecological status and efficient use of water. *Key words:* water environment, water resources, integrated management, implementation of water legislation, European integration.

Актуальність дослідження. Водні ресурси, їх стан та рівень використання є одними з основних факторів, які визначають розвиток будь-якої держави. Вода є життєво необхідним ресурсом для забезпечення потреб людини, економіки та екосистем. Вона впливає на всі сфери життєдіяльності, зокрема на сільське господарство, промисловість, енергетику, транспорт, екологію та здоров'я населення. Тому правильне управління водними ресурсами є важливим чинником сталого розвитку держави.

Підписавши Угоду про Асоціацію з Європейським Союзом (ЄС), Україна взяла на себе низку зобов'язань, серед яких і приведення свого законодавства у відповідність до норм і стандартів ЄС, в тому числі у сфері водного господарства. В Україні існують значні виклики у сфері управління водними ресурсами, зокрема через недостатньо розвинену інфраструктуру водопостачання та водовідведення, забруднення річок та озер, а також дефіцит прісної води в деяких регіонах. Однак в контексті європейських вимог Україна має можливість створити більш ефективну систему управління водними ресурсами, що базується на принципах прозорості, участі громадськості та інтегрованого підходу. Таким чином, питання впровадження вимог ЄС щодо охорони і раціонального використання водних ресурсів є надзвичайно актуальним для України. Від ефективності цього процесу залежить не лише екологічна ситуація в країні, але й її соціально-економічний розвиток, а також здатність адаптуватися до нових викликів глобального масштабу, таких як зміни клімату та забезпечення водою населення.

Мета роботи. Аналіз впровадження вимог ЄС у сфері охорони і раціонального використання водних ресурсів в Україні.

Методи дослідження. В роботі використаний метод системного аналізу діючих нормативно-правових документів, щодо охорони та раціонального використання водних ресурсів в ЄС та в Україні, узагальнення та інтерпретація отриманих результатів.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Тема дослідження відповідає ключовим напрямкам екологічної політики України, спрямованим на охорону, відновлення та раціональне використання водних ресурсів, які закріплені в Законі України «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» та «Водній стратегії України на період до 2025 року». Окрім того, робота є важливою в контексті оцінки впровадження норм європейського законодавства у сфері охорони та раціонального використання водних ресурсів в Україні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню даної теми присвячена низка робіт, в тому числі [1–5]. В роботах проаналізовано нормативно-правові акти ЄС, які стосуються питань щодо охорони і раціонального використання водних ресурсів, стан їх імплементації в нормативно-пра-

вову базу України. В роботі [1] наведено детальний аналіз Директив ЄС які стосуються управління водними ресурсами, а в роботі [2] наведено теоретичні підходи до формування стратегії водної політики України в сучасних умовах. Дане дослідження є продовженням роботи [5], яка була присвячена впровадженню принципів інтегрованого управління водними ресурсами в Україні.

Результати досліджень. Законодавство ЄС встановлює комплексну систему управління водними ресурсами, вимагаючи від країн-учасниць створення відповідних адміністративних структур, розробки планів, а також моніторингу та контролю якості води. Основним нормативним документом у ЄС для дій спільноти у сфері водної політики є Директива 2000/60/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 23 жовтня 2000 р. (Водна Рамкова Директива), завданням якої є: забезпечення людей питною водою, постачання води для інших господарських потреб, охорона водного середовища і обмеження наслідків повеней і посух [6].

На теперішній час Україною виконано значну роботу з імплементації Водної Рамкової директиви у сфері управління водними ресурсами. Окремі принципи інтегрованого управління водними ресурсами почали реалізовуватися в Україні ще до підписання Угоди про асоціацію. Зокрема, згідно з Законом України № 1641-VIII від 04.10.2016 р. «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо впровадження інтегрованих підходів в управлінні водними ресурсами за басейновим принципом», було внесено зміни до Водного кодексу, а саме територія України була розділена на 9 водогосподарських ділянок, відповідно до основних річкових басейнів та на законодавчому рівні закріплено впровадження системи інтегрованого управління водними ресурсами на основі басейнового принципу. Цим же документом зазначається, що «Плани управління річковими басейнами» розробляються та реалізуються з метою досягнення екологічних цілей, встановлених для кожного району річкового басейну, у визначені терміни [7].

Розробка перших «Планів управління річковим басейном» для кожного району почалася під час реалізації «Загальнодержавної цільової програми розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро на період до 2021 року» [8]. Наразі вже завершено розробку проектів «Планів управління» для всіх річкових басейнів з урахуванням впливу військових дій на водні ресурси України. Завершення цієї роботи дозволяє забезпечити виконання умов для імплементації «Водної Рамкової Директиви».

Для реалізації принципів басейнового управління в Україні починаючи з 2016 р. було створено нові Басейнові ради. У 2017 р. було ухвалено типові Положення про ці Ради [9], а в другій половині 2018 р. було сформовано 13 Басейнових рад від-

повідно до діючих річкових басейнів, за винятком території тимчасово окупованого Криму [5].

Однією з основ впровадження принципів інтегрованого управління водними ресурсами є державний моніторинг вод. З 2019 р. із прийняттям нового «Порядку здійснення державного моніторингу вод» в Україні запроваджено європейський підхід до моніторингу вод, який визначає чіткий розподіл обов'язків між суб'єктами моніторингу та усуває дублювання функцій. Також введено нові показники, які раніше не вимірювалися в Україні, зокрема пріоритетні, гідроморфологічні та біологічні [10]. У 2022 р. Державне агентство водних ресурсів України затвердило державні Програми моніторингу вод, що включають діагностичний та операційний моніторинг масивів поверхневих, підземних і морських вод для басейнів річок Дону, Дністра, Дунаю та Вісли.

У лютому 2019 р. в Україні набрала чинності нова «Методика віднесення масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного та хімічного станів масиву поверхневих вод, а також віднесення штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного потенціалу штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод», яка повністю відповідає вимогам ЄС [11]. Відповідно до неї, класифікація екологічного стану розробляється окремо для кожного типу масиву, що робить її специфічною для конкретного типу води. Нова методика вже використовується для аналізу даних щодо оцінки якості поверхневих вод в Україні.

Найбільш важливим документом в контексті виконання міжнародних зобов'язань у сфері водної безпеки є затверджена у 2022 р. «Водна стратегія України до 2050 року», якою визначено ключові принципи державної політики в області використання, охорони та відтворення водних ресурсів [12]. Стратегія містить п'ять стратегічних цілей, для кожної з яких визначено 40 вимірюваних показників і відповідні завдання.

На жаль, у травні 2023 р. Верховною Радою України відхилене та знято з розгляду проект Закону «Про забезпечення конституційних прав громадян на безпечне для життя і здоров'я довкілля» (реєстр. № 6004-д), яким передбачалося впровадження інтегрованого екологічного дозволу, визначення видів діяльності, що потребують такого дозволу, а також встановлення вимог щодо застосування найкращих доступних технологій, методів управління, моніторингу викидів та контролю за дотриманням умов інтегрованого дозволу [13].

Основним нормативним документом для дій спільноти у сфері політики з охорони морського середовища у ЄС є Директива 2008/56/ЄС Європейського парламенту та Ради від 17 червня 2008 р. що встановлює рамки діяльності Співтовариства у сфері політики з морського середовища (Рамкова Директива про морську стратегію) [14]. Для впровадження положень цієї Директиви в Українське законодав-

ство, Уряд у 2021 р. затвердив Морську природоохоронну стратегію України, яким визначено основні принципи державної політики в сфері охорони морського середовища до 2034 р. та механізми забезпечення «доброго» екологічного стану Азовського та Чорного морів [15].

На превеликій жаль, внаслідок війни змінилися плани щодо впровадження Європейських норм і підходів до охорони морського середовища, тому після завершення бойових дій Урядом необхідно буде переглянути План дій до «Морської Стратегії» та скоригувати заходи. Крім того, робота щодо підготовки проекту «Плану дій для досягнення та підтримання «доброго» екологічного стану Азовського і Чорного морів» може бути відновленою тільки після завершення воєнного стану в Україні.

Основним нормативним документом щодо захисту вод від забруднення нітратами з сільськогосподарських джерел у ЄС є Директива Ради 91/676/ЄЕС від 12 грудня 1991 р. щодо захисту вод від забруднення, спричиненого нітратами з сільськогосподарських джерел (Нітратна Директива), яка спрямована на зменшення забруднення вод азотомісними сполуками від розподілених сільськогосподарських джерел [16]. У рамках імплементації цієї Директиви, Україною було затверджено нові «Правила щодо забезпечення родючості ґрунтів та використання певних агрохімікатів», які стосуються виробників-товарів, що здійснюють сільськогосподарську діяльність у зонах які є уразливими до накопичення нітратів [17]. На жаль, на сьогоднішній день існуючих нормативних документів недостатньо для повної імплементації Нітратної Директиви. Уряд затримує розробку «Планів управління зонами, схильними до накопичення нітратів», через непорозуміння між різними Міністерствами щодо визначення таких зон.

У серпні 2024 р. до Верховної Ради України було подано Проект Закону «Про захист вод від забруднення, викликаного нітратами з сільськогосподарських джерел», який встановлює правові та організаційні основи для захисту підземних і поверхневих вод від нітратного забруднення, а також визначає ключові принципи і вимоги до сільськогосподарської діяльності в зонах, чутливих до накопичення нітратів [18]. На теперішній час документ знаходиться на розгляді у Верховній Раді.

Основним нормативним документом щодо оцінки і управління ризиками затоплення у ЄС є Директива 2007/60/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 23 жовтня 2007 р. про оцінку та управління ризиками затоплення, яка зобов'язує держави-члени здійснити попередню оцінку ризиків затоплення, щоб визначити річкові басейни та суміжні прибережні райони, де цей ризик існує [19]. На теперішній час в Україні триває розробка карт ризиків і загроз затоплення, а саме проводяться дослідження планів управління ризиками затоплення для конкретних територій в межах річкових басейнів,

визначаючи місцевості з високим ризиком затоплення на період 2023–2028 рр. В рамках імплементації Директиви, урядом було розроблено та затверджено «Методику попередньої оцінки ризиків затоплення», яка дозволяє виявити території з потенційно значними загрозами затоплення у всіх річкових басейнах України, а також інші можливі джерела затоплення [20].

Основним нормативним документом щодо очистки міських стічних вод у ЄС є Директива № 91/271/ЄЕС про очистку міських стічних вод» зі змінами та доповненнями, внесеними Директивою № 98/15/ЄС та Регламентом (ЄС) № 1882/2003 і Регламентом (ЄС) № 1137/2008 [21]. З метою виконання вимог цієї Директиви, Верховна Рада України прийняла Закон України «Про водовідведення та очищення стічних вод», який визначає правові, економічні та організаційні основи функціонування системи водовідведення, спрямовані на створення комфортних умов для життя людей та захист навколишнього середовища від негативних наслідків стічних вод [22].

На сьогоднішній день в Україні реалізація Директиви Ради 98/83/ЄС від 3 листопада 1998 р. про якість води, призначеної для споживання людиною [23] регламентується нормативно-правовим актом ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною», яким встановлено гігієнічні вимоги щодо якості всіх видів питних вод, що використовуються в кра-

їні [24]. Крім того, Верховна Рада ухвалила Закон України «Про внесення змін до Закону України «Про питну воду та питне водопостачання», розроблений Кабінетом Міністрів, яким передбачається регулювання відносин, щодо водопостачання та водовідведення; запобігання погіршенню якості води водних об'єктів та інш. [25].

Висновки. У сфері охорони і раціонального використання водних ресурсів імплементація законодавства ЄС для України відбувається в рамках шести Європейських Директив, а саме: Водної Рамкової Директиви, Рамкової Директиви про морську стратегію, Паводкової і Нітритної Директив, Директиви про очищення міських стічних вод та про питну воду.

На теперішній час, Україна вже здійснила значні кроки для впровадження вимог європейського законодавства в сфері управління водними ресурсами. Положення Водної Рамкової Директиви та Директиви про морську стратегію впроваджено в Українське законодавство майже повністю. Нові створені управлінські системи вже працюють по всіх водних басейнах та повинні забезпечити досягнення цілей водної політики України, зокрема доброго екологічного стану води та ефективності її використання. В меншому ступені в Україні імplementовано вимоги Паводкової та Нітритної Директив, Директиви про очищення міських стічних вод та Директиви про питну воду. Проте робота над зміною законодавства продовжується.

Література

1. Пінчук О.Л., Герасімов Є.Г., Куницький С.О. Директиви ЄС у сфері управління водними ресурсами: довідник. Рівне: «Волинські береги», 2019. 224 с.
2. Хвесик М., Левковська Л., Мандзик В. Стратегія водної політики України: перспективи реалізації. *Економіка природокористування і сталій розвиток*. 2021. № 10 (29). С. 6-15.
3. Коморін В.М., Дикий Є.О. Екологічний моніторинг як базовий елемент морської стратегії України. *Геологія та корисні копалини Світового океану*. 2017. № 4 (50). С. 95-103.
4. Уберман В.І., Васьковець Л.А. Європейське законодавче регулювання скидання забруднюючих речовин та проблеми його імплементації Україною. *Вісник НТУУ «КПІ». Політологія. Соціологія. Право*. № 4 (44). 2019. URL: <https://visnyk-ppsp.kpi.ua/article/view/199752> (дата звернення: 20.12.2024).
5. Сапко О.Ю. Аналіз виконання вимог Європейського законодавства щодо управління водними ресурсами в Україні. *Науково-практичний журнал «Екологічні науки»*. 2021. № 3 (36). С. 64-68.
6. Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики: Директива № 2000/60/ЄС від 23 жовтня 2000 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text (дата звернення: 10.12.2024).
7. Про внесення змін у деякі законодавчі акти України щодо впровадження інтегрованих підходів в управлінні водними ресурсами за басейновим принципом: Закон України від 4 жовтня 2016 р. № 1641-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1641-19/paran102#n102> (дата звернення: 10.12.2024).
8. Загальнодержавна цільова програма розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро на період до 2021 року: Закон України від 24 травня 2012 р. № 4836-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4836-17#Text> (дата звернення: 10.12.2024).
9. Про затвердження Типового положення про басейнові ради: Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України від 26 січня 2017 р. № 23. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0231-17#Text> (дата звернення: 12.12.2024).
10. Порядок здійснення державного моніторингу вод: Постанова Кабінету Міністрів України від 19 вересня 2018 р. № 758. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/758-2018-%D0%BF#Text> (дата звернення: 12.12.2024).
11. Методика віднесення масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного та хімічного станів масиву поверхневих вод, а також віднесення штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного потенціалу штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод: Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України від 14 січня 2019 р. № 5. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0127-19#Text> (дата звернення: 12.12.2024).
12. Водна стратегія України на період до 2050 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 09 грудня 2022 р. № 1134-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1134-2022-%D1%80#Text> (дата звернення: 12.12.2024).

13. Проект Закону про забезпечення конституційних прав громадян на безпечне для життя і здоров'я довкілля (реєстр. № 6004-д). URL: <https://www.kmu.gov.ua/bills/proekt-zakonu-pro-zabezpechennya-konstitutsiynikh-prav-gromadyan-na-bezpechne-dlya-zhittya-i-zdorovya-dovkillya> (дата звернення: 15.12.2024).
14. Директива 2008/56/ЄС Європейського парламенту та Ради від 17 червня 2008 р. що встановлює рамки діяльності Співтовариства у сфері політики з морського середовища (Рамкова Директива про морську стратегію). URL: <https://ips.ligazakon.net/document/EU080076> (дата звернення: 15.12.2024).
15. Морська природоохоронна стратегія України: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 11 жовтня 2021 р. № 1240-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1240-2021-%D1%80#Text> (дата звернення: 15.12.2024).
16. Директива Радивід 12 грудня 1991 р. щодо захисту вод від забруднення, спричиненого нітратами з сільськогосподарських джерел. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/987_002-91#Text (дата звернення: 15.12.2024).
17. Правила щодо забезпечення родючості ґрунтів та використання певних агрохімікатів: Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 24 листопада 2021 р. № 382. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0034-22#Text> (дата звернення: 15.12.2024).
18. Про захист вод від забруднення, спричиненого нітратами із сільськогосподарських джерел: Проект Закону України від 16 серпня 2024 р. № 11486. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/J11494A> (дата звернення: 15.12.2024).
19. Директива 2007/60/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 23 жовтня 2007 р. про оцінку та управління ризиками затоплення. URL: <https://compass27.info/dyrektyva-2007-60-yes-pro-oczinku-ta-upravlinnya-ryzykamy-zatoplennya/> (дата звернення: 15.12.2024).
20. Методика попередньої оцінки ризиків затоплення: Наказ Міністерства Внутрішніх Справ України від 17 січня 2018 р. № 30. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0153-18#Text> (дата звернення: 15.12.2024).
21. Директива Ради 91/271/ЄЕС «Про очистку міських стічних вод» від 21 травня 1991 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_911#Text (дата звернення: 15.12.2024).
1. 18. Про водовідведення та очищення стічних вод: Закон України від 12 січня 2023 р. № 2887-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2887-20#Text> (дата звернення: 20.12.2024).
22. Про водовідведення та очищення стічних вод: Закон України від 12 січня 2023 р. № 2887-IX URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2887-20#Text> (дата звернення: 20.12.2024).
23. Директива Ради 98/83/ЄС від 3 листопада 1998 р. про якість води, призначеної для споживання людиною. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_963#Text (дата звернення: 15.12.2024).
24. ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text> (дата звернення: 15.12.2024).
25. Про внесення змін до Закону України «Про питну воду та питне водопостачання»: Закон України від 18 травня 2017 р. № 2047-VIII URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2047-19#Text> (дата звернення: 15.12.2024).

ОЦІНЮВАННЯ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА Р. УНАВА ЗА ПОКАЗНИКАМИ САПРОБНОСТІ

Строкаль В.П., Гаць А.К.

Національний університет біоресурсів і природокористування України
вул. Героїв Оборони, 15, 03041, м. Київ
vita.strokal@gmail.com, strocal_v@nubip.edu.ua

Актуальність теми полягає в тому, що малі річки України перебувають під загрозою зникнення. Основними причинами цієї проблеми є сільськогосподарська діяльність (постійне розорювання берегів річки, внесення стоками поживних речовин), зміна клімату (підвищення рівня температур, зменшення опадів та водозабезпечення). Все більш нагальними стають питання оцінки екологічного стану малих річок та знаходження шляхів збереження.

Мета наукової роботи полягала у визначенні токсичності водойми р. Унава за макрофітами для встановлення трофічного статусу водойми, та проведенні комплексного оцінювання якісного стану річки за показниками сапробності. В якості методології був використаний комплексний підхід, який передбачав синтез даних за показниками якісного стану води та наявністю макрофітів-індикаторів в водоймі р. Унава.

За результатами дослідження обґрунтовано, що на прогнозовано на якісний стан водойми р. Унава вплив точкових джерел забруднення складає до 25% (стічні води від житлово-комунальних господарств та промисловості, основний район впливу це м. Фастів), дифузних джерел забруднення складає до 75% (сільське господарства). Зроблений аналіз за показниками сапробності водного середовища (прозорість води, процентне насичення води киснем, вміст біологічного споживання кисню за 5 діб) дозволив нам встановити, що водойма відноситься до «брудної» води з класами сапробності від полі- до гіперсапробних. За результатами візуального обстеження надводного ярусу водойми та прибережної території р. Унава на наявність макрофітів-індикаторів, можна сказати, що водойма за трофічним статусом відноситься до мезотрофної, мезоевтрофної та евтрофної; за типом забруднення – від помірно забрудненої до забрудненої. *Ключові слова:* сапробність, річка, забруднення, якісний стан води, зміна клімату, сільськогосподарська діяльність, водно-болотні угіддя.

Environmental assessment of Unava River based on indicators of water saprobity. Strokal V., Hatz A.

The topic is relevant because small rivers in Ukraine are threatened with extinction. The main causes of this problem are agricultural activities (devastation of fields near coastal rivers, agricultural runoff from lands) and climate change (increasing temperatures, decreasing precipitation). Assessing the ecological state of small rivers and finding approaches to preserve them are becoming increasingly urgent.

The scientific work aimed to determine the toxicity of the Unava River by macrophytes, establish its trophic status, and conduct a comprehensive assessment of its qualitative state using saprobity indicators. This work included three tasks: (1) to identify the impacts of the main point and diffuse sources of pollution on the water quality of the Unava River; (2) to analyze water quality parameters to assess the water saprobity of the river; (3) to determine existing macrophytes-indicators near the river to classify water pollution of Unava River.

A comprehensive approach was used as a methodology, which involved synthesizing data on water quality indicators and the presence of indicator macrophytes in the Unava River.

The study was conducted in October-November 2024 at ten observation points (water samplings) that cover the entire Unava River basin (point 1 – the village of Horodyshe, Zhytomyr region) to the mouth of the river where it flows into the Irpin River (point 10 – southwest of the village of Pereviz, Kyiv region). Water samplings were analyzed in a certified chemical laboratory of “UkrChemAnalysis Ltd” (contract No. 14357 dated 04.11.2024).

Since the Unava River belongs to “stagnant” reservoirs, we selected macrophytes to assess the toxicity of the aquatic environment since they are sensitive indicators of the state of surface water ecosystems. Observations of macrophyte indicator groups were carried out from the shore. The river bank was surveyed at a distance of 100 m. The above-water vegetation layer and the water surface were examined up to 50 m from the river bank. The survey was carried out visually, taking notes in a field diary. Doubtful or unfamiliar species were collected in a plastic bag with a label for further study.

According to the results, it was predicted that 25% of point sources (wastewater from domestic and industries) and 75% of diffuse sources (agricultural activities) contributed to river pollution of the Unava River. Analyzing the saprobity indicators of the water environment (water transparency, percentage saturation of water with oxygen, biological oxygen demand) allowed us to establish that the river belongs to “dirty” water with saprobity classes from poly- to hypersaprobic. According to the results of a visual inspection of the surface water and coastal rivers of the Unava River for the presence of macrophytes-indicators, we can say that the river by trophic status belongs to mesotrophic, mesoeutrophic and eutrophic; by type of pollution – from moderately polluted to polluted. *Key words:* saprobity, river, pollution, water quality, climate change, agricultural activity, wetlands.

Постановка проблеми. Якість водних ресурсів в Україні поступово погіршується, що засвідчують дані у Водній стратегії України до 2050 року [7]. Найбільш страждають малі та середні річки країни, оскільки зазнають постійного впливу від

сільськогосподарської діяльності [1]. Внаслідок розораності берегів річок та неналежної практики сільськогосподарського виробництва, гідрологічний режим особливо малих річок змінюється [10], прискорюються процеси заболочування та евтро-

фікації, і як наслідок малі річки починають висихати [8-9].

Актуальність дослідження. Сапробність водойми є важливим індикатором за допомогою якого можна визначити вплив особливо дифузних джерел забруднення на якісний стан води [3]. Зростання сапробності водойми є свідченням порушення процесів саморегуляції та самоочищення, що у свою чергу змінює стан всієї водної екосистеми. Сапробність, це здатність водних організмів жити у водному середовищі, що насичена органічними речовинами [5]. Варто зазначити, що лабораторні методи дослідження дають змогу оцінити стан водойми на момент відбору проб води. Проте сапробність водойми, як один із біоіндикаційних методів дослідження – дозволяє надати достовірну інформацію впливу стану середовища на тест-об'єкт в системі «водне середовище – біота», оцінити токсичність водного середовища [6].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями полягає у вивченні токсичності водойми р. Унава за макрофітами для встановлення трофічного статусу водойми, який буде використаний для комплексного оцінювання якісного стану басейну р. Унава, що є притокою р. Ірпінь.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питаннями оцінювання малих річок України займалися вчені Середа К., Сердюк С. (водогосподарське використання малих річок та їхнє значення) [2], Берьозкіна Л. (седиментальні процеси в гирлах малих річок) [11], Царик Л., Царик П., Вітенко І. (геоекологічні проблеми малих річок) [12] та інші. Вивчення річок за індикаторними показниками досліджували Давидов О., Григор'єва Г. (індикаторні еколого-санітарні показники мікрофітобентосу річкової ділянки Канівського водосховища) [13], Луценко Д. (фітопланктон – як біоіндикатор якості води різнотипних гідроекосистем пониззя Дунаю) [14] та інші.

Новизна наукової роботи полягає, що авторами вперше визначено токсичність водойми р. Унава за макрофітами для встановлення трофічного статусу водойми р. Унава, що є притокою р. Ірпінь.

Методологічне та загальнонаукове значення. Основна мета роботи полягала у дослідженні якості води р. Унава за показниками сапробності та встановленні відповідних взаємозв'язків між показниками якості води та макрофітами-індикаторами трофічного стану водойми. Для досягнення поставленої мети були виконані наступні завдання: обґрунтувати вплив точкових та дифузних джерел забруднення на стан водойми р. Унава, зробити аналіз якісного стану води р. Унава за показниками сапробності водного середовища, визначити наявність макрофітів-індикаторів забруднення та трофічного стану водойми.

Для виконання даних завдань був використаний комплексний підхід, який передбачав синтез даних за показниками якісного стану води та наяв-

ністю макрофітів-індикаторів в водоймі р. Унава. Поєднання двох методів оцінювання сапробності води р. Унава дозволила більш точно дати характеристику водойми щодо рівня забруднення.

Дослідження проводили у жовтні-листопаді 2024 року в 10 пунктах спостереження, що охопили весь басейн р. Унава від витoku річки (пункт 1 – с. Городище Житомирської обл.) до гирла річки, де впадає вона в водойму р. Ірпінь (пункт 10 – на південний захід від с. Перевіз Київської обл.). Аналіз показників якості води робили в сертифікованій хімічній лабораторії ТОВ «УкрХімАналіз» (договір № 14357 від 04.11.2024 р.).

Оскільки р. Унава відноситься до «застійних» водойм, нами для оцінки токсичності водного середовища були обрані макрофіти, оскільки вони є чутливими індикаторами стану водних екосистем [6]. Обстеження на групи макрофітів-індикаторів проводили як з берегу так і з водойми. Обстежували берег річки на відстані 100 м. Досліджували надводний ярус рослинності та власне поверхню води відстанню до 50 м від берегу річки. Огляд здійснювали візуально, занотовуючи у польовий щоденник. Види, що викликали сумніву або були не знайомі, збирали у поліетиленовий мішечок з етикетною для подальшого вивчення.

Виклад основного матеріалу. Сапробність водного середовища є одним із індикаторів, які показують ступінь насичення води органічними речовинами. Врахування даного індикатора якості води є доречним для проведення оцінювання екологічного стану природних вод. Існують методики, які дозволяють провести оцінку сапробності водного середовища за наявністю у ній набору груп індикаторних організмів-сапробіонтів [4], а також за показниками сапробності водного середовища як прозорість води, процентне насичення води киснем, біологічне споживання кисню у воді [3]. В наших дослідженнях були використані вище зазначені показники якості води для встановлення сапробності водного середовища, та зроблений аналіз на наявність макрофітів, як індикаторів забрудненості води (індекс Майєра) й трофічного стану водойми р. Унава (класифікація за Карпова).

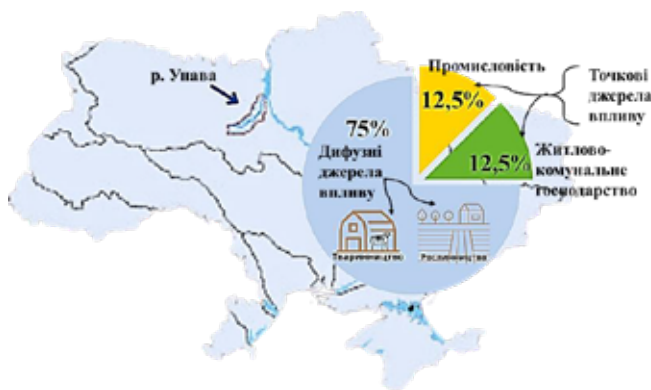
Згідно із поставленим першим завданням, нами було досліджено прогнозовані точкові та дифузні джерела впливу на якісний стан водойми р. Унава (рис. 1). Варто зазначити, що р. Унава, довжиною 87 км, загальною площею водозбірною басейну 680 км², входить до території Житомирської та Київської областей, є в структурі басейну р. Ірпінь (рис. 1Б). Водойма р. Унава відноситься до категорії «малих» річок [1]. Малі річки мають важливе господарське та екологічне значення, підтримуючи загальну водність річкової системи країни та забезпечуючи аграрну галузь водопостачанням [2].

Вітік р. Унава (рис. 1В) починається із с. Городище (Андрушівський р-н Житомирської

обл.) і має гирло в р. Ірпінь (південний захід від с. Перевіз Київської обл.). Більшу частину району річки охоплюють сільськогосподарські господарства та приватні присадибні ділянки (до 75%), що є дифузними джерелами забруднення природних водойм. Житлово-комунальні господарства та підприємства, як індикатори точкового забруднення, знаходяться в районі м. Фастів та в його околицях,

їхні стічні води можуть мати вплив на якісний стан водойми р. Унава в пунктах відбору проб води № 8-9 (рис. 1А,В).

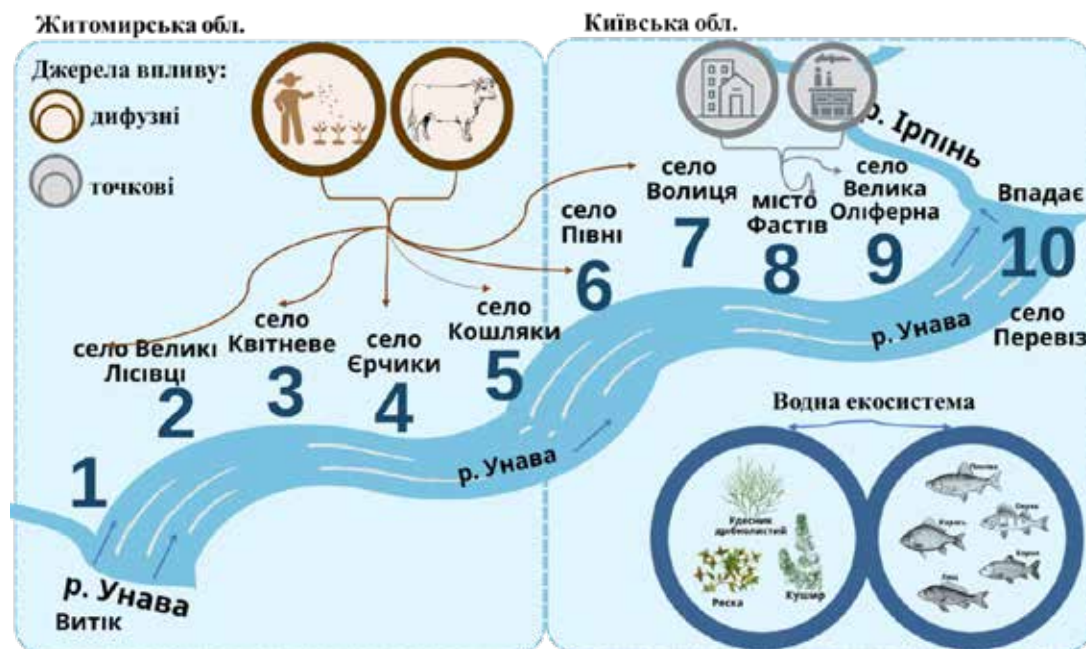
Ще одним фактором впливу на якісний стан води є наявність розорених сільськогосподарських полів, які розташовані буквально за 15-20 м від берегів водойми р. Унава. Наприклад в пунктах відбору проб води 1 (с. Городище), 4 (с. Єрчики), 5 (с. Кошляки),



Річка Унава:

- регіони – Київська (Фастівський р-н) та Житомирська (Андрушівський, Попільнянський р-ни) області;
- довжина – 87 км;
- площа водозбірного басейну – 680 км²;
- ширина – до 4 км;
- глибина – до 30 м;
- гідрологічний пост – м. Фастів;
- витік – с. Городище;
- гирло – р. Ірпінь; басейн р. Ірпінь;
- притоки – Лозинка, Бернова, Шахрайка, Плиська, Кривенька

А) Джерела впливу на якісний стан водойми	Б) Коротка характеристика водойми
---	-----------------------------------



В) Пункти відбору проб води з водойми та прогнозовані джерела впливу
--

Рис. 1. Характеристика водойми р. Унава, пункти дослідження та прогнозовані джерела впливу на якісний стан водойми

б (с. Півні) сільськогосподарські розорені поля знаходяться на відстані 10-25 м від берегів р. Унава, а приватні присадибні ділянки з власним господарством на відстані 50-150 м від берегів р. Унава. В цих пунктах практично берег річки є розореним. Вплив приватного господарства візуально підтверджений тим, що худоба випасалася біля водойми, спостерігали поверхневий стік і змив верхнього шару ґрунту від будинків до берегу річки. Варто зазначити, що сільськогосподарська діяльність є одним із основних дифузних джерел забруднення водойми р. Унава.

В процесі відбору проб води, візуального огляду досліджуваних ділянок та спілкування з рибачками, нами було визначено, що у водній екосистемі річки мешкають такі види риб як карась, короп, окунь, лящ та плотва. Також досліджувані ділянки були досить вкриті густою трав'янистістю, деревними чагарниками та очеретом. Місцевість водойми річки в деяких місцях була заболоченою, водойма містила багато рослинності, та деякі місця були без води, а ті ділянки, які були наповненні водою – прозорість була мінімальною (від 8 до 17 см). Саме ці візуально виявлені факти стали підґрунтям для проведення екологічної оцінки стану водойми за сапробіологічними показниками.

Відповідно до другого завдання, нами була проведена оцінка стану водойми р. Унава за показниками сапробності водного середовища з визначенням класу сапробності. Вона включала показники, як концентрація розчиненого кисню у відсотках насичення ($O_2, \%$), прозорість води (м), біологічне споживання кисню (БСК₅, мг/дм³).

Для визначення класу сапробності води, спочатку проводимо розрахунки за визначенням процентного насичення водойми киснем ($O_2, \%$). Вихідні дані представлені у таблицях 1-2. Варто зазначити, що O_2 (% насичення) певної водойми відповідає певному температурному режиму повітря під час відбору відповідних проб води з водойми.

Процентне насичення киснем водойми ($O_2, \%$) визначали розрахунково, за формулою:

$$O_2, \% = \frac{C_x \times 100}{C_o}, \text{ де}$$

C_x – фактична концентрація кисню у воді, мг O_2 /дм³;
 C_o – Нормальна концентрація кисню за певної температури та атмосферного тиску (760 мм рт.ст.), виміряної під час взяття проб води, мг O_2 /дм³.

Насичення водойми киснем є важливим індикатором якісного стану води, особливо для водної екосистеми в цілому та для риборозведення. Цей індикатор показує ступінь насичення води органічними та біогенними речовинами, які є джерелом надходження забруднюючих речовин від точкових та дифузних джерел забруднення.

Виходячи з розрахунків, що наведені у таблицях 1-2, можна сказати, що процентне насичення водойми киснем суттєво відрізняється в пунктах спостереження, від 35 до 44% в пунктах відбору води 1-3, 66-83% – 4-8, 53-54% – 9-10. Високий процент насичення киснем в 4-8 пунктах відбору проб води з одного боку дозволяє віднести воду до класу як бета- та оліго-сапробні, з іншого боку – під час відбору проб води ми спостерігали інтенсивні виділення вуглекислого газу та декілька мертвих риб (така ситуація була і в 2022 та 2023 роках). Підтвердженням наших припущень щодо наявності органічного та біогенного забруднення водойми є показники прозорості та концентрації БСК₅ у відібраних пробах води.

За результатами дослідження сапробності водного середовища (табл. 3) водойми р. Унава, спостерігаємо що за величиною прозорості водойма відноситься до брудної води з класами сапробності від полі- до гіперсапробних; за вмістом БСК₅ – до брудної води з полісапробним класом.

Варто зазначити, що глибина річки сягала до 2,5 м (пункти відбору проб води 1-2, 5-7, 9-10), а в районі водосховищ – до 5,0 м. (пункти відбору проб води –

Таблиця 1

Вихідні дані для розрахунку $O_2, \%$

Пункт відбору проб води	C_x	C_o	t повітря на момент відбору проб води, °C	Атмосферний тиск на момент відбору проб води	$O_2, \%$ насичення води киснем
1	4,41	12,46	6,0	771	35,39
2	5,51	12,46	6,0	760	44,22
3	4,81	12,14	7,0	762	39,62
4	8,25	12,46	6,0	770	66,21
5	9,51	12,46	6,0	770	76,32
6	10,35	12,46	6,0	769	83,07
7	9,12	12,46	6,0	765	73,19
8	8,93	12,46	6,0	768	71,70
9	6,81	12,79	5,0	760	53,24
10	6,89	12,79	5,0	772	53,87

Таблиця 2

Розрахунок O_2 , %

для 1 пункту: $O_2, \% = \frac{4,41 \times 100}{12,46} = 35,39$	для 6 пункту: $O_2, \% = \frac{10,35 \times 100}{12,46} = 83,07$
для 2 пункту: $O_2, \% = \frac{5,51 \times 100}{12,46} = 44,22$	для 7 пункту: $O_2, \% = \frac{9,12 \times 100}{12,46} = 73,19$
для 3 пункту: $O_2, \% = \frac{4,81 \times 100}{12,14} = 39,62$	для 8 пункту: $O_2, \% = \frac{8,93 \times 100}{12,46} = 71,70$
для 4 пункту: $O_2, \% = \frac{8,25 \times 100}{12,46} = 66,21$	для 9 пункту: $O_2, \% = \frac{6,81 \times 100}{12,79} = 53,24$
для 5 пункту: $O_2, \% = \frac{9,51 \times 100}{12,46} = 76,32$	для 10 пункту: $O_2, \% = \frac{6,89 \times 100}{12,79} = 53,87$

Таблиця 3

Характеристика водойми р. Унава за класами сапробності водного середовища

Пункт відбору проб води	Прозорість води, м		O_2 , % насичення води		БСК ₅ , мг/дм ³	
	величина	клас сапробності	величина	клас сапробності	величина	клас сапробності
1	0,15	Полісапробні	35,39	Альфа-сапробні	12,8	Полі-сапробні
2	0,08	Гіперсапробні	44,22		12,8	
3	0,12	Полісапробні	39,62		18,9	
4	0,11		66,21	Бета-сапробні	20,1	
5	0,08	Гіперсапробні	76,32		17,6	
6	0,09		83,07	Оліго-сапробні	32,8	
7	0,10	Полісапробні	73,19	Бета-сапробні	19,6	
8	0,13		71,70		22,4	
9	0,11		53,24	Альфа-сапробні	15,1	
10	0,17		53,87		20,4	

3-4, 8). Також швидкість течії була надзвичайно малою, її не можливо було виміряти, лише в районі водосховищ нами була змога виміряти швидкість течії і вона становила до 1,5 сек/год. Більшість району р. Унава є заболоченою. Нами також був виявлений «застій води», який впливає на накопичення органічних та біогенних речовин, що у свою чергу підсилює процеси забруднення та відповідно й евтрофікації.

З метою підтвердження вищенаведених припущень, нами була проведена оцінка на наявність у водоймі макрофітів-індикаторів забруднення, які також є індикаторами трофічного стану водойми (третє поставлене завдання).

За результатами візуального обстеження надводного ярусу водойми та прибережної території, нами було визначено наступні макрофіти-індикатори (табл. 4): рдесник дрібнолистий (індикатор помірного забруднення водойм), рдесник гребінчастий

(індикатор забруднених водойм), кушир занурений (індикатор забруднених водойм), ряска мала (індикатор забруднених водойм), очерет звичайний (індикатор забруднених водойм), водяний горіх (індикатор помірного забруднення водойм).

Слід відмітити, що трофічний статус водойми може змінюватися під час перебігу природних процесів або під впливом діяльності людини, як сільськогосподарська діяльність. Мезо-евтрофні водойми також мають статус перехідних, тобто якість водойми погіршується і може знаходитися в межах статусів мезотрофного та евтрофного (від середнього вмісту органіки у воді до високого вмісту). Даний статус водойми свідчить про масовий розвиток мікроскопічних водоростей (явище «цвітіння» води). Це явище також можемо підтвердити наявністю специфічного запаху (прілий, гнильний, болотний) та кольору (світло-жовтий, жовтий, зеле-

Макрофіти-індикатори стану водойми

Пункт відбору проб води	Індикатори трофічного статусу водойми (Карпова, 2010)		Індикатори забрудненості водойми (за модифікованим індексом Майєра)	
	Макрофіти	Статус водойми	Макрофіти	Тип забруднення
1	Кушир напівзанурений	Мезотрофний	Рдесник дрібнолистий	Помірно забруднені
	Водяний горіх плаваючий	Мезо-евтрофний	Водяний горіх плаваючий	
2	Кушир занурений, ряска мала	Евтрофний	Кушир занурений, ряска мала, очерет звичайний	Забруднені
3	Кушир занурений, ряска мала	Евтрофний	Кушир занурений, ряска мала, очерет звичайний	Забруднені
4	Кушир занурений, ряска мала	Евтрофний	Кушир занурений, ряска мала, очерет звичайний	Забруднені
	Водяний горіх плаваючий	Мезо-евтрофний	Водяний горіх плаваючий	Помірно забруднені
5	Кушир занурений, ряска мала	Евтрофний	Кушир занурений, ряска мала, очерет звичайний	Забруднені
	Водяний горіх плаваючий	Мезо-евтрофний	Водяний горіх плаваючий	Помірно забруднені
	Кушир напівзанурений	Мезотрофний	Рдесник дрібнолистий	Помірно забруднені
6	Кушир занурений, ряска мала	Евтрофний	Кушир занурений, ряска мала, очерет звичайний	Забруднені
	Водяний горіх плаваючий	Мезо-евтрофний	Водяний горіх плаваючий	Помірно забруднені
	Кушир напівзанурений	Мезотрофний	Рдесник дрібнолистий	Помірно забруднені
7	Кушир занурений, ряска мала, рдесник гребінчастий	Евтрофний	Кушир занурений, ряска мала, очерет звичайний, рдесник гребінчастий	Забруднені
	Водяний горіх плаваючий	Мезо-евтрофний	Рдесник дрібнолистий, водяний горіх плаваючий	Помірно забруднені
8	Кушир занурений, ряска мала, рдесник гребінчастий	Евтрофний	Кушир занурений, ряска мала, очерет звичайний, рдесник гребінчастий	Забруднені
	Водяний горіх плаваючий	Мезо-евтрофний	Рдесник дрібнолистий, водяний горіх плаваючий	Помірно забруднені
9	Кушир занурений, ряска мала	Евтрофний	Кушир занурений, ряска мала, очерет звичайний	Забруднені
	Водяний горіх плаваючий	Мезо-евтрофний	Водяний горіх плаваючий	Помірно забруднені
	Кушир напівзанурений	Мезотрофний	Рдесник дрібнолистий	Помірно забруднені
10	Кушир занурений, ряска мала, рдесник гребінчастий	Евтрофний	Кушир занурений, ряска мала, очерет звичайний, рдесник гребінчастий	Забруднені

ний, землянистий) води під час відбору проб води. Якість води у таких водоймах значно погіршена, потребує додаткових досліджень на наявність біогенних та органічних речовин.

Головні висновки. В ході проведених досліджень встановлено, що водойма р. Унава має переважачий евтрофний трофічний статус з типом забруднення від помірно забруднених до забруднених (категорії В і С за модифікованим індексом

Майєра), за величиною прозорості – відноситься до брудної води з класами сапробності від полі- до гіперсапробних, за вмістом БСК₅ – до брудної води з полісапробним класом.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження можуть бути використанні для подальшого оцінювання екологічного стану водойми р. Унава, а також для моніторингових досліджень водних ресурсів басейну р. Ірпінь.

Література

1. Хільчевський В. К. Сучасна характеристика поверхневих водних об'єктів України: водотоки та водойми. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2021. № 1. С. 59. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.1.1>
2. Серета К. А., Сердюк С. М., Совгіра С. В., Томільцева А. І. Класифікація та особливості дослідження малих річок. *Наукові записи екологічної лабораторії УДПУ*. Науково-дослідної лабораторії «Екологія і освіта». 2023. Вип. 26. С. 38. URL: <https://pgf.udpu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/11/%D0%B7%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA-%D0%B5%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B0%D0%B1.pdf#page=39>
3. Строкаль В. П., Куровська А. В. Інтегральне оцінювання екологічного стану води Київського водосховища: *монографія*. Київ : Видавничий центр НУБіП України. 2024. 225 с. URL: <https://dglib.nubip.edu.ua/server/api/core/bitstreams/085daab2-29d4-447a-b039-9e25b28168b5/content>
4. Никифоров В. В., Дігтяр С. В., Мазницька О. В., Козловська Т. В. Біоіндикація та біотестування : *навчальний посібник*. Кременчук : Видавництво ПП Щенбатих О. В. 2016. 76 с. URL: <https://dspace.organic-platform.org/xmlui/bitstream/handle/data/828/83.%20%20%20%20%20%20%20%20%20.%20.pdf?sequence=1>
5. Савенко Н. М., Коба С. А. Оцінка якості води за мікробіологічними показниками. *Collection of scientific papers «ЛОГОΣ»*, (May 20, 2022; Cambridge, United Kingdom). 2022. С. 136-137. DOI: <https://doi.org/10.36074/logos-20.05.2022.040>
6. Гриб Й. В., Петрук А. М., Борщевська І. М., Войтишина Д. Й., Михальчук М. А. Біоіндикація стану водного середовища у комплексному оцінюванні токсичності слабопроточних водойм. *Bulletin National University of Water and Environmental Engineering*. 2023. 2(102). С. 31-50. DOI: <https://doi.org/10.31713/vs220233>
7. Водна стратегія України на період до 2050 року : Схвалено розпорядженням КМ України від 09.12.2022 р. № 1134. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1134-2022-%D1%80#Text> (дата звернення: 20.11.2024)
8. Строкаль В. П., Ковпак А. В. Причинно-наслідкові зв'язки забруднення біогенними елементами басейну річки Дніпра: синтез теоретичних даних. *Науково-практичний журнал «Екологічні науки»*. 2021. 2(35). С. 37-44. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.2-35.6>
9. Строкаль В. П., Бережняк Є. М., Наумовська О. І. Та ін. Вплив російської агресії на стан природних ресурсів України: *монографія* / За заг. ред. В. П. Строкаль. Київ : Видавничий центр НУБіП України. 2023. 218 с. URL: <https://dglib.nubip.edu.ua/server/api/core/bitstreams/32ec0615-2e20-462c-9c79-8836a26bf618/content>
10. Наконечна Ю. О., Мельничук С. С. Методологічні та методичні проблеми гідроекологічних досліджень малих річок Степу. *Науковий вісник Вінницької академії безперервної освіти. Серія «Екологія. Публічне управління та адміністрування»*. 2023. № 3. С. 135-142. DOI: <https://doi.org/10.32782/2786-5681-2023-3.18>
11. Берьозкіна Л. В. Седиментаційні процеси в гирлах малих річок. *Grail of Science*. 2023. № 33. С. 461-464. DOI: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.10.11.2023.77>
12. Царик Л. П., Царик П. Л., Вітенко І. М., Царик В. Л. З історії сучасних досліджень геоєкологічних проблем малих річок Західного Поділля. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка*. Серія: географія. 2023. 54(1). С. 4-12. DOI: <https://doi.org/10.25128/2519-4577.23.1.1>
13. Давидов О. А., Григор'єва Г. Є. Індикаторні еколого-санітарні показники мікрофітобентосу річкової ділянки Канівського водосховища (Україна). 2024. С. 38-40. URL: <http://eprints.zu.edu.ua/41487/1/13.pdf>
14. Луценко Д. Я. Фітопланктон – як біоіндикатор якості води різнотипних гідроекосистем пониззя Дунаю. Матеріали ХХІV Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Людина. Суспільство» (5 червня 2024 р., м. Київ, Україна). 2024. DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2024.304078>

ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ВОЄННИХ ДІЙ

УДК 574.64:504.064

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.6-57.14>

ОЦІНКА МІЛІТАРНОГО ВПЛИВУ НА ҐРУНТИ М. ЧУГУЇВ ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Крайнюков О.М.¹, Кривицька І.А.¹, Найдюнова О.Є.^{1,2}, Філатов В.М.¹, Матісько Б.Ю.¹

¹Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
майд. Свободи, 4, 61022, м. Харків

²Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»
вул. Чайковська, 4, 61024, м. Харків
alkraynukov@gmail.com, oksana_naydyonova@ukr.net

Частота та інтенсивність бойових дій (війни, військові навчання та стрільбища) у всьому світі спричиняє забруднення ґрунту металами, металоїдами, вибухівкою, радіонуклідами та різними іншими токсичними хімічними сполуками. Наведені у роботі результати біологічного моніторингу території м. Чугуїв, яка забруднена вибухівкою та її похідними внаслідок озброєної агресії РФ, є обов'язковим елементом стратегії визначення шкоди (збитків), які було спричинено Україні. В лабораторії еколого-токсикологічних досліджень ННІ екології Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна було проведено серію експериментів по визначенню фітотоксичних властивостей ґрунтів з 6 моніторингових площадок, які зазнали мілітарного впливу. В якості тест-об'єкту використовували овес *Avena sativa* L. Відбір зразків ґрунту з моніторингових площадок було проведено у серпні 2024 року у різних локаціях м. Чугуїв Харківської області, яке постійно потерпає від обстрілів. За результатами проведених експериментальних досліджень було отримано наступні результати: на всіх моніторингових площадках було визначено токсичні властивості ґрунтів, а саме на чотирьох моніторингових площадках: 1, 2, 3, 6 – рівень забрудненості ґрунтів відповідав III класу (ґрунти помірно забруднені), а двох інших площадках – 4 та 5 рівень дорівнював II класу (ґрунти слабо забруднені). Постійні обстріли практично всієї території м. Чугуїв призводять до погіршення якості ґрунтового покриву і цей процес, на жаль, є довготривалим. Фізико-хімічні методи традиційно застосовуються для аналізу якості ґрунту. Однак цей підхід не повністю відображає токсичні ефекти, які суміші забруднюючих речовин можуть викликати у живих організмах. З цієї причини використання токсикологічних досліджень з використанням різних модельних організмів є важливим інструментом для з'ясування потенційно небезпечного мілітарного впливу на ґрунти. *Ключові слова*: мілітарний вплив, фітотоксичність, ґрунти, забруднення, біотестування, токсичні властивості.

Assessment of military impact on the soils of the city of Chuguiv, Kharkiv region. Krainiukov O., Krivitska I., Naidonova O., Filatov V., Matisko B.

The frequency and intensity of combat operations (wars, military operations and shooting ranges) around the world causes contamination of the soil with metals, metaloids, vibukhovka, radionuclides and various other toxic chemicals. The robot obtained the results of biological monitoring of the territory of the city of Chuguiv, which is contaminated by the vibukhovka and similar inheritances of the outbreak of aggression of the Russian Federation, and the obligatory element of the strategy significant harm (harm) caused to Ukraine. In the laboratory of ecological toxicological research of the National Research Institute of Ecology of the Kharkiv National University named after V. N. Karazin, a series of experiments was carried out to determine the phytotoxic properties of soils from 6 monitoring sites that recognized the military influx. In the core of the test object, oats *Avena sativa* L. were collected. The selection of sample soil from the monitoring sites was carried out at the sickle 2024 at various locations in the city of Chuguiv, Kharkiv region, such as is constantly suffering from shelling. The results of the experimental investigations were followed by the following results: at all monitoring sites the toxic power of soils was identified, and at four monitoring sites: 1, 2, 3, 6 – a level of obstruction. The soils are classified as class III (the soils are moderately contaminated), and the other two sites – 4 and 5 are classified as class II (the soils are slightly contaminated). Continuous shelling of almost all territories of the city of Chuguiv is carried out until the core of the ground cover is destroyed and this process, unfortunately, is completed. Physico-chemical methods are traditionally used to analyze soil bones. However, this approach does not produce the toxic effects that polluting substances can produce in living organisms. For these reasons, toxicological studies of various model organisms are an important tool for addressing the potentially dangerous militaristic influx on earth. *Key words*: militarized influx, phytotoxicity, soils, contamination, biotesting, toxic power.

Постановка проблеми. Хімічні речовини та суміші (зокрема елементи та сполуки, що не піддаються біологічному розкладанню), які використовуються у військових діях та вибухових речовинах, можуть забруднювати ґрунт і поверхневі водні об'єкти, що згодом може спричинити шкідливий вплив на здоров'я людини та навколишнє природне середовище [1, 2]. Як наслідок, зони військових дій

з інтенсивними конфліктами, військові полігони, стрільбища, а також місця виробництва/утилізації вибухових речовин і боєприпасів вважаються одними з основних джерел забруднення ґрунтів [3]. Такі приклади забруднення включають великий перелік органічних і неорганічних речовин у ґрунті та воді, які можуть становити значну небезпеку для здоров'я людини, а також для навколишнього сере-

довища. Наприклад, після потрапляння в навколишнє середовище, більшість потенційно токсичних елементів (ПТЕ) у боєприпасах окислюються під впливом повітря, особливо у вологому середовищі. Через їх підвищену розчинність вони можуть стати більш мобільними/доступними. Потенційний вплив на людину може призвести до несприятливих наслідків, включаючи пошкодження життєво важливих органів, таких як печінка та нирки, патології еритроцитів і подразнення епітеліальних тканин [3]. Протягом десятиліть великі території, що належали військовим об'єктам, залишалися значною мірою забрудненими токсичними сполуками, головним чином вибуховими речовинами та боєприпасами (та їх залишками), що містять шкідливі речовини, які можуть включати сурму (Sb), свинець (Pb), уран (U), 2, 4-динітротолуол (ДНТ), 2, 4, 6-тринітротолуол (тротил), 1, 3, 5-тринітро-1,3,5-тріазациклогексан [4]. Переважна більшість цих сполук є стійкими до біологічного розкладання або обробки і, таким чином, залишаються в біосфері, стаючи джерелом забруднення, потенційно шкідливим для здоров'я людини та навколишнього природного середовища через їх можливий токсичний ефект [5].

Актуальність дослідження. Використання вогнепальної зброї під час війни, у військовій діяльності та в рекреаційних цілях, таких як спорт і полювання, спричинило значний негативний вплив на навколишнє природне середовище. Військові дії, такі як бойові стрільби, навчання, утилізація відходів і технічне обслуговування військової інфраструктури, завдають величезної шкоди ґрунту, воді та повітрю [6]. Вплив небезпечних хімічних речовин пов'язують із такими захворюваннями, як рак, метаболічні, неврологічні, системні розлади здоров'я, пошкодження нирок та інші небезпеки для здоров'я [7]. Хімічні речовини вибухових предметів викликають глибокі зміни в тканинах рослин, включаючи стресові реакції та пригнічення життєдіяльності. Деякі сполуки вибухівки, такі як нітрогліцерин (NG) і циклоніт (RDX), можуть проникати в листя рослин і викликати серйозні шкідливі наслідки в тканинах, погіршуючи газообмін і фотосинтез. У той же час тринітротолуол (тротил) може накопичуватися у коренях, що завдає значної фізичної шкоди та порушує водообмін та фотосинтетичну діяльність [8].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Ґрунт є невідновлюваним ресурсом, і потреба запобігати його деградації стає дедалі гострішою з кожним днем. Європейська комісія включила охорону ґрунтів до числа пріоритетів 6-ї Програми дій з охорони навколишнього середовища, розробивши тематичну стратегію ґрунту (STS) у 2002 році (Комісія Європейських співтовариств, 2002) та пропозицію щодо основи захисту ґрунту в 2006 (Комісія Європейських Співтовариств, 2006).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ґрунт несе на собі основний тягар збройних конфліктів, зазнає найбільшого забруднення, тривалий час зберігає наслідки військових дій. Таким чином, оцінка ступеня руйнування та забруднення ґрунту дозволяє оцінити екологічні ризики, майбутні несприятливі наслідки для наземних екосистем та втрату екосистемних послуг [9]. Дослідники в першу чергу зосереджуються на механічному руйнуванні ґрунтового покриву, зміні фізико-хімічних властивостей ґрунтів після військових дій, забрудненні токсикантами (важкими металами, органічними сполуками тощо) та їх міграції, а також на визначенні потенційних негативних впливів на ґрунти [10].

Одним із найпоширеніших небезпечних наслідків під час збройних конфліктів і спричинених застосуванням зброї є хімічне забруднення ґрунту [11]. Зокрема, під час бойових дій у ґрунт потрапляє цілий ряд токсичних сполук, що містяться в боєприпасах різного калібру, продуктах ураження та горіння важкої техніки. Поведінка більшості цих сполук у ґрунтах недостатньо досліджена, а встановлені нормативні межі їх концентрацій у ґрунтах відсутні [12]. Тим часом все більше результатів досліджень підтверджують, що потенційні джерела викидів різних потенційно токсичних речовин у природне середовище пов'язані з військовою діяльністю та забрудненням важкими металами та визначають шляхи їх міграції та пов'язані з цим ризики для здоров'я людини та біоти [13-15].

Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Військові дії включають артилерійські обстріли та використання важкої техніки, що серйозно впливає на екологічний стан ґрунтів. Ґрунти є ключовим ресурсом для аграрної економіки України, відтак їхній стан впливає на продовольчу безпеку та економічну стабільність. Попередні дослідження вже висвітлили екологічні наслідки війни для ґрунтів інших регіонів України, однак вплив воєнних дій на ґрунти Харківщини все ще залишається недостатньо вивченим.

Методика дослідження. У навчально-дослідній лабораторії еколого-токсикологічних досліджень навчально-наукового інституту екології Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна було проведено експериментальні дослідження по визначенню впливу фітотоксичних властивостей ґрунтів на ростові показники коренів та паростків тест-об'єкта *Avena sativa* L. з 6 моніторингових площадок м. Чугуїв Харківської області. Більш детальний опис досліджуваних площадок не наведено з міркувань безпеки, зважаючи на всебічні заходи з додержання військової таємниці.

Для оцінки забруднення ґрунтів використовували показник «ступінь забрудненості ґрунтів» відповідно до визначених рівнів пригнічення ростових процесів, кількісну характеристику цього показника виражали коефіцієнтом забрудненості ґрунтів (K_{3T}),

а коефіцієнт забрудненості ґрунтів диференціювали за рівнями пригнічення ростових процесів [16].

У табл. 1 наведено класифікацію якості ґрунтів за ступенем забрудненості.

Відбір зразків ґрунтів на моніторингових площадках було проведено в серпні 2024 року на території м. Чугуїв, в місцях, які постраждали від артобстрілів. На рисунку 1 наведено територію дослідження та моніторингові площадки на території м. Чугуїв Харківської області.

Виклад основного матеріалу. Метою нашого дослідження було встановлення можливого негативного впливу забруднення токсичними речовинами, внаслідок мілітарного впливу від бойових дій на стан ґрунтового покриву території у межах м. Чугуїв Харківської області за допомогою методу біотестування.

Як видно з отриманих у серпні 2024 року експериментальних даних з моніторингових площадок на території дослідження на чотирьох моніторингових площадках: 1, 2, 3, 6 – рівень забрудненості ґрунтів відповідав III класу (ґрунти помірно забруднені), а двох інших площадках – 4 та 5 дорівнював II класу (ґрунти слабо забруднені) (рис. 2). Постійні обстріли практично всієї території м. Чугуїв призводять до погіршення якості ґрунтового покриву і цей процес, на жаль, є довготривалим.

Головні висновки. Мілітарний вплив може призвести до довгострокових екологічних проблем через постійне накопичення в ґрунті потенційно токсичних речовин. Це накопичення може зменшити міллілітність, а також кількість ґрунтових організмів, які відіграють істотну роль у процесах мінералізації та

Таблиця 1

Класифікація якості ґрунтів за ступенем забрудненості

Клас якості ґрунтів	Рівень забрудненості ґрунтів	Рівні пригнічення ростових процесів (фітотоксичний ефект), %	Ступінь забрудненості ґрунтів, $K_{зг}$
I	Незабруднені	0–20	1,1
II	Слабко забруднені	20,1–40	1,2
III	Помірно забруднені	40,1–60	1,3
IV	Брудні	60,1–80	1,4
V	Дуже брудні	80,1–100	1,5

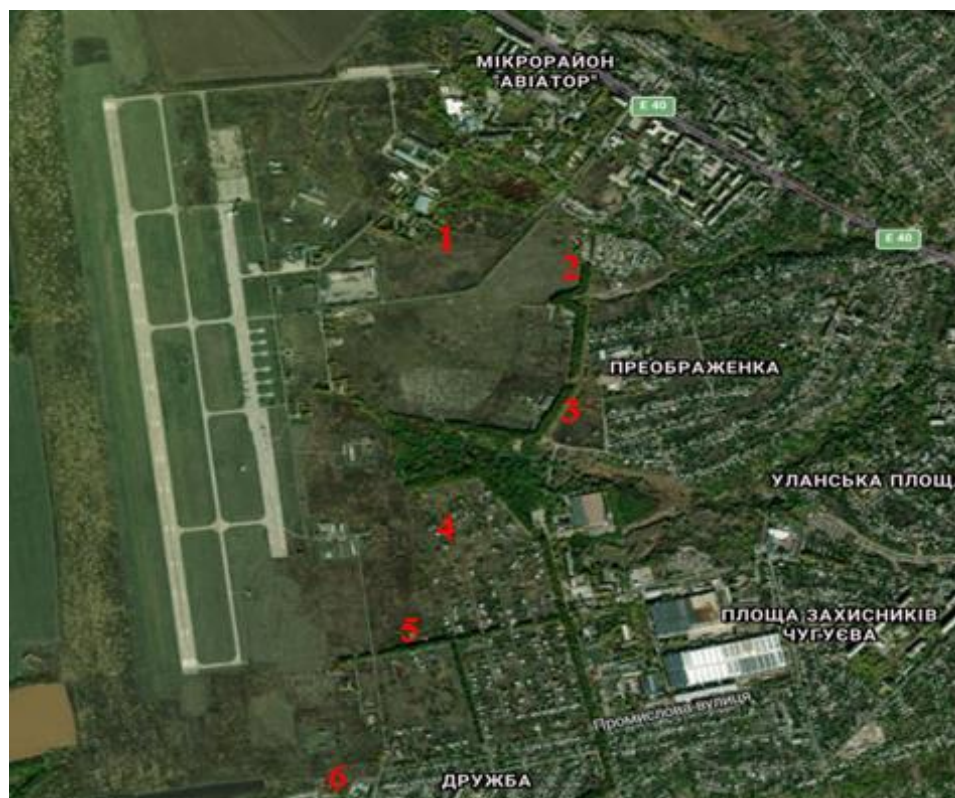


Рис. 1. Розташування моніторингових площадок на території дослідження

1–6 – моніторингові площадки

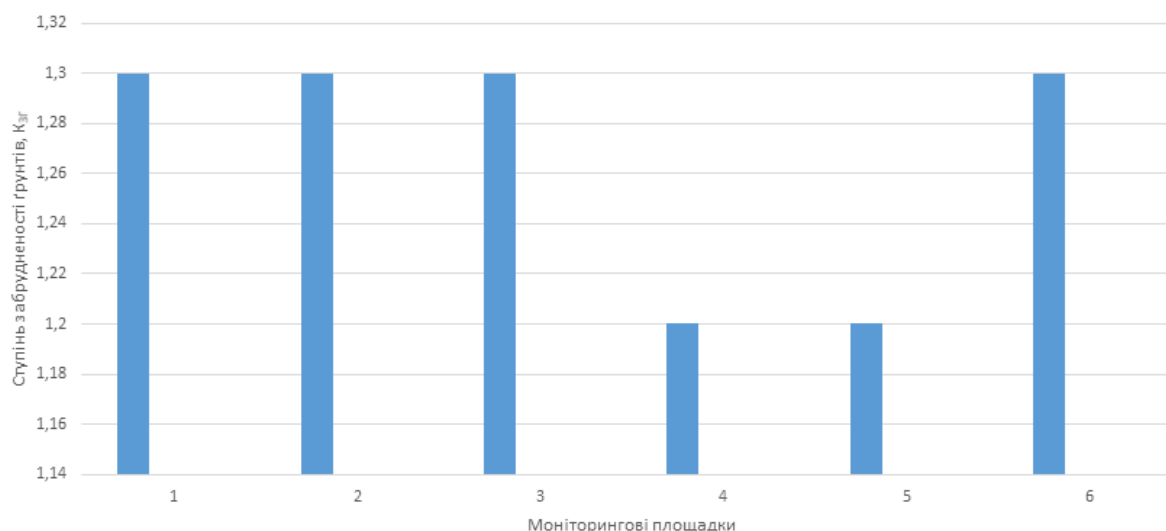


Рис. 2. Результати визначення фітотоксичних властивостей ґрунтів на моніторингових площадках у межах м. Чугуїв Харківської області, які були відібрані у серпні 2024 року

гуміфікації органічного вуглецю разом із формуванням рослинного покриву. Крім того, забруднювачі можуть переноситися в інші частини екосистеми через стік (досягаючи поверхневих або ґрунтових вод) і мігрувати вниз до профілю ґрунту.

Зважаючи на те, що тротил, як компонент вибухових пристроїв і різноманітний набір токсичних речовин, які можуть потрапляти у навколишнє природне середовище при інтенсивних обстрілах через певний час можуть становити серйозну загрозу для здоров'я людини та біотичної складової довкілля, необхідно проводити подальші моніторингові дослідження із визначення рівня забрудненості ґрунтового покриву та розробляти засоби щодо видалення цих забруднювачів з навколишнього середовища.

Перспективи використання результатів дослідження.

1. Отримані результати свідчать про наявність можливого токсикогенного ефекту після мілітарного впливу, який може викликати непередбачувані

зміни в структурі та функціях ґрунтового покриву. Подальші дослідження цих процесів мають вирішальне значення для глибшого розуміння їхнього впливу та потенційних наслідків для навколишнього природного середовища.

2. Повторні експериментальні дослідження та проведення моніторингових спостережень у м. Чугуїв одразу після закінчення активних бойових дій зможе надати змогу визначити рівень забрудненості ґрунтового покриву та надати можливість оцінити шкоду (збиток), який було спричинено довкіллю. Остаточну відповідь на питання щодо токсичності ґрунтів для біологічних об'єктів у випадку їх полікомпонентного забруднення можуть дати тільки біологічні методи дослідження стану ґрунтового покриву, адже експертним шляхом дуже важко врахувати і токсичність окремих забруднюючих речовин, і їхню поведінку в ґрунті, і буферні властивості останнього, не говорячи вже про можливість синергізму чи антагонізму хімічних елементів.

Література

- Lima, D., Bezerra, M., Neves, E., Moreira, F. Impact of ammunition and military explosives on human health and the environment. *Rev. Environ. Health*, 2011, 26, 101–110. <https://doi.org/10.1515/reveh.2011.014>
- Poesen, J. Soil erosion in the Anthropocene: Research needs: Soil erosion in the Anthropocene. *Earth Surf. Process. Landforms*, 2017, 43, 64–84. <https://doi.org/10.1002/esp.4250>
- Gorecki, S., Nesslany, F., Hube, D., Mullot, J., Vasseur, P., Marchioni, E., Camel, V., Noël, L., Le, B.B., Guérin, T. Human health risks related to the consumption of foodstuffs of plant and animal origin produced on a site polluted by chemical munitions of the First World War. *Sci. Total Environ.* 2017, 599–600, 314–323. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.213>
- Tomic, N.T.; Smiljanic, S.; Jovic, M.; Gligoric, M.; Povrenovic, D.; Dasic, A. Examining the Effects of the Destroying Ammunition, Mines, and Explosive Devices on the Presence of Heavy Metals in Soil of Open Detonation Pit: Part 1-Pseudo-total Concentration. *Water Air Soil Pollut.* 2018, 229, 301. <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3957-0>
- Fayiga, A.O. Remediation of inorganic and organic contaminants in military ranges. *Environ. Chem.* 2019, 16, 81–91. <https://doi.org/10.1071/EN18196>
- Edwards A. Assessing the effects of environmental pollutants on soil organisms, communities, processes and ecosystems, *European Journal of Soil Biology*, 2002, 38, 225-231. [https://doi.org/10.1016/S1164-5563\(02\)01150-0](https://doi.org/10.1016/S1164-5563(02)01150-0)

7. Black O., Smith S. C., Roper C. Advances and limitations in the determination and assessment of gunshot residue in the environment, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2021, 208, 111689. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111689>
8. Sanderson P., Naidu R., Bolan N. Ecotoxicity of chemically stabilised metal(loid)s in shooting range soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2014, 100, 201-208, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.11.003>
9. Zheng, F., Xiao, C., Feng, Z. Impact of Armed Conflict on Land Use and Land Cover Changes in Global Border Areas. *Land Degrad. Dev.* 2023, 34, 873–884. <https://doi.org/10.1002/ldr.4502>
10. Symochko, L., Pereira, P., Demyanyuk, O., Coelho Pinheiro M.N., Barcelo, D. Resistome in a Changing Environment: Hotspots and Vectors of Spreading with a Focus on the Russian-Ukrainian War. *Heliyon*. 2024, 10, e32716. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32716>
11. Harada, K.H., Soleman, S.R., Ang, J.S.M., Trzcinski, A.P. Conflict-Related Environmental Damages on Health: Lessons Learned from the Past Wars and Ongoing Russian Invasion of Ukraine. *Environ. Health Prev. Med.* 2022, 27, 35. <https://doi.org/10.1265/ehpm.22-00122>
12. Baliuk, S.A., Kucher, A.V., Solokha, M.O., Solovei, V.B., Smirnova, K.B., Momot, H.F., Levin, A.Y. *Impact of Armed Aggression and Hostilities on the Current State of the Soil Cover, Assessment of Damage and Losses, Restoration Measures: Scientific Report*; Brovin: Kharkiv, Ukraine, 2022; 102 p.
13. Крайнюков О. М., Кривицька І. А., Найдьонова О. Є. Проненко М.О. Використання різних біотестів для встановлення токсикологічних властивостей компонентів довкілля. Scientific multidisciplinary monograph. «*Science and innovation in the modern world*», 2024, с. 214-218.
14. Крайнюков, О., Кривицька, І., & Найдьонова, О. Еколого-токсикологічна оцінка якості ґрунтів території Харківського району Харківської області. Український журнал природничих наук, 2024 7. 25-32. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.7.2024>
15. Solokha, M., Demyanyuk, O., Symochko, L., Mazur, S., Vynokurova, N., Sementsova, K., & Mariychuk, R. Soil Degradation and Contamination Due to Armed Conflict in Ukraine. *Land*. 2024, 13(10), 1614. <https://doi.org/10.3390/land13101614>
16. Кривицька І. А. Діагностика та моніторинг забруднення ґрунтів важкими металами в урбанізованих ландшафтах Приазов'я : дис. ... канд. біол. наук : 03.00.18. Харків, 2020. 187 с.

ПРОБЛЕМАТИКА ПІСЛЯВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ ЕКОСИСТЕМ: СВІТОВИЙ ДОСВІД ТА УКРАЇНСЬКІ ПЕРСПЕКТИВИ

Маслак-Гудима Н.П.¹, Гудима О.А.²

¹Технічний Центр Національної академії наук України
вул. Покровська, 13, 04070, м. Київ

²Міжнародний благодійний фонд «Добробут громад»
вул. М. Максимовича, 3Г, оф. 484, 03022, м. Київ
ganastas@protonmail.com, agudyma@protonmail.com

Емпірична та статистична інформація останніх десятиріч вказує на те, що на планеті стрімко розвивається процес становлення нового суспільства, в якому все більшу актуальність здобувають питання визначення екологічної безпеки. В цьому новому соціумі формуються і розвиваються нові соціальні відносини, конфігурація яких суттєво відрізняється від структур індустріальних, постіндустріальних, постмодерних суспільних систем. Причому дані відносини детермінуються цими суспільствами та відтворюють в лінійних та нелінійних залежностях якості глобального соціуму – нові можливості, нові виклики та протиріччя. У статті представлено узагальнене дослідження впливу воєнних конфліктів як критичної фази розвитку суспільства на екологію. Питання забезпечення післявоєнного відновлення територій, що постраждали внаслідок бойових дій, є однією з найактуальніших проблем сучасності. Проаналізовані кейси з передового світового досвіду, які є наочними прикладами успішного відновлення екосистем, що постраждали внаслідок бойових дій. На базі аналізу шкоди, завданої бойовими діями, окремим територіям України, висвітлено окремі нагальні проблеми післявоєнного відновлення на засадах сталого розвитку, актуальні на подальшу перспективу. Представлено проект організаційного механізму післявоєнного відновлення, що передбачає створення єдиного координаційного центру – Української Еко-Платформи, який би об'єднав зусилля всіх основних зацікавлених сторін – державних інституцій, міжнародних організацій, наукового-експертної спільноти та громадянського суспільства. Розглянуто перспективи участі науковців у вирішенні питань екологічної безпеки на міжнародному рівні. *Ключові слова:* військова екологія, екологічна безпека, техногенна катастрофа, екоцид, сталий розвиток, екосистема, післявоєнне відновлення, екологічний моніторинг.

Problems of the post-war ecosystems restoration: worldwide experience and ukrainian prospects. Maslak-Hudyma N., Hudyma O.

Empirical and statistical information of the last decades reflects, that the Earth is facing intensely developing process of a new society establishment, which is more and more demanding towards environmental security issue. This new socium forms and develops new social relations, which are substantially differently configured in comparison with structures of industrial, post-industrial and post-modern societal systems. Moreover, these relationships are being determined by such societies and in kind of linear and non-linear dependencies reproduce the qualities of global socium – new possibilities, challenges and contradictions. Current article conducts generalized research of the warfare conflicts influence as a critical phase of the societal development on the ecology. The issue of post-war restoration of the damaged territories is one of the most crucial problems of modern times. The best world practices of post-war restoration of the ecosystems suffered from conflicts, which are successful examples of the ecosystems replenishment, have been analyzed. The most critical issues of post-war restoration on the sustainable basis, crucial for Ukraine, have been highlighted. Project of the organizational mechanism of post-war restoration, which foresees creation of the unified coordination center – Ukrainian Eco-Platform, embracing efforts of all parties involved – state authorities, international institutions, scientific-expert society and the civil society, has been presented. Prospects of involving scientists into resolving issues of the environmental safety at the international level have been considered. *Key words:* warfare ecology, environmental safety, technological disaster, ecocide, sustainable development, ecosystem, post-war restoration, ecological monitoring.

Постановка проблеми. Питання забезпечення ефективного післявоєнного відновлення вже багато років залишається на порядку денному вчених, управлінців та громадян різних країн світу. Проблема післявоєнного відновлення екосистем, що постраждали внаслідок бойових дій, істотно ускладнюється її багатофакторністю, адже згубного впливу зазнають унікальні за характеристиками території, кожна з яких має власний ландшафт, своєрідне соціо-економічне та етнічно-культурне середовище, притаманне лише їй. Особливо важливо забезпечити гармонізацію процесу відновлення з основними

цілями сталого розвитку, що є запорукою успішного досягнення і збереження стану природної рівноваги екосистем. З огляду на багатовекторність діяльності сторін, залучених до післявоєнного відновлення, досягнення належних результатів з відродження екосистем, постраждалих внаслідок бойових дій, вимагає застосування такого організаційного механізму післявоєнного відновлення, що сприяв би створенню і функціонуванню єдиного центру з координації заходів відновлення на засадах сталого розвитку.

Актуальність дослідження. Незважаючи на передові досягнення науково-технічного прогресу

і еволюцію людської спільноти, у всьому світі постійно розв'язуються військові конфлікти. Значні суми коштів, що витрачаються сторонами-комбатантами на підготовку та ведення бойових дій замість гарантування безпеки і підтримки розвитку у віддаленій перспективі не тільки спричиняють значні людські і економічні втрати, а і завдають нищівної шкоди довкіллю. У даному контексті постає необхідність забезпечення успішного відновлення екосистем, що постраждали внаслідок бойових дій, до стану їх природної рівноваги на основі принципів сталого розвитку. При цьому актуальними є питання аналізу і синтезу передового світового досвіду з відновлення таких територій, залучення напрацювань та досвіду вітчизняної науково-експертної спільноти, знань і навичок місцевих громад, та забезпечення ефективної всеохоплюючої координації процесів післявоєнного відновлення.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими працями і практичними завданнями. Беручи до уваги європейський вектор розвитку України, що має забезпечити державі чільне місце серед провідних країн світової спільноти, перед учасниками процесу післявоєнного відновлення стоїть важливе завдання – забезпечення відповідності всіх заходів, що здійснюються у даній площині, основним принципам сталого розвитку, що окреслені як Цілі сталого розвитку ООН.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У вступній частині статті під час проведення короткого екскурсу в історію військових конфліктів використано матеріали таких іноземних дослідників, як: Т. Shackelford, W. Hamblin, та Т. Petterson. Здійснюючи аналіз природи військових конфліктів автори керуються підходом провідних зарубіжних вчених у галузі військової екології – G. Machlis та Т. Hanson. Стосовно успішного світового досвіду післявоєнного відновлення територій, що постраждали внаслідок бойових дій, авторами здійснено ретельний аналіз численних кейсів з наукових праць вчених всього світу, серед яких: J. Stellman, M. Gurses, C. Richardson, A. Takshe, T. Husain, V. Butsic, K. Stevens, A. Sanchez-Cuervo, E. Ordway, P. Johnston, P. Le Billon, J. Daskin, N. Baral, M. Chase, S. Crayne, M. Hagenlocher, A. Braun, J. Hughes, E. Martini, M. Horvat, P. Waeber, L. Zulu, D. Fahey, A. Plumtre, P. Smallwood, P. Negret, E. De Merode, K. Conca, S. Langer, E. Moore, M. Jacobs, J. Waugh, K. Nirmal, K. Barquet, Y. Kakabadse, A. Gritchling, K. Kim, D. Shin, A. Linell, N. Mubokoko, A. Bradshaw, D. Suarez. Більш детальну інформацію з напрацювань згаданих дослідників наведено нижче за текстом. У відповідних розділах з питань оцінки поточного стану територій України, що постраждали внаслідок бойових дій та заходів, що вживаються у даній площині, автори статті спираються на актуальні матеріали Кабінету Міністрів України, Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України,

Міністерства розвитку громад та територій України, Агентства відновлення України, Національної ради з відновлення України, Національної електронної науково-інформаційної системи «Наука». При розгляді питання аналізу шкоди, заподіяної агресором, використані посилання на останні числові дані, представлені в офіційних прес-релізах НАН України та Українського національного інформаційного агентства «Укрінформ». Основна частина наведених у статті цифрових та статистичних показників базується на інформації, доступній на глобальній інформаційній статистичній платформі Statista, у звітах Світового Банку та наданій Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України. Під час розгляду питання оцінки ступеню забруднення ґрунтів автори посилаються на методики розрахунку вітчизняних вчених НТУ «КПІ ім. І. Сікорського» – Г. Статюхи та ін., а також казахських дослідників Ф. Козибаєвої та ін. При проведенні даного дослідження, автори керуються положеннями низки основоположних конвенцій та інших релевантних міжнародних документів у сфері захисту довкілля, що доступні для ознайомлення на веб-порталах відповідних міжнародних організацій.

Новизна. За підсумками проведеного аналізу світового досвіду окреслюється принципово новий, контекстно-орієнтований підхід до післявоєнного відновлення, що дозволить привести постраждалі від наслідків бойових дій екосистеми, до стану природної рівноваги.

Методологічне або загальнонаукове значення. Очікується, що запропонований організаційний механізм післявоєнного відновлення, стане комплексним оптимізуючим фактором, який забезпечить об'єднання зусиль всіх зацікавлених сторін – органів державної влади різного рівня, провідних міжнародних інституцій, науково-експертної спільноти та громадянського суспільства задля забезпечення ефективного післявоєнного відновлення постраждалих територій.

Викладення основного матеріалу. Емпірична та статистична інформація останніх десятиріч вказує на те, що на планеті стрімко розвивається процес становлення нового суспільства, в якому все більшу актуальність здобувають питання визначення екологічної безпеки. В цьому новому суспільстві формуються і розвиваються нові соціальні відносини, конфігурація яких суттєво відрізняється від структур індустріальних, постіндустріальних, постмодерних суспільних систем. Причому дані відносини детермінуються цими суспільствами та відтворюють в лінійних та нелінійних залежностях якості глобального соціуму- нові можливості, нові виклики та протиріччя.

Сучасне суспільство у своєму намаганні встановити контроль над природою опинилося в ситуації, коли функціонування штучно створеної техносфери спричинило спочатку цілий ряд проблем планетар-

ного характеру, а потім набуло критичного вектору розвитку з виникненням катастрофічних ситуацій. Протиріччя першого типу – між людиною та природою та протиріччя другого типу – між спільнотами в межах соціуму почали спричиняти соціальні, екологічні та техногенні катастрофи. Як правило, суспільства та спільноти в критичних точках розвитку мають декілька можливих шляхів змін – від розпаду до сталого розвитку. Перехід (стрибок) з одного стану розвитку системи в інший за науковою типологією вирізняє 4 типи катастроф:

- Природні (спричиняються активністю стихійних сил природи);
- Екологічні (виникають завдяки локальним та планетарним дисфункціям біосфери);
- Техногенні (виникають завдяки критичним неузгодженням у взаємодії елементів систем людина-машина);
- Гуманітарні – виникають через помилки в плануванні управління чи свідому цілеспрямовану діяльність, яка руйнує соціальні спільноти та державні системи.

Останній тип катастроф веде до значних людських втрат, деградації демографічної та соціальної структур суспільства, руйнування духовності та проявляється у бунтах, революціях, а також у воєнних конфронтаціях. Причому конфлікти за територію, ресурси та соціальний статус були притаманні людству з давніх часів. Найбільш ранні документовані свідчення міжгрупових зіткнень (у сучасному розумінні бойових дій) охоплюють період Мезоліту (орієнтовно 7500-8500 рр. до Різдва Христового) або навіть більш ранні часи [1]. Армії, фортифікації та окремі клас професійних воїнів стали звичним явищем у Бронзовому Віці (близько 3300-1600 рр. до Різдва Христового), у часи, коли міста-держави проводили політику групового захисту та завоювання [2].

Незважаючи на прогрес, у світі регулярно розв'язуються нові військові конфлікти, і питання військової стратегії, тактики та технологій виробництва зброї досі лишаються актуальними. Тільки за період 2000-2014 рр. в світі відбувалося в середньому 35 активних конфліктів на рік, число людських жертв у яких сягнуло більш, ніж 520 тис. осіб [3]. Провідні країни світу витрачають значні суми коштів на безпеку та оборону. Так, за даними глобальної інформаційної платформи Statista [4], у 2023 р. на дані цілі США було виділено 916 млрд. дол. США, Китаєм – 296 млрд., Індією – 83,6 млрд., Великою Британією – 74,9 млрд., Німеччиною – 66,8 млрд., Японією – 50,2 млрд., Південною Кореєю – 47,9 млрд. Проте, незважаючи на значні суми коштів, виділені на військові цілі провідними країнами світу, питанню післявоєнного відновлення на превеликий жаль все ще приділяється недостатньо уваги. А тим часом зміна навколишнього середовища внаслідок бойових дій включає вплив значної кількості радіоактивних

відходів, свинцю, залишків пального та вибухових речовин. Зазначені сполуки часто довго зберігаються та здійснюють свій згубний вплив на флору і фауну через забруднену землю та ґрунтові води. Тому необхідно здійснювати постійний екологічний моніторинг на всіх стадіях розвитку конфлікту.

Доцільно звернути окрему увагу на точку зору провідних зарубіжних експертів в галузі *військової екології* стосовно природи військових конфліктів, які розглядають ці явища як дещо більше, аніж спорадичні виверження жорстокості. Так, за концепцією G. Machlis та T. Hanson [5], війна являє собою неперервний процес, що складається з трьох основних стадій, які розгортаються послідовно: підготовка (розробка та виробництво зброї та військова підготовка), бойові дії (безпосередньо період військового конфлікту) та післявоєнні заходи (відбудова та відновлення). Протягом всіх трьох згаданих стадій відбувається комплексний багатофакторний вплив на екосистему.

Стадія бойових дій. Безпеківі, гуманітарні та політичні виклики, що виникають внаслідок бойових дій створюють особливі складнощі для збереження здорового стану довкілля. Норми законів та інших нормативно-правових актів (НПА) в екологічній сфері частково або повністю ігноруються сторонами конфлікту під час бойових дій, а проекти зі збереження довкілля у місцях зіткнень або довкола них зазвичай відкладаються на невизначений термін. Території, які мають захищений статус, та інші природні ландшафти часто використовуються комбатантами як укриття та знаходяться в зоні безпосереднього ураження, спричиняючи евакуацію населення та інфраструктури, часткового або повного припинення місцевого врядування.

Якщо невеликі конфлікти обмежено впливають на навколишнє середовище, то бойові дії ширшого масштабу згубно впливають на природу цілого регіону. Найбільш відомі приклади відносяться до часів В'єтнамської війни, коли повітряні сили США застосували сумнозвісний «Агент Оранж» на території у більш, ніж 2,6 млн. га тропічних лісів та прибережних мангрових ділянок [6], тактику з недостатньо оціненими на той час наслідками. Серед ряду інших прикладів знищення локальних екосистем доцільно звернути увагу на випадки планомірних підпалів лісів турецькими військовими з метою усунення можливого прикриття для курдських повстанців [7] та осушення болотяних угідь у Месопотамії в 1990 рр. режимом Саддама Хусейна з метою придушення спротиву місцевої арабської спільноти [8].

Різноманітні забрудники довкілля можуть використовуватись у якості зброї, зокрема ураження ємностей для зберігання пального збройними силами Ізраїлю під час Ліванської війни 2006 року [9], або підпал Кувейтських нафтових полів та навколишньої інфраструктури відступаючими іракськими військами під час Війни у Перській Затоці 1991 р. [10].

Перший випадок спричинив утворення нафтової плями довжиною 100 км біля узбережжя Лівану, що стала наслідком загибелі птахів та значної шкоди, завданої місцевій морській флорі та фауні [11]. Випадок у Кувейті спричинив забруднення повітря в масштабі цілого регіону та найбільшій наземний виток нафти в історії [10].

Оскільки зона бойових дій має підвищену небезпеку, дослідники не завжди здатні безпосередньо оцінити ступінь згубності їх впливу на довкілля. Одним з найбільш дієвих методів залишається дослідження супутникових знімків, що застосовувався зокрема під час аналізу шкоди, заподіяної лісовим масивам Конго [12], Нікарагуа [13], Колумбії [14] та Руанди [15], та оцінки потенціалу їх відновлення.

Військова спроможність часто підтримується шляхом нелегальної заготівлі лісу, видобутку корисних копалин та екстракції інших ресурсів, завдаючи непоправної шкоди природним багатствам на територіях, захищених законом. У якості прикладів доцільно навести неконтрольовану торгівлю лісом та діамантами під час громадянських воєн у Ліберії, С'єра-Леоне та інших подібних місцевостях та експорт пального силами ІДІЛ під час їхньої окупації нафтових полів у Сирії та Іраку [16, 17]. Внаслідок забруднення довкілля від подібних дій тварини як втрачають ареали проживання, так і безпосередньо гинуть. Ретельне дослідження великих популяцій ссавців у заповідних зонах Африки, проведене J. Daskin та R. Pringle [18], встановило, що будь-який військовий конфлікт, навіть незначний, був найбільш вагомим чинником зниження популяцій протягом 1946-2010 рр. Під час Непальської війни 1996-2006 рр. повстанці не тільки брали участь у нелегальній торгівлі тваринами, а й мали прибуток від продажу с/г культур, рідкісних медичних грибів і рослин [19]. Систематичне полювання на африканських слонів задля видобутку слонової кістки дозволило фінансувати конфлікти в Анголі [20] та Південному Судані [21].

Часто мігранти, не маючи свободи вибору, вимушені заготовляти ресурси там, де здатні їх знайти. У 1994 р. Близько 850 тис. біженців від Руандської громадянської війни мешкали всередині або біля Національного парку «Вірунга» у сусідньому Заїрі (наразі Демократична Республіка Конго), що призвело до повної або часткової вирубки лісів на площі приблизно 300 кв. км. Потреба у дровах, деревному вугіллі та будівельних матеріалах призвела до подібних втрат лісових угідь біля поселень внутрішньо-переміщених дарфурів у Судані [22], біженців з Сомалі у Кенії [23].

Стадія післявоєнної відбудови. Згубний вплив бойових дій на родючість земельних угідь відомий здавна – так, ще грецький вчений та філософ Теофраст відзначив, що колишні поля боїв згодом дають рідкі та хворобливі сходи [24]. Післявоєнне відновлення включає тривалі біологічні та соці-

альні заходи відносно безпосередніх наслідків бойових дій.

Відновлення ландшафтів, що постраждали внаслідок бойових дій часто включають масштабні очисні заходи, які варіюються від прибирання мін та залишків боєприпасів до рекультивациі ділянок, забруднених під час виробництва амуніції, її тестування та складування. Так, за даними E. Martini [25], ділянки, що використовувалися для військових цілей, складають більш, ніж 10% так званого “Суперфонду” ділянок, що потребують рекультивациі на території США. Ушкодження, яких зазнали поля боїв, можуть справляти свій згубний вплив на довкілля досить тривалий час після завершення бойових дій. Дослідженнями M. Horvat [26] встановлено, що водорості, безхребетні тварини та риба у Словенській річці Ізонцо досі містять значні надлишки ртуті від боєприпасів, які детонували поблизу ще за часів Першої Світової війни. Одним з найбільш значущих післявоєнних факторів впливу на довкілля є зростання екстракції ресурсів. Значна кількість корисних копалин та інших ресурсів, які допомагають підживлювати конфлікти, може бути витрачена пізніше з метою відновлення, підтримки різноманітних політичних заходів або досягнення *екстенсивних* цілей розвитку. Яскравими прикладами є стрімке зростання заготівель рожевого дерева після заколоту в Мадагаскарі 2009 року [27], а також післявоєнний бум видобутку корисних копалин у С'єра-Леоне та Демократичній Республіці Конго [28, 29].

Післявоєнний період є критичним для наукового та професійного втручання у планування післявоєнного відновлення. Рішення, прийняті під час відновлення та реконструкції часто формують майбутню екологічну політику відносно широкого кола природничих питань від управління земельними ресурсами до ведення сільського, лісового та рибного господарства на раціональних засадах. Пріоритети розвитку та відновлення часто перетинаються з питаннями збереження довкілля, але біологічні ризики можуть бути належним чином врегульовані шляхом забезпечення узгодження з Цілями сталого розвитку [30]. Так, обґрунтування можливості отримання постійного доходу від еко-туризму допомогло запобігти будівництву автодороги через Національний Вулканічний Парк у післявоєнній Руанді [31]. Підтримка сталого розвитку може здійснюватися шляхом узгодження з політичними та культурними пріоритетами. Таким чином здійснювалося відновлення Месопотамських водно-болотних угідь у післявоєнному Іраку водночас як місця проживання місцевої арабської спільноти та домівки для багатьох видів місцевої флори і фауни [8]. Так само, заходи, своєчасно вжиті Афганським урядом, сприяли прийняттю Плану Національної Системи Захисту та започаткуванню першого національного парку [32]. Відповідні дії з урахування цілей розвитку біорозмаїття у планах післявоєнного відновлення сільського

господарства застосовані у Колумбії, де територія, контрольована Ліворадикальним повстанським екстремістським угрупованням (FARC) залишалася поза балансу земельних угідь протягом більше п'ятдесяти років [33]. Дослідження подібних ситуацій у Центральній Африці [18, 34] свідчать про успішний досвід застосування заходів збереження довкілля під час конфліктів. Навіть застосування таких заходів на мінімальному рівні дає можливість в деякій мірі забезпечити сталість екосистем.

Посилення миротворчих зусиль у площині захисту довкілля передбачає належну організацію та розвиток співпраці як на місцевому, так і на міжнародному рівнях. Програма ООН з Довкілля на регулярній основі проводить післявоєнну оцінку територій, що постраждали внаслідок бойових дій, і відповідно багато заходів гуманітарного та відновлювального характеру являють собою підтримку подальшого сталого розвитку, враховуючи пріоритети захисту довкілля [35]. Успішні приклади включають заходи з відновлення лісів біля таборів біженців у Танзанії [36] та Камеруні [37], а також місцеве залучення в питання післявоєнного відновлення та управління заповідними територіями в Ефіопії [38], Ліберії [39] та Непалі [40]. Також, варто окремо згадати буферні зони, створені поза межами заповідних територій у загальноприйнятому сенсі, у яких захист довкілля є відправною точкою для післявоєнного компромісу та кооперації [41]. Так, після Перуансько-Еквадорського конфлікту Альто-Сенепа 1995 р., мирний договір передбачав створення прилеглих заповідних територій вздовж спірного кордону у гірському масиві Кордильєра-дель-Кондор [42]. Подібні заходи з консервації пропонуються і для інших місцевостей, де наявні подібні природні бар'єри – Буферна Зона Зеленої Лінії на території Кіпру [43] та Корейська Демілітаризована Зона [44].

Незважаючи на всі негативні наслідки, наявність територій, що постраждали внаслідок бойових дій, такі як місця бойових зіткнень, зони, що зазнали бомбардувань та землі, засмічені мінами є рушійною силою у генерації креативних ідей, які лягають в основу перспективних проектів майбутнього відновлення екосистем. Тут у якості прикладу необхідно навести детально обґрунтовану пропозицію D. Shin [45] відносно розбудови ботанічного саду на території Корейської демілітаризованої зони. Іншим прикладом є створення транскордонної заповідної зони Каванго-Замбезі [46], що є найбільшою заповідною територією Африки і охоплює територію п'яти країн: Анголи, Ботсвани, Замбії, Зімбабве та Намібії. В окремих випадках, так звані «парки миру» можуть сприяти вирішенню конфліктів – зокрема, роль заповідного коридору Кондор-Кутуку у вирішенні Еквадорсько-Перуанського конфлікту 1995-98 рр. [47].

Орієнтація на досягнення Цілей сталого розвитку [30] зумовлює поступове зростання впливу

відповідальності за захист природних ресурсів як невід'ємної складової сучасної військової доктрини. Окрім солідарних в цьому плані стандартизованих документів командування країн НАТО, слід згадати як приклад роль Армійського командування США в Африці у забезпеченні готовності до подолання наслідків стихійних лих, розбудові ефективного безпекового співробітництва та підвищенні інституційної спроможності [48].

Сучасні українські реалії. Бойові дії, що розпочалися на теренах України 24 лютого 2022 р., є ударом світового масштабу, що сколихнув усю Європу та негативним чином вплинув на значну кількість потоків глобальної взаємодії. Стало зрозуміло, наскільки нестійкою є колективна система безпеки, наскільки проникними та відносними є кордони у глобальному світі. Відтепер ніхто не може вважати себе достатньо віддаленим чи захищеним. Адже рівновага між системою законів суспільства та моральними пріоритетами особистості є не менш суттєвим фактором сталості, ніж економіка, фінанси та здоров'я. Інакше кажучи, завдання досягнення сталості глобального світу, особливо в умовах постійних змін, має вирішуватись як у матеріальному, так і у ментальному планах. Без розуміння цього факту сталий розвиток неможливий.

Для підтримки екологічно стійкого соціально-економічного розвитку цивілізації слід ретельно фіксувати випадки порушення міжнародного законодавства в сфері захисту довкілля. Здійснюючи аналіз екологічних катастроф у світовому форматі, неможливо не розглянути приклади жорсткого порушення російською армією існуючих міжнародних угод, зокрема, Женевських конвенцій [49], Конвенції «Про захист Чорного моря від забруднення» [50], Конвенції Європейської економічної комісії ООН «Про охорону та використання міжнародних водотоків та міжнародних озер» [51], Рамсарської конвенції «Про водно-болотні угіддя» [52] та багато інших, що завдає непоправної шкоди довкіллю в Україні і загрожує здоров'ю населення.

Одним з найбільш вражаючих прикладів є Каховська трагедія. За оцінкою Мінприроди України, підлив греблі Каховської ГЕС 6 червня 2023 р. є найбільшою техногенною катастрофою світу за останні десятиліття. Внаслідок затоплення територій нижче за течією Дніпра постраждало 150 тис. га природоохоронних територій, 64 тис. га лісу, 17 мисливських угідь площею 403 тис. га [53]. 18 червня Каховське водосховище фактично припинило існування. За даними науковців, відбулося утворення роз'єднаних водойм сумарною площею менше 1/3 водосховища (655,9 км²) з тенденцією до скорочення площі водної поверхні, що унеможливило виконання водоймою її функцій [54]. За даними ООН відбулося порушення водопостачання для понад 700 тис. населення. Внаслідок затоплень у воду потрапили хімікати, пально-мастильні мате-

ріали, рештки мертвих тварин, відходів з каналізаційних мереж, боєприпаси та міни [55]. Масштабний аварійний скид води з водосховища завдав збитків екології Чорного моря, яка і так страждає внаслідок бойових дій в самій акваторії моря, що призводить до масової загибелі численних видів фауни. Крім того, знищення промислової інфраструктури Маріуполя зумовило потрапляння хімікатів та пально-мастильних матеріалів до Азовського та Чорного морів. Екоцид також здійснюється відносно прісних водойм Приазов'я. Перекриття течії та неконтрольоване скидання хімічних речовин спостерігається на річці Кальміус та її притоках. Схожі процеси відбуваються і на річці Берда (Бердянський р-н).

До переліку найбільш постраждалих під час повномасштабного вторгнення територій слід віднести 44% площі об'єктів природно-заповідного фонду вищої категорії охорони [56]. Зокрема, у березні 2023 р. окупанти остаточно захопили владу над заповідником «Асканія-Нова» (Херсонська обл.) й з того часу перетворили його на режимний об'єкт [57].

Не менш вагомим фактом небезпеки є постійна загроза українським ядерним об'єктам з боку агресора. Так, у 2022-2024 р. неодноразово зазнавав обстрілів і бомбардування Харківський фізико-технічний інститут, на базі якого працює ядерна установка «Джерело нейтронів». За словами керівника обласної прокуратури О. Фільчакова [58], в разі пошкодження установки зона радіаційного ураження може охопити територію в радіусі 10 км навколо об'єкта (14 населених пунктів з більш, ніж 640 тис. населення). Крім того, 19 вересня 2022 р. російські війська здійснили ракетний обстріл промислової зони Південноукраїнської АЕС. За інформацією МАГАТЕ, ракета вибухнула за 300 метрів від ядерного реактора [59]. В разі катастрофи в зоні безпосереднього ураження може опинитися як мінімум 327 тис. населення Вознесенського та Первомайського районів Миколаївської обл. з наступним можливим поширенням зони радіоактивного забруднення на всю південно-західну частину України.

Хоча російсько-українська війна ще не завершена, державними органами різного рівня вже здійснюються окремі заходи, що або мають безпосередній стосунок до відновлення, або сприяють належній фіксації злочинів агресора та моніторингу наслідків бойових дій. Так, станом на 2024 р. успішно впроваджені і функціонують платформа «Екозагроза» (Міндовкілля та Мінцифри) [60], призначена для автоматичного збору та фіксації інформації про екологічні загрози в режимі реального часу, з географічною прив'язкою до місцевості; чат-бот «ЕкоШкода» (Держекоінспекція) [61], створений для фіксації збитків заподіяних довкіллю України військами окупанта. Також, Президентом України, Верховною Радою, Кабінетом Міністрів та Мінцифри розроблено План відновлення України, який представлено на державному веб-порталі [https://recovery.](https://recovery.gov.ua/)

gov.ua/ [62] До розробки Плану активно долучалася Національна рада з відновлення України від наслідків війни, консультативно-дорадчий орган при Президентові України, створена 21 квітня 2022 р. [63]. В площині відбудови впроваджено Державну цифрову екосистему Dream (Мінінфраструктури та Агентство Відновлення), що призначена для підзвітнього управління відновленням, і створює цифровий шлях для всіх основних проєктів відбудови [64]. В площині захисту довкілля Україна є активним учасником міжнародного науково-технічного співробітництва, зокрема Програми LIFE [65]. Програма з загальним бюджетом 5,4 млрд Євро розрахована на 2021-2027 рр. і передбачає чотири основні напрями: природа та біорізноманіття; циркулярна економіка та якість життя; пом'якшення наслідків зміни клімату та адаптація; перехід до чистої енергії. Також, на полях Міжнародної конференції ООН зі зміни клімату (COP28) між Україною та Великою Британією підписано Меморандум про співпрацю з питань відновлення лісів та нацпарків (Міндовкілля) [66].

Водночас, варто наголосити, що застосування розглянутих вище світових напрацювань вимагає *контекстно-орієнтованого підходу*. З огляду на багатовекторність діяльності сторін, прямо або опосередковано залучених до післявоєнного відновлення України, є доцільним запропонувати такий організаційний механізм відновлення, що передбачав би створення **єдиного координаційного центру**.

Проєкт запропонованого вище механізму схематично відображено на **Рис. 1**, де у загальному вигляді представлено проєкт схеми Української Екоплатформи відновлення екосистем, що постраждали внаслідок бойових дій (далі – Платформа). Саме Платформа є багатофункціональним засобом для забезпечення координації заходів, здійснюваних державними інституціями, громадянським суспільством та міжнародними організаціями, щодо післявоєнного відновлення територій, що постраждали внаслідок бойових дій, за активної участі науково-експертної спільноти. Платформа покликана доповнити вже існуючі в даній площині інструменти (інші системи, платформи, портали, електронні канали зв'язку, розглянуті вище, або подібні за функціоналом) шляхом створення загальнонаціонального координаційного центру.

Елементи Платформи пов'язані між собою як прямими, так і непрямыми зв'язками (через проміжні ланки). Крім того, центральним компонентом Платформи є дворівневий Координаційний центр, завданням якого є акумулювання і перенаправлення інформаційних потоків, згенерованих внаслідок її діяльності. Перший рівень являє собою секретаріат (до складу якого на виборчих засадах входять ключові представники організацій-учасників платформи), що здійснює безпосереднє управління Платформою, зокрема шляхом регулярної організації засідань учасників. Другий рівень має допоміж-

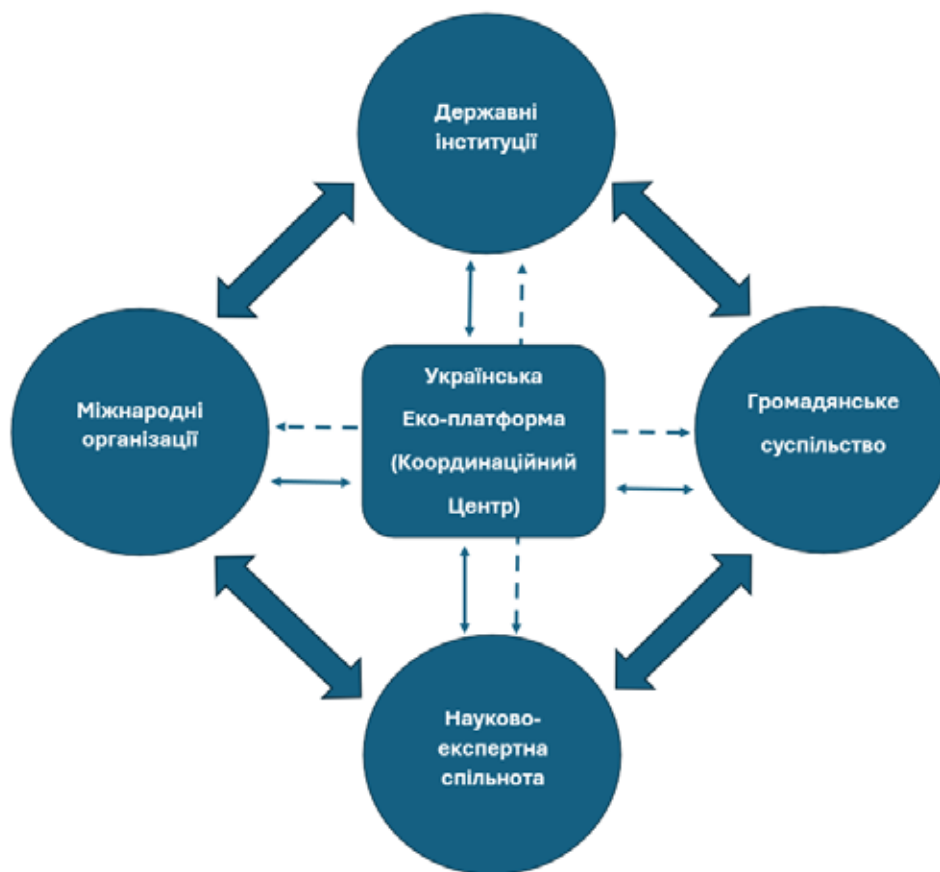


Рис. 1. Схема Української Еко-платформи відновлення екосистем

ний характер і являє собою веб-портал, що дозволяє як учасникам Платформи, так і небайдужим громадянам, в режимі реального часу обмінюватись інформацією, що може бути корисною для відновлення територій, які постраждали внаслідок бойових дій.

Очікується, що в разі її успішного впровадження на теренах України, Платформа стане ефективним та дієвим механізмом відновлення екосистем, що постраждали внаслідок російської агресії, у чіткій відповідності до Цілей сталого розвитку [32]. Причому, з огляду на наявну проблему зміни клімату і, відповідно, нові виклики, діяльність Платформи може не обмежуватись питаннями післявоєнного відновлення, і бути продовженою після їх вирішення.

Перспективи. 22 вересня 2024 р. ООН було ухвалено Пакт майбутнього – план подолання викликів, які постають перед людством [67]. Даний документ містить 56 пунктів (дій), охоплюючих всі напрямки – від миротворчих дій до потенційних викликів, які несе штучний інтелект. Складовими плану є сталий розвиток, міжнародна безпека, співробітництво в галузі науки, технологій та інновацій, проблеми майбутніх поколінь, а також трансформація глобального управління. Цей Пакт є кульмінацією інклюзивного, багаторічного процесу адаптації міжнародного співробітництва до реалій сьогодення та викликів завтрашнього дня. Пакт є наймасштабні-

шою міжнародною угодою за багато років, яка охоплює абсолютно нові сфери, а також питання, щодо яких не було досягнуто згоди протягом десятиліть. Він спрямований насамперед на те, щоб міжнародні інституції могли бути ефективними у сучасному світі, який сильно змінився з моменту їхнього заснування. Голова Генеральної Асамблеї ООН Ф. Янг на 79-й Сесії зазначив, що Пакт «закладе основу для сталого, справедливого та мирного глобального порядку – для всіх людей і націй» [67].

На шляху до досягнення Цілей сталого розвитку [30] в умовах продовження бойових дій в Україні вбачається ймовірною інтенсифікація процесу інкорпорації досягнень екологічної науки в мілітарну політику та планування. Це в перспективі дозволить впровадження: 1) екологічно відповідальних практик, що зменшать негативний вплив наслідків бойових дій на довкілля; 2) вдосконалених військових політик, стратегічних та тактичних планів, що дозволило б врахувати інтереси захисту найбільш вразливих елементів екосистем; 3) покращення системи моніторингу депопуляції та міграції населення; 4) ратифікація міжнародних НПА у площині захисту довкілля, внесення змін до існуючих НПА, розробка нових НПА у сфері післявоєнної відбудови.

Стосовно останнього пункту доцільно навести у якості прикладу Конвенцію «Про заборону вій-

ського або будь-якого іншого ворожого використання засобів впливу на природне середовище» (The Environmental Modification Convention) [68], що прямо забороняє застосування таких заходів впливу на навколишнє середовище, як дефоліація, маніпуляція з погодними умовами та знищення врожаю як методів ведення війни. Останнє, на жаль, часто має місце під час бойових дій з боку країни-агресора, незважаючи на те, що РФ, як правонаступниця СРСР, є державою-підписантом даної Конвенції. Крім того, окремі положення низки інших міжнародних НПА, таких як Женевські Конвенції (особливо Додаткові протоколи I та II) [49], Конвенція про конкретні види звичайної зброї (1980 р.) [69], Оттавська Конвенція «Про заборону застосування, накопичення запасів, виробництва і передачу протипіхотних мін та про їх знищення» (1997 р.) [70] потребують термінового перегляду з огляду на сучасні реалії зростання згубного впливу бойових дій на навколишнє середовище.

Варто окремо зауважити, що території, де в минулому відбувалися бойові дії, є пріоритетними кандидатами на відновлення, рекультивацию або консервацію. Після завершення російсько-української війни такі території виступатимуть об'єктами підвищеної уваги як з боку українських органів влади різних рівнів, так і провідних міжнародних організацій. Чудовим прикладом успішної співпраці влади і громадськості є прибережна місцевість під назвою Кріссі Філд (США), що тривалий час використовувалася для військового призначення і мала високий рівень забруднення. На сьогодні її повністю відновлено до первісного природного стану – прибережної солончакової екосистеми, що має природоохоронний статус відповідно до місцевого законодавства [71].

З огляду на українські реалії особливої актуальності набуває проблема оцінки забруднення ґрунтів. Як приклад варто розглянути методику, запропоновану казахськими вченими [72] для розрахунку показника забруднення ґрунтів (Z_c), що дорівнює сумі коефіцієнтів концентрації хімічних елементів (K_c), і обчислюється за наступною формулою:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_c \quad (1)$$

де n – число елементів, які сумуються, K_c – коефіцієнт концентрації хімічної речовини, що дорівнює співвідношенню вмісту i -металу в ґрунті до фонового.

Більш ґрунтовний підхід, запропонований українськими вченими [73], передбачає визначення загального індексу забруднення ґрунтів (I_{TPi}) для кожного з забрудників, що може бути обчислено за допомогою наступної формули:

$$I_{TPi} = \sum_{i=1}^n k_i \times \frac{(C_{AVi} - C_{BGi})}{MCL_i} \quad (2)$$

де k_i – коефіцієнт, що визначається індексом небезпеки; C_{AVi} – середній фактичний вміст i -ме-

талу в ґрунті, мг/кг; C_{BGi} – фоновий вміст i -металу в ґрунті; MCL_i – граничний вміст.

Під час розробки політик та стратегій, особливо у площині миру та безпеки, необхідно врахувати істотні виклики гуманітарного та економічного характеру, що неминуче виникають у післявоєнному середовищі. У даних умовах актуалізуються проблеми нестачі природних ресурсів, енергії, питної води та продовольства, що додатково поглиблюються підвищеними потребами внутрішньо-перемішених осіб у їжі, пальному та притулку.

На етапі розробки систем моніторингу та оцінки, а також систем підтримки прийняття рішень вбачається доцільним залучити в рамках співпраці ресурси ЄС, міжнародних гуманітарних організацій, включаючи профільні агенції ООН, Міжнародний Комітет Червоного Хреста, а також інших донорів. При цьому подібна співпраця з огляду на унікальний досвід України може мати глобальний довготерміновий позитивний ефект. Аналітичні дослідження наслідків впливу бойових дій на території України в перспективі можуть допомогти вирішити проблеми оптимального розподілу ресурсів в умовах військових конфліктів, зменшити ступінь деградації екосистем внаслідок впливу бойових дій, підвищити ефективність післявоєнного відновлення екосистем, тим самим сприяючи досягненню Цілей сталого розвитку [30].

Післявоєнне відновлення екосистеми України від наслідків російської агресії являє собою комплексний багатокомпонентний процес, що вимагатиме поєднання передових теоретичних напрацювань світової науки з практичними інструментами, що довели свою ефективність. Враховуючи європейський вектор розвитку держави, при цьому мають бути враховані відповідні стандарти та політичні практики країн ЄС. Системний підхід до відновлення, що у рівній мірі враховуватиме економічний, соціальний та екологічний виміри є запорукою не тільки подолання згубних наслідків російсько-української війни, але й сприяння сталому розвитку територій.

Міжнародний досвід післявоєнного відновлення екосистем є цінним джерелом креативних ідей, які після відповідного доопрацювання можуть бути адаптовані в Україні. Достатнє фінансування, інституційна підтримка всередині держави та плідне міжнародне співробітництво є запорукою відродження постраждалих екосистем. Застосування передових світових практик та їх належна адаптація до українських умов не тільки сприятимуть відновленню територій на засадах сталого розвитку, а й забезпечать Україні чільне місце у світовому співтоваристві.

Сучасні катастрофи у їх соціальному та антропогенному проявах є комплексними феноменами, що відповідно потребують поглибленого та ретельного економічного, технічного та соціального наукового моніторингу. Вивчення даних процесів є можливим шляхом застосування синергетичного підходу в умовах розвитку, що супроводжується нестійкістю та

варіативністю. У соціумі, а особливо у структурах управління ним, давно виникла нагальна практична необхідність у комплексному вивченні та моніторингу кризових явищ і збройних конфліктів. Дана проблема є настільки значуща, що її рішення починає набувати істотного політичного значення для майбутнього сталого розвитку будь-якої країни.

Головні висновки. Виходячи з проведеного аналізу світового досвіду післявоєнного відновлення територій є доцільним застосовувати контекстно-орієнтований підхід з відновлення екосистем, що постраждали внаслідок бойових дій з урахуванням українських реалій.

Підсумовуючи завдання, які стоять перед науковою спільнотою України, можна визначити, що найбільш пріоритетними з них є: оцінка стану навколишнього середовища з позицій ризику шкідливої дії його факторів на здоров'я населення та усталені екосистеми, розробка та впровадження сучасних методів досягнення екологічної рівноваги.

Незважаючи на заходи, що вживаються, процес післявоєнного відновлення не буде достатньо ефективним без впровадження відповідного організаційного механізму, що передбачає створення єдиного координаційного центру з питань відновлення екосистем, постраждалих внаслідок бойових дій (Української Еко-Платформи), який би об'єднав зусилля органів державної влади різного рівня, провідних міжнародних організацій, науково-експертної спільноти та громадянського суспільства.

З огляду на складний характер ситуації в Україні, перспективним є поєднання короткострокових гуманітарних проектів за участю провідних міжнародних організацій з довгостроковими стратегіями сталого розвитку. Політика державних органів із залучення активу місцевих громад до відновлення при цьому має враховувати міжнародні екологічні стандарти. Це сприятиме не тільки подоланню наслідків бойових дій, а й забезпечить відродження сталих територій задля добробуту майбутніх поколінь.

Література

1. Shackelford T. K., Weekes-Shackelford V. A. *The Oxford Handbook of Evolutionary Perspectives on Violence, Homicide, and War*. Oxford : Oxford University Press, 2012. 576 p.
2. Hamblin W. J. *Warfare in the Ancient Near East to 1600 BC: Holy Warriors at the Dawn of History*. New York : Routledge, 2006. 544 p.
3. Pettersson T., Wallensteen P. Armed conflicts, 1946–2014. *J. Peace Res.* 2015. Vol. 52. P. 536–550. DOI: 10.1177/0022343315595927.
4. Витрати провідних країн світу на безпеку та оборону, 2023. *Statista* : веб-сайт. URL: <https://www.statista.com/statistics/262742/countries-with-the-highest-military-spending/> (дата звернення: 07.11.2024).
5. Machlis G., Hanson T. Warfare ecology. *BioScience*. 2008. Vol. 58, № 8. P. 729–736. DOI: 10.1641/B580809.
6. Stellman J. M. et al. The extent and patterns of usage of Agent Orange and other herbicides in Vietnam. *Nature*. 2003. Vol. 422. P. 681–687. DOI: 10.1038/nature01537.
7. Gurses M. Environmental consequences of civil war: Evidence from the Kurdish conflict in Turkey. *Civil War*. 2012. Vol. 14, № 2. P. 254–271. DOI: 10.1080/13698249.2012.679495.
8. Richardson C. J., Hussain N. A. Restoring the Garden of Eden: an ecological assessment of the marshes of Iraq. *BioScience*. 2006. Vol. 56, № 6. P. 477–489. DOI: 10.1641/0006-3568(2006)56[477:RTGOEA]2.0.CO;2.
9. Takshe A. A., Huby M., Frantzi S., Lovett J. C. Dealing with pollution from conflict: Analysis of discourses around the 2006 Lebanon oil spill. *Journal of Environmental Management*. 2010. Vol. 91, № 4. P. 887–896. DOI: 10.1016/j.jenvman.2009.11.005.
10. Husain T. *Kuwaiti Oil Fires: Regional Environmental Perspectives*. Oxford : Elsevier. 1995. 310 p.
11. Republic of Lebanon economic assessment of environmental degradation due to the July 2006 hostilities. Report No. 39787-LB. *World Bank* : веб-сайт. URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/fr/951351468054863844/text/397870LB.txt> (Last accessed: 10.11.2024).
12. Butsic V. et al. Conservation and conflict in the Democratic Republic of Congo: The impacts of warfare, mining, and protected areas on deforestation. *Biological Conservation*. 2015. Vol. 191. P. 266–273. DOI: 10.1016/j.biocon.2015.06.037.
13. Stevens K. et al. Examining complexities of forest cover change during armed conflict on Nicaragua's Atlantic Coast. *Biodiversity and Conservation*. 2011. Vol. 20. P. 2597–2613. DOI: 10.1007/s10531-011-0093-1.
14. Sánchez-Cuervo A. M., Aide T. M. Consequences of the armed conflict, forced human displacement, and land abandonment on forest cover change in Colombia: A multi-scaled analysis. *Ecosystems*. 2013. Vol. 16, № 6. P. 1052–1070. DOI: 10.1007/s10021-013-9667-y.
15. Ordway E. M. Political shifts and changing forests: Effects of armed conflict on forest conservation in Rwanda. *Global Ecology and Conservation*. 2015. Vol. 3. P. 448–460. DOI: 10.1016/j.gecco.2015.01.013.
16. Johnston P. Timber booms, state busts: the political economy of Liberian timber. *Review of African Political Economy*. 2004. Vol. 31. P. 441–456. DOI: 10.1080/0305624042000295530.
17. Le Billon P. Diamond wars? Conflict diamonds and geographies of resource wars. *Annals of the Association of American Geographers*. 2008. Vol. 98, № 2. P. 345–372. DOI: 10.1080/00045600801922422.
18. Daskin J. H., Pringle R. M. Warfare and wildlife declines in Africa's protected areas. *Nature*. 2018. Vol. 553. P. 328–332. DOI: 10.1038/nature25194.
19. Baral N., Heinen J. T. The Maoist people's war and conservation in Nepal. *Politics and the Life Sciences*. 2005. Vol. 24, № 1–2. P. 2–11. DOI: 10.2990/1471-5457(2005)24[2:TMPWAC]2.0.CO;2.
20. Chase M. J., Griffin C. R. Elephants of south-east Angola in war and peace: their decline, re-colonization and recent status. *African Journal of Ecology*. 2011. Vol. 49, № 3. P. 353–361. DOI: 10.1111/j.1365-2028.2011.01272.x.

21. Crayne S., Haenlein C. Poaching, wildlife trafficking and conflict. In *Poaching, Wildlife Trafficking and Security in Africa*. Routledge, 2017. 120 p.
22. Hagenlocher M., Lang S., Tiede D. Integrated assessment of the environmental impact of an IDP camp in Sudan based on very high resolution multi-temporal satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*. 2012. Vol. 126. P. 27–38. DOI: 10.1016/j.rse.2012.08.010.
23. Braun A., Lang S., Hochschild V. Impact of refugee camps on their environment a case study using multi-temporal SAR data. *Journal of Geography, Environment and Earth Science International*. 2016. Vol. 4, № 2. P. 1–17. DOI: 10.9734/JGEESI/2016/22392.
24. Hughes J. D. Warfare and environment in the ancient world. *The Oxford Handbook of Warfare in the Classical World* / ed. Campbell B., Tritle L. Oxford : Oxford University Press, 2013. P. 128–142.
25. Martini E. A. Proving grounds: Militarized landscapes, weapons testing, and the environmental impact of US bases. Washington : University of Washington Press, 2015. 320 p.
26. Horvat M. Environmental biomonitoring as a tool in risk and impact assessment associated with post-conflict restoration and rehabilitation. *Warfare Ecology: A New Synthesis for Peace and Security* / ed. Machlis G., Hanson T., Špirić Z., McKendry J. Springer Netherlands, 2011. P. 189–197.
27. Waeber P. O., Wilmé L. Madagascar rich and intransparent. *Madagascar Conservation & Development*. 2013. Vol. 8, № 2. P. 52–54.
28. Zulu L., Wilson S. Whose minerals, whose development? Rhetoric and reality in post-conflict Sierra Leone. *Development and Change*. 2012. Vol. 43, № 5. P. 1103–1131. DOI: 10.1111/j.1467-7660.2012.01788.x.
29. Fahey D. The new gold rush: post-conflict mining and trading in the Kilo belt (DRC). *Natural Resources and Local Livelihoods in the Great Lakes Region of Africa: A Political Economy Perspective* / ed. Ansoms A., Marysse S. London : Palgrave Macmillan UK, 2011. P. 170–191.
30. Цілі Сталого Розвитку. ППРООН : веб-сайт. URL: <https://www.undp.org/uk/ukraine/tsili-staloho-rozvytku> (дата звернення: 11.11.2024).
31. Plumtre A. J., Masozera M., Vedder A. The impact of civil war on the conservation of protected areas in Rwanda. Biodiversity Support Program. Washington, DC, 2001.
32. Smallwood P. D. The risks of greening in the red zone: creating Afghanistan’s first national park in the midst of conflict. *Greening in the Red Zone: Disaster, resilience and community greening* / ed. Tidball K., Krasny M. Springer, 2014. P. 297–303.
33. Negret P. J. et al. Need for conservation planning in postconflict Colombia. *Conservation Biology*. 2017. Vol. 31, № 3. P. 499–500. DOI: 10.1111/cobi.12902.
34. De Merode E. et al. The impact of armed conflict on protected-area efficacy in Central Africa. *Biology letters*. 2007. Vol. 3, № 3. P. 299–301. DOI: 10.1098/rsbl.2007.0010.
35. Conca K., Wallace J. Environment and peacebuilding in War-torn societies: Lessons from the UN Environment Programme’s experience with post-conflict assessment. *Assessing and Restoring Natural Resources In Post-Conflict Peacebuilding* / ed. Jensen D., Lonergan S. Routledge, 2013. P. 63–81.
36. Langer S., Tiede D., Lüthje F. Long-term Monitoring of the Environmental Impact of a Refugee Camp Based on Landsat Time Series: The Example of Deforestation and Reforestation During the whole Lifespan of the Camp Lukole, Tanzania. *J. Geogr. Inf. Sci.* 2015. Vol. 1. P. 434–437. DOI: 10.1553/giscience2015s434.
37. Moore E. A. Reforestation activities at a chadian refugee camp in Northern Cameroon. *Greening in the Red Zone: Disaster, resilience and community greening* / ed. Tidball K., Krasny M. Springer, 2014. P. 411–415.
38. Jacobs M. J., Schloeder C. A. Impacts of conflict on biodiversity and protected areas in Ethiopia : Biodiversity support program. Washington : World Wildlife Fund, 2001. 47 p. URL: [https://ethiopianreview.com/pdf/001/Ethiopia\(4\).pdf](https://ethiopianreview.com/pdf/001/Ethiopia(4).pdf) (дата звернення: 12.11.2024).
39. Waugh J., Murombedzi J. Social benefits in the Liberian forestry sector: an experiment in post-conflict institution building for resilience. *Governance, Natural Resources and Post-Conflict Peacebuilding* / ed. Bruch C., Muffett C., Nichols S. Routledge, 2016. P. 561–578.
40. Nirmal K. B. K., Shrestha R. K., Acharya S. G., Ansari A. S. Maoist conflict, community forestry and livelihoods: Pro-poor innovations in forest management in Nepal. *Journal of Forest and Livelihood*. 2009. Vol. 8, № 2. P. 93–100. DOI: 10.3126/jfl.v8i2.2311.
41. Barquet K., Lujala P., Rød J. K. Transboundary conservation and militarized interstate disputes. *Political Geography*. 2014. Vol. 42. P. 1–11. DOI: 10.1016/j.polgeo.2014.05.003.
42. Kakabadse Y., Caillaux J., Dumas J. The Peru and Ecuador peace park: One decade after the peace settlement. *Governance, Natural Resources and Post-Conflict Peacebuilding* / ed. Bruch C., Muffett C., Nichols S. Routledge, 2016. P. 817–824.
43. Grichting A. Cyprus: Greening in the dead zone. *Greening in the Red Zone: Disaster, resilience and community greening* / ed. Tidball K., Krasny M. Springer, 2014. P. 429–443.
44. Kim K. G., Cho D. G. Status and ecological resource value of the Republic of Korea’s Demilitarized Zone. *Landscape and Ecological Engineering*. 2005. Vol. 1. P. 3–15. DOI: 10.1007/s11355-005-0006-0.
45. Shin D. The potential impact of a botanical garden in the Korean Demilitarized Zone. Doctoral dissertation / University of Delaware, 2013. 120 p.
46. Linell A. Large-scale collective action over wildlife and natural resources. Prospects in reaching compliance with conservation rules by resource users: The Case of Kavango Zambezi Conservation Area. Master’s thesis / Gothenburg University, 2017. 65 p.
47. Muboko N. The role of transfrontier conservation areas and their institutional framework in natural resource-based conflict management: A review. *Journal of Sustainable Forestry*. 2017. Vol. 36, № 6. P. 583–603. DOI: 10.1080/10549811.2017.1320224.
48. Butts K. H., Bradshaw A. L. Military education workshop addresses threats to stability and security. Carlisle : Center for Strategic Leadership, 2007. URL: <https://csl.armywarcollege.edu/usacsl/publications/IP%208-07%20-%20Military%20Education%20Workshop.pdf> (дата звернення: 14.11.2024).

49. Женевська Конвенція про захист цивільного населення під час війни / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_154#Text (дата звернення: 15.11.2024).
50. Конвенція про захист Чорного моря від забруднення / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_065#Text (дата звернення: 17.11.2024).
51. Convention on the protection and use of transboundary watercourses and international lakes / UNECE. URL: <https://unece.org/fileadmin/DAM/env/water/pdf/watercon.pdf> (дата звернення: 17.11.2024).
52. Convention on Wetlands of International Importance especially as Waterfowl Habitat / UNESCO. URL: <https://www.unesco.org/en/biodiversity/wetlands> (дата звернення: 17.11.2024).
53. Підрив греблі Каховської ГЕС – найбільша техногенна катастрофа світу за останні десятиліття. *Міндовкілля України* : веб-сайт. URL: <https://mepr.gov.ua/pidryv-damby-kahovskoyi-ges-najbilsha-tehnogenna-katastrofa-svitu-za-ostanni-desyatylittya/> (дата звернення: 18.11.2024).
54. Каховське водосховище, друге за площею в Україні, фактично перестало існувати. *НАН України* : веб-сайт. URL: <https://old.nas.gov.ua/UA/Messages/Pages/View.aspxMessageID=10239&fbclid=IwAR1QIVYSTxz6o4rOmSYZgDOxzZkyu73dJOcsKDBoxBUV2yGyJsWfvk9XcGo> (дата звернення: 18.11.2024).
55. Войтюк Д., Сролаєва Т. Наслідки впливу військових дій на стан навколишнього природного середовища. *Grail of Science*. 2023. № 28. С. 122–129. DOI: 10.36074/grail-of-science.09.06.2023.19.
56. Заповідні території та війна: дворічний досвід гуманітарної допомоги. *Ukraine War Environmental Consequences Work Group* : веб-сайт. URL: <https://uwecworkgroup.info/uk/protected-areas-and-war-two-years-of-humanitarian-aid/> (дата звернення: 18.11.2024).
57. Після захоплення “Асканії-Нови” росіяни обмежили пересування заповідником. Асканія-Нова селища військова адміністрація : веб-сайт. URL: <https://askaniya-nova-gromada.gov.ua/news/1690354877> (дата звернення: 18.11.2024).
58. У разі пошкодження «Джерела нейтронів» на Харківщині могли постраждати 640 тисяч осіб. *УКРІНФОРМ* : веб-сайт. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-regions/3680973-u-razi-poskodzenna-harkivskogo-dzerela-nejtroniv-mogli-postrazdati-640-tisac-osib.html> (дата звернення: 18.11.2024).
59. Заява Директора МАГАТЕ про ситуацію в Україні. *МАГАТЕ* : веб-сайт. URL: <https://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/update-104-iaea-director-general-statement-on-situation-in-ukraine> (дата звернення: 18.11.2024).
60. Платформа «Екозагроза». *Міндовкілля України* : веб-сайт. URL: <https://ecozagroza.gov.ua/about> (дата звернення: 20.11.2024).
61. Державна екологічна інспекція створила чатбот «Екошкола» для фіксації екозлочинів РФ. *УКРІНФОРМ* : веб-сайт. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3427650-derzavna-ekologichna-inspekcia-stvorila-catbot-dla-fiksacii-ekozlociniv-rosii.html> (дата звернення: 20.11.2024).
62. План відновлення України / Президент України, ВР України, КМУ, Мінцифри. URL: <https://recovery.gov.ua/> (дата звернення: 20.11.2024).
63. Національна рада з відновлення України від наслідків війни. *КМУ* : веб-сайт. URL: <https://www.kmu.gov.ua/diyalnist/konsultativno-doradchi-orhany/nacionalna-rada-z-vidnovlennya-ukrayini-vid-naslidkiv-vijni/pro-nacionalnu-radu-z-vidnovlennya-ukrayini-vid-naslidkiv-vijni> (дата звернення: 20.11.2024).
64. Платформа «DREAM». *Мінінфраструктури України та Агентство відновлення України* : веб-сайт. URL: <https://dream.gov.ua/ua/about> (дата звернення: 20.11.2024).
65. Програма LIFE. *Національна електронна науково-інформаційна система НАУКА* : веб-сайт. URL: <https://ms.nauka.gov.ua/pro-portal/life/> (дата звернення: 20.11.2024).
66. Велика Британія допоможе Україні у відновленні лісів та нацпарків. *Міндовкілля України* : веб-сайт. URL: <https://mepr.gov.ua/velyka-brytaniya-dopomozhe-ukrayini-u-vidnovlenni-lisiv-ta-natsparkiv/> (дата звернення: 20.11.2024).
67. Матеріали Саміта Майбутнього ООН, Нью-Йорк, 20–23.09.2024. *ООН* : веб-сайт. URL: <https://www.un.org/en/summit-of-the-future> (дата звернення: 21.11.2024).
68. Конвенція про заборону військового або будь-якого іншого ворожого використання засобів впливу на природне середовище (ENMOD) / ООН. URL: <https://disarmament.unoda.org/enmod/> (дата звернення: 21.11.2024).
69. Конвенція про конкретні види звичайної зброї / ООН. URL: <https://disarmament.unoda.org/the-convention-on-certain-conventional-weapons/> (дата звернення: 21.11.2024).
70. Конвенція про заборону застосування, накопичення запасів, виробництво і передачу протипіхотних мін та про їх знищення / ООН. URL: <https://disarmament.unoda.org/anti-personnel-landmines-convention> (дата звернення: 21.11.2024).
71. Suarez D. Creating public value through collaboration: The restoration and preservation of Crissy Field. *Creating public value in practice* / ed. Bryson J., Crosby B., Bloomberg L. Routledge, 2015. P. 293–310.
72. Kozybaeva F., Beyseeva G., Sarkulova J. Evaluation of the soil contamination degree in the zone of mining enterprise technogenic influence. *World science*. 2019. Vol. 42, № 1. P. 24–32. DOI: 10.31435/rsglobal_ws/28022019/6349.
73. Statyukha G., Bojko T., Bendyug V., Shakhnovsky A. Sustainable development in quantitative indicators of technogenic safety assessment. *Chemistry & Chemical Technology*. 2010. Vol. 4, № 1. P. 69–72.

УДК 504.45:69.008.3:355.467:911(477.53)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.6-57.16>

ЕКОЛОГІЧНІ РИЗИКИ, ПОВ'ЯЗАНІ З БУДІВЕЛЬНИМИ ВІДХОДАМИ, ЩО УТВОРИЛИСЯ У ЗВ'ЯЗКУ З ВІЙСЬКОВОЮ АГРЕСІЄЮ РОСІЇ НА ТЕРИТОРІЇ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Уваєва О.І.¹, Алпатова О.М.¹, Демчук Л.І.¹, Сульженко М.Я.², Нестерчук Ю.В.²¹Державний університет «Житомирська політехніка»

вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир

²Житомирська обласна державна адміністрація

вул. Театральна, 17/20, 10014, м. Житомир

uvaeva@ztu.edu.ua, ke_aom@ztu.edu.ua, ke_dlm@ztu.edu.ua, pryroda@eprrdep.zht.gov.ua

Стаття присвячена дослідженню екологічних ризиків, що виникають унаслідок накопичення будівельних відходів у Житомирській області, які утворилися через військову агресію росії. У Житомирській області під час військової агресії зареєстровано близько 1286 пошкоджених об'єктів із загальним обсягом 10557,567 т будівельних відходів. Найбільші масштаби пошкоджень зареєстровано у Малинській та Коростенській громадах. Масштабні руйнування житлових, соціальних та промислових об'єктів призвели до утворення значних обсягів відходів, таких як бетон, цегла, метал, деревина, скло та небезпечні матеріали, зокрема азбестовмісні компоненти. Зокрема в Овручській громаді внаслідок руйнувань особливо критичними є азбестовмісні відходи та ізоляційні матеріали, які знаходяться разом із великою кількістю уламків бетону, цегли та плитки (672 т).

Особливу увагу приділено проблемі екологічних ризиків, пов'язаних із неправильним поводженням з будівельними відходами, зокрема забрудненню ґрунтів, водних ресурсів, зниженню біорізноманіття та вплив на здоров'я населення. Встановлено, що відсутність належної інфраструктури для їх переробки посилює негативний екологічний ефект і створює бар'єри для відновлення регіону.

У статті зосереджена увага на необхідності впровадження мобільних сортувальних станцій для первинної обробки відходів, створення тимчасових місць для зберігання уламків, а також модернізації існуючих полігонів. Запропоновано застосування методів переробки матеріалів із подальшим їх повторним використанням у будівництві, що зменшує навантаження на природні ресурси. У дослідженні також розглядається міжнародний досвід управління будівельними відходами у кризових ситуаціях, який може бути адаптовано до українських реалій. Результати роботи можуть бути використані для розробки регіональних стратегій управління будівельними відходами, вдосконалення нормативно-правової бази та стимулювання сталого розвитку у поствоєнних регіонах України. *Ключові слова:* екологічні ризики, будівельні відходи, військова агресія, Житомирська область, забруднення довкілля, переробка матеріалів.

Environmental risks associated with construction waste generated by Russia's military aggression in Zhytomyr Oblast.
Uvaieva O., Alpatova O., Demchuk L., Sulzhenko M., Nesterchuk Yu.

This article investigates the environmental risks associated with the accumulation of construction waste in Zhytomyr Oblast, resulting from Russia's military aggression. In the Zhytomyr region, approximately 1,286 damaged objects with a total volume of 10,557.567 tons of construction waste were recorded during the military aggression. The largest scale of damage was registered in the Malyn and Korosten communities. The widespread destruction of residential, social, and industrial facilities has led to the generation of significant volumes of waste, including concrete, brick, metal, wood, glass, and hazardous materials such as asbestos-containing components. In particular, asbestos-containing waste and insulation materials are especially critical in the Ovruch community due to destruction, accompanied by large quantities of concrete, brick, and tile debris (672 tons).

Particular attention is paid to the environmental risks associated with the improper management of construction waste, including soil and water pollution, biodiversity loss, and impacts on human health. The absence of adequate infrastructure for waste disposal exacerbates the negative environmental impact and hinders regional recovery.

The authors emphasize the need for mobile sorting stations for initial waste processing, the creation of temporary storage sites for debris, and the modernization of existing landfills. The application of material recycling methods followed by their reuse in construction is proposed to reduce the burden on natural resources. The study also considers international experience in managing construction waste in crisis situations, which can be adapted to Ukrainian realities. The results of the study can be used to develop regional strategies for construction waste management, improve the regulatory framework, and stimulate sustainable development in post-war regions of Ukraine. *Key words:* environmental risks, construction waste, military aggression, Zhytomyr Oblast, environmental pollution, material recycling.

Постановка проблеми. Масштабна військова агресія російської федерації спричинила значні руйнування інфраструктури в Житомирській області, включаючи житлові будинки, громадські об'єкти та промислові споруди. Наслідком цих руйнувань є утворення великої кількості будівельних відходів,

які містять бетон, цеглу, метали, деревину, скло, а також небезпечні компоненти, такі як азбест [1, 2]. Без належного поводження ці відходи становлять значну загрозу для екологічної безпеки регіону, зокрема забруднюючи ґрунти, водні ресурси та впливаючи на здоров'я населення.

Відсутність належної інфраструктури для збору, сортування і переробки відходів створює додаткові виклики. Наразі громади регіону стикаються з проблемами логістики, обмеженими ресурсами та недостатньою координацією між місцевою владою, підприємствами й організаціями, які займаються переробкою відходів. Також спостерігається нерівномірний розподіл відходів між населеними пунктами, що вимагає адаптованих локальних підходів до їх обробки.

Крім того, специфічні виклики військового часу, такі як пошкодження транспортної інфраструктури та обмеження у фінансуванні, суттєво ускладнюють впровадження ефективних стратегій управління відходами. Це потребує термінового розроблення комплексних рішень, які включатимуть сучасні технології, мобільні сортувальні станції, модернізацію полігонів і залучення міжнародного досвіду для відновлення екологічної рівноваги та сталого розвитку регіону [3].

Актуальність дослідження. Житомирська область, яка постраждала від бойових дій, зіткнулася з надзвичайною екологічною проблемою, пов'язаною з управлінням будівельними відходами. Вивчення та впровадження сучасних методів переробки таких відходів є важливим не лише для забезпечення екологічної безпеки, а й для відновлення інфраструктури регіону [1, 2, 4].

Житомирська область є частиною Поліського регіону, який має унікальну екосистему. Неправильне управління з будівельними відходами може спричинити деградацію ґрунтів, забруднення водних ресурсів і зниження рівня біорізноманіття. До того ж, відходи, що містять небезпечні компоненти, наприклад азбест, є додатковим джерелом загрози для здоров'я населення. Це вимагає застосування сучасних методів переробки, зокрема роздільного збору, сортування та повторного використання матеріалів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У науковій літературі дедалі більше уваги приділяється проблемам управління будівельними відходами, особливо в умовах кризи, спричиненої військовими конфліктами. Регіональні документи, такі як «Регіональний план управління відходами на території Житомирської області до 2030 року», визначають стратегічні напрями зменшення негативного впливу відходів на довкілля через створення інфраструктури для їх переробки та сортування [1, 2]. Постанова Кабінету Міністрів України № 1073 регламентує поводження з відходами, які утворилися через бойові дії, наголошуючи на важливості їх переробки для мінімізації екологічних ризиків [3]. У працях науковців підкреслюється значення інтеграції міжнародного досвіду для розв'язання локальних проблем, пов'язаних із забрудненням ґрунтів, водних ресурсів та повітря [4].

Українські дослідники наголошують на необхідності адаптації сучасних технологій у процесах

переробки будівельних відходів. Наприклад, у роботі Д. Токарчука детально розглядаються аспекти переробки небезпечних компонентів відходів, таких як азбестовмісні матеріали, з урахуванням умов воєнного часу [5]. Т. Скиба аналізує екологічні аспекти управління з будівельними уламками, акцентуючи увагу на застосуванні вторинних матеріалів у будівництві як економічно та екологічно ефективного підходу [6].

У дослідженнях низки науковців [7, 8] розглядаються інноваційні технології, спрямовані на рециркуляцію будівельних відходів під час післявоєнної відбудови. Крім того, Д. Григорчук досліджує вплив війни на довкілля, наголошуючи на необхідності системного підходу до управління відходами в умовах кризи [9].

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

Метою роботи є дослідження екологічних ризиків, пов'язаних із накопиченням будівельних відходів, що утворилися внаслідок військової агресії росії на території Житомирської області, аналіз впливу цих відходів на довкілля, оцінка їх небезпечних компонентів і розробка практичних рекомендацій для мінімізації шкоди та забезпечення сталого розвитку регіону.

Результати дослідження. Для визначення обсягів будівельних військових відходів дуже важливо використовувати сучасні методи дослідження, зокрема такі як:

Супутникова зйомка: використання супутникових знімків для оцінки площі забруднених територій та обсягів утворених відходів.

Геоінформаційні системи (ГІС): створення геоінформаційних моделей для візуалізації та аналізу даних про забруднення.

Наземні обстеження: проведення польових досліджень для відбору проб ґрунту, води та повітря, а також для визначення складу та кількості відходів.

Моделювання: використання математичних моделей для прогнозування поширення забруднення та оцінки його впливу на довкілля.

Дуже важливо проаналізувати будівельні відходи у таких аспектах:

Склад та безпека відходів: аналіз видів відходів, що утворилися внаслідок військових дій (будівельні матеріали, металобрухт, боєприпаси, що не вибухнули, токсичні речовини тощо). Оцінка їхньої безпеки для довкілля та здоров'я людей.

Обсяги утворених відходів: кількісна оцінка обсягів різних видів відходів на території Житомирської області. Порівняння з довійськовими показниками.

Географічне поширення відходів: аналіз розподілу відходів по території області з урахуванням ступеня пошкодження населених пунктів.

За даними Житомирської обласної військової адміністрації (табл. 1), найбільші масштаби пошкоджень під час військової агресії росії зареєстровано у таких громадах: Малинська (670 об'єктів, 5745,627 т відходів) та Коростенська (240 об'єктів, 1981,06 т). Житомирська громада має 243 пошкоджених об'єкти, що призвело до утворення 1844 т будівельних відходів. Загалом по області зареєстровано 1286 пошкоджених об'єктів із загальним обсягом 10557,567 т будівельних відходів. Це підкреслює гостру необхідність впровадження ефективних рішень для переробки та повторного використання матеріалів. Є потреба у розробці локалізованих стратегій управління з будівельними відходами, враховуючи різні обсяги матеріалів і типи інфраструктури в громадах.

У табл. 2 зазначено детальний аналіз пошкоджених об'єктів у громадах Житомирської області внаслідок військової агресії росії протягом 2022–2024 рр. Зокрема, у Коростенській громаді основними компонентами є будівельні відходи загальною масою 575,55 т, що займають площу 0,2 га. У Гладковицькій громаді зареєстровано різноманіття фрагментів будівельних матеріалів: бита цегла (12 т), шифер (4 т), черепиця (4 т) та скло (0,5 т), що підкреслює складність їх переробки.

Особливо критичним є питання небезпечних матеріалів, як, наприклад, азбестовмісні відходи та ізоляційні матеріали, які зазначені в Овруцькій громаді разом із великою кількістю уламків бетону, цегли та плитки (672 т). Такі матеріали вимагають спеціалізованих умов для безпечної переробки, оскільки вони можуть спричинити значні екологічні ризики та негативний вплив на здоров'я населення.

Дані свідчать, що громади мають різні обсяги і типи відходів, що потребує адаптованих рішень для кожної громади.

Слід зазначити, що неналежне управління з будівельними відходами спричиняє забруднення довкілля токсичними речовинами, що погіршує екологічний стан регіону. Забруднення ґрунтів є одним із найбільших викликів для екосистем Житомирщини. Токсичні компоненти будівельних відходів, такі як важкі метали та залишки хімічних речовин, потрапляючи у ґрунт, знижують його родючість і можуть проникати у підземні води. Це негативно впливає на сільськогосподарське виробництво та може спричинити забруднення харчового ланцюга, посилюючи екологічні ризики для населення.

Водні ресурси регіону також опинилися під загрозою. Неправильне зберігання або переробка будівельних відходів може призводити до вивільнення шкідливих речовин у річки та озера, що спричиняє їх евтрофікацію, втрату біорізноманіття та погіршення якості питної води. Особливу небезпеку становлять мікрочастинки скла й полімерів, які тривалий час зберігаються у довкіллі та можуть завдавати шкоди флорі та фауні.

Вплив на здоров'я населення також є значним. Уламки будівельних матеріалів, особливо азбестовмісних, вивільняють мікрочастинки, які при вдиханні здатні спричинити серйозні захворювання, включаючи онкологічні. Крім того, контакти людей із забрудненими ґрунтами та водою підвищують ризик розвитку алергічних реакцій, дерматитів та інфекційних захворювань. Високий рівень забруднення атмосферного повітря через пил від будівельних відходів також негативно впливає на стан органів дихання.

Для зменшення екологічних наслідків важливо створити тимчасові місця складування та сортування будівельних відходів, де можна було б збері-

Таблиця 1

Дані про пошкоджені об'єкти під час військової агресії у громадах Житомирської області протягом 2022–2024 рр.

№ з/п	Територіальна громада	Кількість пошкоджених об'єктів	Обсяг, т
1	Бердичівська	4	16,074
2	Гладковицька	4	36,297
3	Городоцька	3	27,223
4	Житомирська	243	1844,000
5	Коростенська	240	1981,060
6	Малинська	670	5745,627
7	Народицька	15	120,966
8	Овруцька	78	637,527
9	Станишівська	19	70,198
10	Ушомирська	6	54,446
11	Чуднівська	4	24,149
Всього		1286	10557,567

**Якісний і кількісний склад компонентів відходів від руйнувань
у громадах Житомирської області протягом 2022–2024 рр.**

№ з/п	Громада	Назва компонентів відходів від руйнувань	Обсяг, т	Загальна площа ділянок місць розміщення, га
1	Вільшанська т.г.	–	0	-
2	Житомирська м.р.	–	0	-
3	Коростенська м.р.	Будівельні відходи	575,55	0,2
4	Гладковицька т.г.	Бита цегла	12	0,05
		Битий шифер	4	
		Бита черепиця	4	
		Бите скло	0,5	
5	Народицька т.г.	–	0	-
6	Ушомирська т.г.	Шифер	10	2,8
		Відходи скла	2	
		Відходи штукатурки	3	
		Інші відходи будівельних матеріалів	5	
7	Овруцька м.р.	Бетон, цегла, облицювальна плитка і кераміка	672	0,1
		Деревина, скло та пластмаси	-	
		Ізоляційні матеріали та азбестовмісні будівельні матеріали	-	
8	Звягельська м.р.	Великогабаритні відходи (балки, двері та ін.)	110,0	11,1982
9	Станишівська с.р.	Скло, дерево, пластик, залишки битих конструкцій	50	0,1500
10	Червоненська с.р.	Бите скло	0,12	0,50
		Штукатурка	0,05	
11	Стриївська с.р.	Великогабаритні відходи (балки, двері та ін.)	8,0	0,20
Всього			1456,22	15,1982

гати уламки та розділяти матеріали для подальшого повторного використання. Використання мобільних установок для переробки дозволить скоротити обсяги відходів на місці руйнувань, а також сприятиме їх перетворенню в будівельні матеріали, такі як щебінь та беті суміші.

Міжнародний досвід як джерело інноваційних підходів. Вивчення досвіду інших країн з управління будівельними відходами під час кризових ситуацій (наприклад, землетрусів та ураганів) може надати цінні рішення для Житомирської області. Залучення міжнародної підтримки та ресурсів допоможе впровадити сучасні методи переробки та використання відходів, сприяючи екологічному відновленню та відбудові.

Висновки. Проблема управління будівельними відходами, що утворилися внаслідок військової агресії на території Житомирської області, є надзвичайно актуальною з екологічної, економічної та соціальної точок зору. Аналіз показав, що значна частина цих відходів, зокрема бетон, цегла, метал і деревина, придатні до повторного використання, що відкриває перспективи для зменшення навантаження на природні ресурси. Водночас наявність небезпечних ком-

понентів, таких як азбест, створює серйозні ризики для довкілля та здоров'я населення, які вимагають невідкладного вирішення.

Впровадження сучасних технологій, таких як мобільні сортувальні станції, створення тимчасових місць для зберігання відходів і модернізація існуючих полігонів, є важливими заходами для забезпечення ефективного управління будівельними відходами. Міжнародний досвід свідчить, що інтеграція таких підходів у систему управління відходами сприяє зменшенню екологічного впливу, підвищенню рівня переробки матеріалів і забезпечує економічну ефективність процесів відновлення.

Отримані результати дослідження мають практичне значення для розробки регіональних стратегій управління відходами, вдосконалення нормативно-правової бази та впровадження принципів циркулярної економіки. Комплексний підхід до розв'язання проблеми будівельних відходів сприятиме екологічному відновленню постраждалих регіонів, відбудові інфраструктури та сталому розвитку країни в цілому.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження можуть бути використані для розробки регіональних програм

управління будівельними відходами, які враховуватимуть специфіку Житомирської області та інших регіонів України, що постраждали від військових дій. Отримані результати також мають перспективу

інтеграції у процес вдосконалення нормативно-правової бази України, зокрема у питаннях управління з небезпечними відходами та розвитку інфраструктури для їх переробки.

Література

1. Регіональний план управління відходами на території Житомирської області до 2030 року. Том 1. URL: <http://surl.li/ekjgem> (дата звернення: 14.10.2024).
2. Регіональний план управління відходами на території Житомирської області до 2030 року. Том 2. URL: <http://surl.li/peilzf> (дата звернення: 14.10.2024).
3. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку управління відходами, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій або проведенням робіт з ліквідації їх наслідків та внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України» від 27 вересня 2022 р. № 1073. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1073-2022-%D0%BF#Text> (дата звернення: 24.10.2024).
4. Алпатова О. М., Уваєва О. І., Сульженко М. Я., Нестерчук Ю. В. Поводження з побутовими відходами в Житомирській області: проблеми, загрози та шляхи вирішення. Перші практичні дії та проблемні питання реалізації Закону України «Про управління відходами»: збірка матеріалів Національного форуму «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології» (м. Івано-Франківськ, 21–23 листопада 2023 р.). Київ : Центр екологічної освіти та інформації, 2023. С. 41–43.
5. Токарчук Д. М. Особливості утворення і поводження з відходами під час воєнних дій: досвід України. Економіка, фінанси, менеджмент: актуальні питання науки і практики, 2022. № 2 (60). С. 109–122. DOI: 10.37128/2411-4413-2022-2-8.
6. Скиба Т. К. Екологічні аспекти поводження з відходами. Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. VIII Міжнародний конгрес, 16–18 жовтня 2024, Україна, Львів : Збірник матеріалів. Київ : ГО «МНГ», 2024. С. 34. URL: <https://doi.org/10.56287/8285-40-1>.
7. Шишкін Е., Гайко Ю., Черносова Т. Шляхи рециклінгу будівельного сміття під час післявоєнної відбудови зруйнованих міст. Містобудування та територіальне планування, 2024. № 85. С. 679–697. DOI: 10.32347/2076-815x.2024.85.679-697.
8. Shyshkin E., et al. Recycling of construction waste as an innovative direction of the program of post-war reconstruction of destroyed cities. *ce/papers*, 2023. Vol. 6.6. P. 1039–1047. DOI: 10.1002/cepa.2896.
9. Nryhorczuk D., et al. The environmental health impacts of Russia's war on Ukraine. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 2024. Vol. 19. № 1. DOI: 10.1186/s12995-023-00398-y.

ЦІЛЕСПРЯМОВАНЕ ЗЛОЧИННЕ ЗНИЩЕННЯ ДОВКІЛЛЯ УКРАЇНИ ЯК НАСЛІДОК РОСІЙСЬКОЇ АГРЕСІЇ

Харченко В.В., Котинський А.В., Якименко І.Л.

Національний університет харчових технологій

вул. Володимирська, 68, 01033, м. Київ

graf_geo_ua@yahoo.co.uk, nimuskav@gmail.com, iyakymen@gmail.com

Повномасштабне вторгнення росії в Україну в лютому 2022 року та російсько-українська війна, яка триває, мають значний негативний вплив на навколишнє середовище. Росія веде війну в спосіб військових злочинів. Щоб притягнути ворогів до відповідальності за всі скоєні ними злочини, необхідна копітка фіксація. Вона потребує ретельного підрахунку, оцінювання і прогнозування – із висвітленням їх результатів у відповідних публікаціях. Нині було опубліковано лише кілька наукових звітів. При цьому, такі матеріали не завжди доступні для міжнародної спільноти. Однею з категорій російських військових злочинів є екоцид – цілеспрямоване спустошення екосистем, яке потенційно може спровокувати екологічну катастрофу. За час повномасштабної війни офіційно задокументовано майже 7,0 тисяч фактів заподіяння шкоди довкіллю внаслідок російської агресії. Через пожежі на промислових об'єктах і в лісах в атмосферне повітря було викинуто понад 70 млн тонн забруднюючих речовин. Близько 1,1 млн м² земельних угідь було забруднено хімічними речовинами і майже 22 млн м² – засмічено фізичними об'єктами. У наземні водойми скинуто десятки тисяч тонн сторонніх предметів, матеріалів і речовин. І ще більше забруднюючих речовин потрапило в морську воду. Військовим злочином Росії з найбільшою одноразовою шкодою довкіллю стало руйнування дамби Каховського водосховища на Дніпрі. В результаті підтоплено 61 населений пункт, у Дніпро, ймовірно, потрапило 465 тонн нафти, під загрозою знищення опинилися представники 333 видів тварин і рослин, 25 типів місць існування. Завдані довкіллю збитки, розраховані Держекоінспекцією України відповідно до затверджених методик, становлять понад 3,1 трлн грн. Масштаби екологічних злочинів загарбників величезні, потребують негайного припинення та повної компенсації російським режимом. *Ключові слова:* екоцид, російське вторгнення, шкода довкіллю, військові злочини, руйнування середовища.

Targeted criminal destruction of Ukraine's environment as a consequence of russian aggression. Kharchenko V., Kotynskyi A., Yakymenko I.

Russian full-scale invasion of Ukraine in February 2022 and the ongoing russian-Ukrainian war have a significant negative impact on the environment. Russia is waging the war in the manner of war crimes. To make the perpetrator responsible for all its crimes requires painstaking recording, which by itself demands careful counting, estimations and forecasts highlighted in relevant publications. So far, only a handful of scientific reports have been published with limited availability to the international community. One category of war crimes is ecocide – the purposeful devastation of ecosystems, which has the potential to trigger an environmental disaster. During the full-scale war, almost 7,0 thousand facts of causing damage to the environment as a result of russian aggression were officially documented. Over 70 million tons of pollutants were released into the air due to fires at industrial facilities and forests. About 1,1 million m² of land were contaminated with chemicals and almost 22 million m² were littered with physical objects. Tens of thousands of tons of foreign objects, materials and substances were dumped into land water bodies. And even more pollutants have entered seawater. Russia's war crime with the greatest one-time damage to the environment was the destruction of the dam of the Kakhovka Reservoir on the Dnipro River. As a result, 61 settlements were flooded, 465 tons of oil most likely got into the Dnipro River, 333 species of animals and plants, 25 types of habitats, were at risk of destruction. Environmental damage calculated by the State Environmental Inspection of Ukraine in accordance with approved methods, are equal to more than UAH 3.1 trillion. The scale of environmental crimes of russian invaders is huge, needs to be stopped immediately and fully compensated by russian regime. *Key words:* ecocide, russian invasion, environmental damage, war crimes, environmental devastation.

Постановка проблеми. Російська агресія є грубим порушенням принципів міжнародного права. Війна триває з 2014 року, а 24 лютого 2022 росія почала нову хвилю агресії, звану тепер повномасштабним вторгненням.

Росія вже вчинила незліченну кількість військових злочинів. Весь їх комплекс поділяють на 8 класів. І один із них – деградація екосистем (знищення і забруднення водойм, знищення представників видів, що перебувають під загрозою зникнення, пожежі на відповідних територіях, нерозірвані міни) [1].

Термін *екоцид* використовується в представленій статті для опису поточних військових злочинів росії, пов'язаних з навколишнім середовищем. Стаття 441 Кримінального кодексу України [2], екоцидом визна-

чає масове знищення біоти, отруєння повітря або води та інші дії, що можуть спричинити екологічне лихо, – і карається позбавленням волі на строк від 8 до 15 років.

Численні російські військові дії, що є екоцидом, вже задокументовано з 22 лютого 2022. Але такі злочини мали місце і в попередні вісім років війни.

Актуальність дослідження. Екоцид – небезпечніший, ніж просто шкода довкіллю. Він знищує можливість відновлення природи. Винищуються живі організми та середовище їх існування. Тобто компоненти неживої природи (грунти, води, повітря, гірські породи) теж піддаються руйнівному впливу.

Руйнування довкілля позначається на здоров'ї людей. Фізичне здоров'я залежить від чистого повітря і питної води, здорової їжі тощо. А психіці завдає

великої шкоди споглядання мертвих або поранених тварин, спалених лісів, ґрунту, пошкодженого вибухами, та інших актів екоциду.

Також екоцид завдає значної шкоди різним галузям економіки. Багато з її секторів істотно залежать від так званих безкоштовних екосистемних послуг [3], які не можуть бути забезпечені зруйнованим середовищем. Таким чином, екоцид має комплексний деструктивний вплив і на природне середовище, і на людину. Тому дослідження екоцидних злочинів є актуальним завданням.

Виклад основного матеріалу. Росія веде війну в спосіб військових злочинів, зокрема – екоциду. Щоб притягнути ворогів до відповідальності, необхідно ретельно фіксувати їх злочини й визначати завдані збитки. Зробити таке можливо з використанням ефективної методики оцінювати шкоди.

Методика оцінювання воєнних збитків навколишньому середовищу. Держекоінспекція України розробила методику розрахунку збитків внаслідок надзвичайних ситуацій та/або в умовах воєнного стану. Збитки, завдані війною, оцінені за такою методикою, перевищують 3,131 трлн грн. на грудень 2024 [4]. Такі збитки розраховані на основі методів зі стандартних практик США та ЄС, що стосуються шкоди лісовому й сільському господарству, якості води, ґрунту і повітря. Витрати розраховують на основі принципу втраченої продуктивності, тобто відновної вартості спалених лісів, втраченої продукції на забруднених с/г угіддях, витрат на рекультивацию забруднених ґрунтів тощо звичайними методами [1]. Уряд України використовує методику, яка базується на втрачених доходах від зборів, податків та інших платежів за забруднення, спричинене муніципальними і промисловими забруднювачами. Отримане число множать на кілька факторів, щоб відобразити збитки, завдані військовими руйнуваннями [1]. Результатом є зазначена сума – 3,13 трлн грн. Вона дуже відмінна від суми *Другої швидкої оцінки шкоди і потреб (RDNA2)*, проведеної Світовим банком, яка охоплювала перший рік повномасштабної війни. *RDNA2* оцінила збиток довкіллю та лісовому господарству в близько USD 2 млрд. Збитки, оцінені за той же час за методикою українського уряду, склали 27 млрд доларів [5].

Методика *RDNA2* базувалася на визначенні прямих збитків від руйнування або пошкодження фізичних активів та інфраструктури, оцінених у грошовому еквіваленті як витрати на заміну чи ремонт таких активів та інфраструктури з урахуванням доведеної вартості заміни активу. Тож аналіз *RDNA2* не враховує витрати на забруднення середовища через руйнування та нефункціонування багатьох складових – очисних споруд та ін., – а також витрати на відновлення екосистемних послуг чи компенсацію за їх погіршення. Українська оцінка шкоди може бути дещо завищеною, але ближчою до повного обсягу збитків довкіллю, які мають включати всю кількісну деградацію екосистем [5].

Принципи і методи оцінювання збитків, які застосовуються до екосистем, не відрізняються від застосовуваних до приватної власності, інфраструктури та об'єктів бізнесу. Компенсація має включати оцінку всіх компонентів активів (біотичних видів, їх середовищ) і вартості компанії (екосистеми), які прямо чи непрямо постраждали від війни. Є порівняльні стандарти і методи оцінювання довкілля, екосистем і цінних середовищних ресурсів, розроблені ООН, ЄС, USAID і *Національною стратегією з обліку природного капіталу США* [5].

Численними джерелами викладено різні методи оцінювання екосистемних послуг. Деякі методики базуються на використанні дистанційного зондування, супутникових зображень і ГІС для дистанційного оцінювання шкоди [6; 7; 8].

Акти екоциду, зафіксовані під час російської агресії. На кінець грудня 2024 року задокументовано 6 940 фактів заподіяння шкоди та збитків довкіллю через російську агресію [4]. І їх кількість постійно зростає.

Шкода щодо атмосферного повітря. Російськими атаками в Україні спалено мільйони тонн нафтопродуктів, а в атмосферу надійшло до 11 млн т забруднюючих речовин. Через лісові пожежі, спричинені агресорами, в повітря потрапило ще понад 59 млн т забрудників. Окупанти знищили понад 83 тис. га лісів [9]. Це значно перевищує територію Андорри та Мальти разом узятих.

Більше 2 млн м² інших об'єктів знищено пожежами від російських атак. В результаті в повітря потрапило майже 230 тис. т забруднюючих речовин. Загальний збиток від забруднення повітря перевищив 756,7 млрд грн. [9].

Пошкодження ґрунтів і земельних ресурсів. Південні та східні регіони України є нині найбільшими полями бойових дій. Означені регіони належать до степів. В посушливих умовах тут під трав'яною рослинністю сформувалися чорноземи. Завдяки їм, за даними *Управління міжнародної торгівлі США* [10], наша країна є одним із найродючіших місць планети – із 25-30 % світових запасів чорнозему з понад 40 млн га с/г угідь. На Україну припадає 6 % усіх калорій, що продаються на світовому ринку [11], від України в забезпеченні їжею залежать до 400 млн людей [12]. І це – без урахування самих українців.

Понад 1,12 млн м² земель забруднені хімікатами через дії окупантів. Ще більше землі всіяно фізичними об'єктами – до 22 млн м². Загальний збиток, заподіяний ґрунтовому компоненту, становить близько 1,19 трлн грн. [13].

Україна зазнала значного замінування – з лютого 2022 року могло бути встановлено до 2 млн мін [11]. Станом на липень 2024 понад 144 тис. км² території України вважають потенційно замінованими. Повне розмінування України потребує USD 37 млрд і понад 10 тисяч саперів. Із переліченого наша країна має поки лише фахівців із розмінування, та й то – тільки 3 тис. [14].

Шкода водним екосистемам і ресурсам. Україна належить до країн, яким загрожує дефіцит води. 75 % води, яка постачається українським споживачам, – із поверхневих джерел. Застарілі станції водопостачання й очисні споруди не можуть впоратися з поточними навантаженнями. Такі проблеми ще посилюються руйнуванням та пошкодженням інфраструктури, спричиненими війною [15].

Внаслідок російської агресії у наземні водойми потрапило 37,3 тис. т сторонніх предметів, матеріалів, відходів та/або інших речовин. Крім того, у поверхневі води було скинуто більше 2 тис. т забруднюючих речовин. Крім того, російські окупанти самовільно забрали та/або використали майже 21 млрд м³ прісної води. Також постраждали морські басейни. У води Чорного й Азовського морів скинуто близько 66,8 тис. т полютантів. Загальний збиток, завданий водним ресурсам, перевищив 84,6 млрд грн. [16].

У звіті за результатами 14-ї зустрічі Конференції Договірних сторін Рамсарської конвенції про водно-болотні угіддя [17] зазначається: триваючий напад росії на Україну є грубим порушенням Статуту ООН та основоположних принципів міжнародного права з гострими екологічними наслідками. Близько 30 % природоохоронних територій країни зазнали бомбардувань, забруднення, спалення або ураження військовими маневрами. У результаті 33 % водно-болотних угідь країни були окуповані або зазнали негативного впливу. Припускається, що пошкоджено близько 600 тис. га таких угідь. Крім того, 16 об'єктів все ще залишаються під загрозою прямих військових дій [17].

Під час війни важко оцінити шкоду морським екосистемам. Через низьку солоність й ізольованість Чорне й Азовське моря мають багате біорізноманіття і незвичайні біотопи [18]. Територіальними водами України є Північно-західна частина Чорного моря. Акваторія між узбережжям Одещини і Криму є шельфовою, а значна її частина має глибину менше 50 м. Тому в теплий період року вода добре прогрівається. Сюди ж впадають найбільші річки

Чорноморського басейну: Дунай, Дніпро, Дністер і Південний Буг, – насичуючи морську воду розчиненим киснем і поживними речовинами. Тому означена акваторія має вирішальне значення для біоти всього моря [19].

З 2014 року морські екосистеми систематично зазнавали негативного впливу окупантів. Найгірший приклад – Кримський міст. Його будівництво знищило унікальні екосистеми о. Тузла, перекрило шляхи міграції риб і китоподібних у Керченській протоці [18]. Тому Азовське море стало ще ізольованішим і зазнало різкого погіршення природних умов.

Щонайменше 2 500 мертвих дельфінів викинуто на берег із 24 лютого до травня 2022. Та реальне число – значно більше: море викидає лише до 5 % мертвих тварин. Тому, за вказаний період, ймовірно, загинуло до 50 000 дельфінів [20]. А це – п'ята частина від їх загальної кількості в Чорному морі.

Пошкодження через знищення військової техніки. Українська армія під час повномасштабної війни ліквідувала велику кількість ворожої техніки (рис. 1).

Загалом на 17 грудня 2024 знищено 94 370 одиниць. У результаті утворилося близько 1,46 млн т відходів. Крім того, в атмосферу викинуто полютантів масою понад 129,5 тис. т [20]. 29 одиниць російського військового флоту було затоплено у відкритих водах або знищено в портах. Як наслідок – всі шкідливі забруднювачі, можливо, навіть радіоактивні, потрапили в море.

Таким чином, руйнування довкілля, завдане Україні російським екоцидом, є безпрецедентним. Екосередовищні збитки, підраховані Держекоінспекцією України відповідно до міжнародно визнаних методів, становлять, як уже зазначалося, понад 3,1 трлн грн. [4], а екоцид через російську агресію триває досі. Доходи держбюджету України, для порівняння, у 2021 (до руйнування економіки повномасштабною війною) становили менше 1,3 трлн грн. [22].

Найбільша одноразова шкода українському довкіллю, завдана російськими терористами. Російським військовим злочином із найбільшою

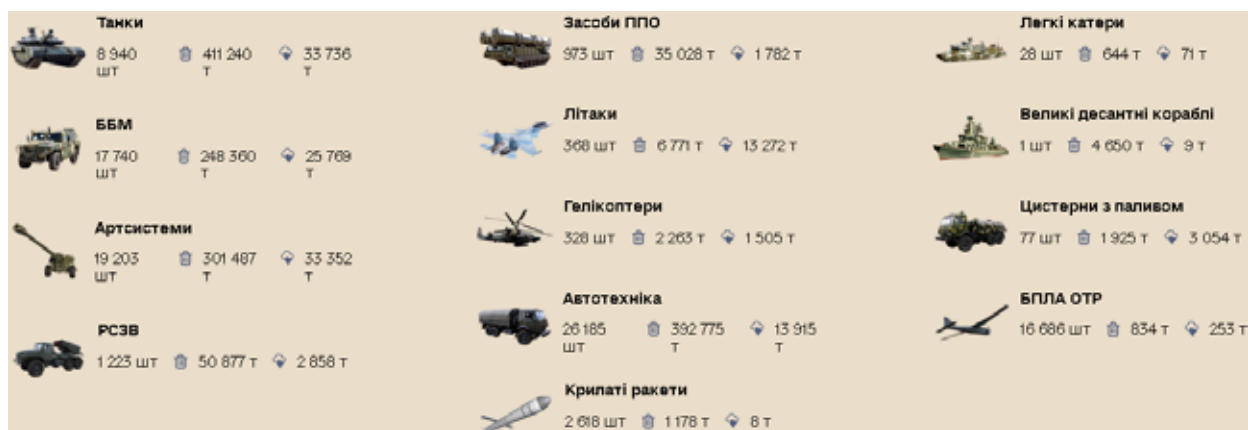


Рис. 1. Знищена ворожа техніка станом на 17 грудня 2024 року [21]

одноразовою шкодою для довкілля є руйнування дамби Каховського водосховища. Окупанти взяли під контроль Каховську ГЕС вже 24 лютого 2022 року. Згодом вона була замінована і 6 червня 2023 року підірвана [23].

Після руйнування Каховської ГЕС за короткий час було затоплено понад 75 тис. га землі, що призвело до різкої деградації ґрунтового покриву. Сполуки азоту, кальцію та інших поживних речовин були вимиті з землі руйнівною хвилею, внаслідок чого родючий шар ґрунту сильно постраждав [23].

Вода з водосховища неймовірно швидко надходила вниз за течією Дніпра. Площа підтоплених лісів склала 64,4 тис. га. Було підтоплено 61 населений пункт [23]: 30 із них (3 801 будинок) у Херсонській області та 31 (540 будинків) – у Миколаївській. Крім того, було підтоплено 856 городів і садів та 6,34 км² с/г угідь. Із затоплених поселень евакуювали понад дві тисячі людей [23]. Багато будинків і громадських закладів лишилися без централізованого енерго- й водопостачання, жителі були позбавлені доступу до важливих послуг, зокрема – транспортних [24].

Обладнання ГЕС і сховище мастильних продуктів містили 465 т мастил, які після вибуху, найімовірніше, потрапили у довкілля. У зону затоплень також увійшли території Херсонської нафтобази, річкових і морських портів, які теж є місцями концентрації нафтопродуктів і небезпечних відходів [23].

Загалом нині під загрозою знищення перебувають представники 333 видів тварин і рослин із різним природоохоронним статусом, а також 25 типів місць існування. Потенційно постраждали 9 територій Смарагдової мережі [23] – загальноєвропейської мережі охоронюваних територій, створеної для захисту представників біотичних видів і середовищ існування, яким загрожує зникнення в континентальному масштабі [25].

Саме водосховище також було об'єктом Смарагдової мережі – площею 218 119 га [23]. Його фауна включала риб 55 видів і зоопланктон понад 150 видів. Водно-болотні угіддя, пов'язані з водоймою, були середовищем існування птахів понад 150 видів, в тому числі тих, що охороняються міжнародними договорами України. 7 червня 2023 зафіксовано масову загибель водних біоресурсів – 28 500 карасів сріблястих (*Carassius gibelio*), через швидке зниження рівня води (8-10 см/год) в акваторії Мар'янської затоки Каховського вдсх [23]. Тож рибна галузь також зазнала великих фінансових втрат.

Потенційно постраждали кілька *Рамсарських угідь*. Такі угіддя стосується місць, де мешкають представники рідкісних або унікальних типів водно-болотних угідь, а також охоплюють території міжнародного значення для збереження біорізноманіття [26]. Руйнування дамби та різкий спад води з Каховського вдсх призвели до екосередовищних змін таких Рамсарських угідь: затоплення *Dnipro*

River Delta, докорінна зміна гідрорежиму і водовідведення *Archipelago Velyki and Mali Kuchugury* та *Sim Maiakiv Floodplain* [23].

Дев'ять мисливських угідь на площі 395,03 тис. га постраждали на Херсонщині. Чисельність тварин на означеній території становила орієнтовно: копитних – 1 059 особин; хутрових – 22 085; птахів – 160 000. Ще 8 таких угідь на площі 8 285 га частково пошкоджено на Миколаївщині [23].

Руйнування окупантами Каховської дамби стало катастрофою також для Чорного моря. Прісна вода, забруднена паливно-мастильними матеріалами, добривами та стоками із затоплених населених пунктів і полів, швидко надійшла в море у великих обсягах і поширилася на великі акваторії [24].

Менш ніж за 10 днів води Каховського вдсх течіями поширилися вздовж західного узбережжя України смугою площею понад 7 300 км² [27]. Деякі екосистеми та представники біоти опинилися під загрозою зникнення. Вже 15 червня 2023 забруднені води досягли гирла Дунаю і вийшли за межі України.

Орієнтовна сума збитків, завданих довкіллю внаслідок підризу росією Каховської ГЕС, становить 146,4 млрд грн. [23]. Точні підрахунки збитків потребують додаткових досліджень, а здійснити точне оцінювання втрат на тимчасово окупованих територіях поки неможливо.

Висновки. Російська агресія проти України є грубим порушенням міжнародного права з гострими наслідками для довкілля. Росія використовує тактику військових злочинів, зокрема – екоцид. Тобто – використання природи як зброї для цілеспрямованого руйнування екосистем, що призводить до екосередовищних катастроф. Задokumentовано майже 7 тисяч випадків шкоди і руйнування довкілля, завданих загарбниками під час повномасштабної війни.

Збиток, заподіяний довкіллю України через військові злочини росії, нині перевищує 3,13 трлн грн. Такі збитки майже в 2,5 рази перевершують доходи державного бюджету України, які були до повномасштабної війни.

Точно підрахувати збитки, завдані екосистемам тимчасово окупованих територій України, досі неможливо. Крім того, застосована Держжекоінспекцією методика оцінювання збитків не враховує витрати на відновлення деградованих екосистемних послуг чи компенсацію за їх погіршення. Масштаби російських екосередовищних злочинів в Україні вже безпрецедентні. В інтересах міжнародного співтовариства вжити всіх можливих заходів, щоб зупинити агресора та змусити його повністю відшкодувати завдані збитки.

Подяка. Автори вдячні Збройним Силам України за захист і можливість провести представлений аналіз.

Підтримано проектами програми *Erasmus+* #101085243-ProEU-ERASMUS-JMO-2022-HEI-TCHRSCH і #101127449-EcoEurope-ERASMUS-JMO-2023-HEI-TCH-RSCH.

Література

1. Стахів Є., Демиденко А. Визначення, оцінка та розрахунок воєнної шкоди довкіллю України. *Світогляд*. 2023. № 4. С. 17-25.
2. Кримінальний кодекс України. *Відомості Верховної Ради України*. 2001. № 25-26. С. 131.
3. Бондар О.І., Гандзюра В.П., Матвієнко М.Г. Вплив воєнних дій та їх наслідків на довкілля України. *Екологічні науки*. 2024. № 1. С. 7-15.
4. Наслідки воєнних дій та вплив на довкілля. *ЕкоЗагроза*. 2024. URL: <https://ecozagroza.gov.ua> (дата звернення 18.12.2024).
5. Стахів Є., Демиденко А. Як правильно рахувати екологічні збитки України від війни? *Вокс Україна*. 2023. URL: <https://voxukraine.org/yak-pravylny-rahuvaty-ekologichni-zbitky-ukrayiny-vid-vijny> (дата звернення 2.12.2024).
6. Markandya A. Valuation of ecosystem services. *Forum on Natural Capital Accounting*. November 2019. URL: https://seea.un.org/sites/seea.un.org/files/2.2.1_valuation_of_ecosystem_services.pdf (дата звернення 3.12.2024).
7. *Encyclopedia of Soils in the Environment: 6 volumes / Editors-in-Chief: Goss, M.J., Oliver, M.A.* Amsterdam: Elsevier Ltd., 2023. Vol. 3. P. 547-554.
8. Laurans Y., Rankovic A., Billé R., Pirard R., Mermet L. Use of ecosystem services economic valuation for decision making: Questioning a literature blindspot. *Journal of Environmental Management*. 2013. № 119. P. 208-219.
9. Завдані збитки. Атмосферне повітря. *ЕкоЗагроза*. 2024. URL: <https://ecozagroza.gov.ua/damage/air> (дата звернення 5.12.2024).
10. Ukraine adopts land reform. Market Intelligence. The International Trade Administration, U.S. Department of Commerce. Washington, 2020. URL: <https://www.trade.gov/market-intelligence/ukraine-adopts-land-reform> (дата звернення 5.12.2024).
11. HALO's Ukrainian staff. 2024. URL: <https://www.halotrust.org/where-we-work/europe-and-caucasus/ukraine> (дата звернення 9.12.2024).
12. Yang R. Improving Food Security in Ukraine Through Demining. DipNote. The U.S. Department of State. 2024. URL: <https://www.state.gov/improving-food-security-in-ukraine-through-demining> (дата звернення 8.12.2024).
13. Завдані збитки. Земельні ресурси. *ЕкоЗагроза*. 2024. URL: <https://ecozagroza.gov.ua/damage/shove> (дата звернення 9.12.2024).
14. Кузьменко Ю. Понад 144 тисячі кв. км України вважаються потенційно замінованими – нові дані МВС. *Суспільне новини*. 2024. URL: <https://suspilne.media> (дата звернення 9.12.2024).
15. Protection of water resources of Ukraine: from crisis to recovery. *WAREG Newsletter*. 2023. URL: <https://www.wareg.org/articles/protection-of-water-resources-of-ukraine-from-crisis-to-recovery> (дата звернення 12.12.2024).
16. Damage caused. Aquatic resources. *EcoZagroza*. 2024. URL: <https://ecozagroza.gov.ua/en/damage/water> (дата звернення 12.12.2024).
17. Wetlands Action for People and Nature. *14th Meeting of the Conference of the Contracting Parties to the Ramsar Convention on Wetlands*. Wuhan, 2022. URL: https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/cop14_report_e.pdf (дата звернення 14.12.2024).
18. Sadogurska S. Impact of Russia's invasion of Ukraine on the Black Sea and the Sea of Azov. *UWEC*. 2023. URL: <https://uwecworkgroup.info/impact-of-russias-invasion-of-ukraine-on-the-black-and-azov-seas> (дата звернення 17.12.2024).
19. Kharchenko V. The impact of a full-scale war on the Black sea ecosystems of Ukraine and the entire sea in general. *European Dimensions of Sustainable Development: Selected papers of the V International Conference (Kyiv, June 1 – 2, 2023.)*. Kyiv: NUFT, 2023. P. 149-158. URL: https://drive.google.com/file/d/1WX_EmxuT5zCCQDz5qKuV0RyTrS4PCF2l/view (дата звернення 15.12.2024).
20. Барсукова О. Через кораблі окупантів у Чорному морі загинуло, ймовірно, близько 50 тисяч дельфінів. *Українська Правда. Життя*. 2022. URL: <https://life.pravda.com.ua/society/2022/10/23/250968> (дата звернення 15.12.2024).
21. Знищена техніка окупанта. *ЕкоЗагроза*. 2024. URL: <https://ecozagroza.gov.ua> (дата звернення 17.12.2024).
22. Виконання державного бюджету України. *Мінфін. Індекси*. 2021. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/finance/budget/gov/2021> (дата звернення 18.12.2024).
23. Оперативна інформація за наслідками підриву Каховської ГЕС станом на 06:00 13.06.2023. *ЕкоЗагроза*. 2023. URL: <https://ecozagroza.gov.ua> (дата звернення 23.12.2024).
24. Kharchenko V., Kotynsky A., Yakymenko I. Ecocide of the environment of Ukraine as a result of russia's war crimes. *European Dimensions of Sustainable Development: Selected papers of the VI International Conference (Kyiv, May 15 – 17, 2024.)*. Kyiv: NUFT, 2024. P. 415-425. URL: <https://drive.google.com/file/d/1YuVY95x-nAZ6J6bK8aSWVgCHxIMN9paq/view> (дата звернення 22.12.2024).
25. Мережа емеральд. Наша діяльність. *Українська природоохоронна група*. 2024. URL: <https://uncg.org.ua/emerald> (дата звернення 22.12.2024).
26. Ramsar site. Glossary. *UNESCO. World Heritage Convention*. 2024. URL: <https://whc.unesco.org/en/glossary/344> (дата звернення 22.12.2024).
27. Забруднення Чорного моря як наслідок аварійної ситуації, яка склалася після підриву греблі Каховської ГЕС. *УкрНЦЕМ*. 2023. URL: https://sea.gov.ua/index.php/2023/06/27/ges_explosion_conseq (дата звернення 23.12.2024).

АНАЛІЗ ДІЇ ПРЕПАРАТІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ДЛЯ БІОРЕМЕДІАЦІЇ ҐРУНТІВ ТА ДЕГРАДАЦІЇ ЗАЛИШКІВ ГЕРБІЦИДІВ

Кібаров О.І., Трохименко Г.Г.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
пр. Центральний, 3, 54029, м. Миколаїв
kibarovoleg9@gmail.com

У дослідженні представлений аналіз дії існуючих добрив та органічних добавок, які сприяють біодеградації залишків гербіцидів у ґрунті та забезпечують стабільний ріст і розвиток сільськогосподарських культур. Розглянуто можливість та ефективність застосування таких препаратів для біоремедіації забруднених ґрунтів, а також специфіку поєднання таких препаратів з гербіцидами та іншими агрохімікатами. Також у роботі представлено дослідження дії експериментального біостимулятора на основі гумінових і фульвових кислот у комбінації з гербіцидами як суцільної, так і селективної дії. Основними методами дослідження є експеримент, порівняння та аналіз.

У цій роботі під словом «біостимулятор» мається на увазі будь-яка речовина або мікроорганізм, який застосовується до рослин для підвищення ефективності живлення, стійкості до абіотичного стресу та/або якості врожаю, незалежно від вмісту поживних речовин. Застосування біостимуляторів рослин у виробництві може зменшити застосування традиційних пестицидів і хімічних добрив і підвищити якість і врожайність сільськогосподарських культур, що сприяє сталому розвитку сільського господарства. Глибоке розуміння механізму та ефекту різних є дуже важливим для того, як розумно та ефективно застосовувати такі препарати у практиці рослинництва.

Мета цієї роботи полягала у аналізі та узагальненні основних класифікацій біостимуляторів росту рослин, а також демонстрації результату дослідження антистресової дії експериментального біостимулятора «БіоФульво» на фітоіндикатор *Sorghum drummondii*. Водночас було узагальнено вплив застосування таких препаратів на схожість насіння, енергію розсади, урожайність та якість. *Ключові слова*: забруднення ґрунту, відновлення ґрунту, біоремедіація, стимулятори росту, гербіциди, фульвові кислоти, гумінові кислоти.

Analysis of the effect of agricultural products for soil bioremediation and degradation of herbicides residues. Kibarov O., Trokhymenko G.

The study presents an analysis of the action of existing fertilizers and organic additives that promote the biodegradation of herbicide residues in the soil and ensure stable growth and development of crops. The possibility and effectiveness of using such preparations for bioremediation of contaminated soils are considered, as well as the specifics of combining such preparations with herbicides and other agrochemicals. The work also presents a study of the action of an experimental biostimulant based on humic and fulvic acids in combination with herbicides of both continuous and selective action. The main research methods are experiment, comparison and analysis.

In this work, the word «biostimulant» means any substance or microorganism that is applied to plants to increase the efficiency of nutrition, resistance to abiotic stress and/or crop quality, regardless of the nutrient content. The use of plant biostimulants in production can reduce the use of traditional pesticides and chemical fertilizers and increase the quality and yield of crops, which contributes to the sustainable development of agriculture. A deep understanding of the mechanism and effect of various is very important for how to reasonably and effectively use such drugs in crop production practice.

The purpose of this work was to analyze and summarize the main classifications of plant growth biostimulants, as well as to demonstrate the result of a study of the anti-stress effect of the experimental biostimulant «BioFulvo» on the phytoindicator *Sorghum drummondii*. At the same time, the effect of the use of such drugs on seed germination, seedling vigor, yield and quality was summarized. *Key words*: soil contamination, soil restoration, bioremediation, growth stimulants, herbicides, fulvic acids, humic acids.

Постановка проблеми. Світове споживання гербіцидів зараз досягає приблизно одного мільйона тонн на рік, в основному завдяки розширенню їх використання для боротьби з бур'янами у сільському господарстві. Широке використання гербіцидів викликало занепокоєння щодо впливу їх залишків на здоров'я людини та екологію ґрунту. Гербіциди не лише викликають запалення у тонкому та товстому кишечнику людини, але й негативно впливають на мікро-

біом ґрунту та пов'язане з ним функціонування екосистеми. Поглиблені дослідження того, як залишки гербіцидів модифікують ґрунтову мікрофлору та змінюють едафотоп, мають вирішальне значення для майбутнього сталого сільського господарства та добробуту суспільства. Ґрунтові екосистеми за своєю суттю багатофункціональні та багатовимірні. Функції ґрунту включають регулювання клімату, первинну продуктивність, секвестрацію вуглецю, постачання

поживних речовин та їхній кругообіг, підтримку біорізноманіття, а також очищення води та регулювання її якості. Ці функції впливають на збільшення довгострокових порушень у компонентах навколишнього середовища та людських потреб, наслідком яких є інтенсифікація використання сільськогосподарських земель, хімізація продукції сільськогосподарського виробництва, накопичення забруднювачів і зміна клімату. Застосовані гербіциди атразин і ацетохлор пригнічували активність ґрунтових ферментів і функції клітинної рухливості, клітинних процесів, передачі сигналів, реплікації та відновлення, а також енергетичного метаболізму. Деякі типи залишків гербіцидів на короткий термін впливають на окислення та відновлення сірки, зменшують поглинання фосфору, зменшують мінералізацію вуглецю та пригнічують фіксацію азоту, змінюючи загальні функції ґрунту [13].

Актуальність дослідження. Із розвитком виробництва та збільшенням чисельності населення зростає необхідність збільшення сільськогосподарської продукції з меншими затратами ресурсів. Біостимулятори рослин є одним із найбільш відомих стійких рішень, враховуючи їх природне походження та їхній потенціал замінити звичайні методи ведення сільського господарства. Біостимулятори, такі як гумінові речовини, гідролізати білка, екстракти морських водоростей, мікроорганізми та їхні консорціуми, мають доведений потенціал для покращення росту рослин, збільшення врожайності культур та якості врожаю, а також біоремедіації ґрунтів. Однак багатомолекулярна природа та різноманітний склад комерційно доступних біостимуляторів створює проблеми при спробі з'ясувати основні механізми їхньої дії.

Хоча більшість публікацій зосереджено на широкому спектрі впливу біостимуляторів на сільськогосподарські культури [14, 15], останні дослідження на молекулярному рівні почали розкривати механізми, що запускаються певними продуктами на клітинному та генному рівнях. Розуміння молекулярної взаємодії самих препаратів та їхнього синергічного або кумулятивного ефектів може призвести до подальшого вдосконалення методів захисту культурних рослин та біоремедіації ґрунтів.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Оскільки наукове співтовариство закликає до більшої стійкості ведення сільського господарства, створення екологічно чистих агросистем, дослідження природних засобів боротьби з бур'янами та збільшення врожайності як альтернативи традиційним хімічним методам, існує необхідність дослідження дії біостимуляторів на основі гумусових речовин у поєднанні з гербіцидами та створення оптимальної схеми використання таких препаратів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Гумінові і фульвові кислоти або гумінові речовини

вже деякий час діють як біостимулятори з доведеною біологічною дією. Вони складаються з органічних сполук, отриманих у результаті розкладання мертвої біоти в ґрунтах. Гумінові кислоти (ГК) є дуже гетерогенними у своїй молекулярній комбінації та здебільшого несприйнятливими до мікробного розкладання. На сьогоднішній день існує значна кількість досліджень щодо аналізу впливу цих речовин на здорове функціонування рослин та загальну біоремедіацію ґрунту. Коли мова йде про рослини, вплив ГК на ріст може бути непрямим, починаючи від збільшення мікробної популяції, покращення здатності до катіонного обміну та буферних властивостей ґрунту, підвищення доступності та мобілізації поживних речовин у ґрунті та покращення структури ґрунту [1]. Прямий вплив здійснюється на молекулярні механізми, таких процесів як фотосинтетична активність, синтез білка та ферментативна активність, а також на фітогормони. Зважаючи на те, що ГК є багатфункціональними біостимуляторами, все ще існує потреба у подальших дослідженнях щодо їхньої ефективності та способу дії.

Гумінові кислоти мають гормоноподібну поведінку, причому найбільш поширеною є наявність ауксину, молекул, що імітують ту саму функцію або взаємодію із сигнальними сисемами рослинних гормонів. Однак, було також виявлено, що ГК збільшує експресію пероксидази (POD), яка, як зазначається, бере участь у метаболізмі ауксину [2]. В останніх дослідженнях було показано, що позакореневе внесення ГК покращує врожайність у різних генотипів *Brassica napus*. Крім того, спостерігається збільшення вмісту хлорофілу, яке могло бути пов'язане зі збільшенням швидкості фотосинтезу та активності ферменту «RuBisCO» (Рибулозобісфосфаткарбоксилаза). Попередні дослідження показали, що деякі ГК не містять важливих для розвитку рослин компонентів, оскільки складаються переважно з вуглецю, водню та кисню [3].

Подібно до гумінових кислот, фульвокислоти складаються з великої кількості карбоксильних груп (COOH), а також мають велику кількість фенольних сполук і низьку кількість ароматичних структур. У той час як більшість досліджень на сьогоднішній день описує вплив фульвокислот у поєднанні з гуміновими або екстрактами морських водоростей, деякі дослідження вивчали вплив фульвокислот окремо на ріст рослин. Наприклад, було виявлено, що біостимулятори на основі фульвових кислот покращують проростання ярої пшениці (*Triticum aestivum*), ячменю (*Hordeum vulgare*) і цукрового буряка (*Beta vulgaris*), а також збільшують довжину пагонів і суху вагу пагонів і коренів. У тому самому дослідженні показано покращення якості зерна та врожайності ярої пшениці, а також загальної врожайності цукрових буряків. Низька молекулярна маса ФК дозволяє їм проникати крізь пори мембран і, утворюючи комплекси з катіонами, це може призвести до тран-

спортування поживних речовин у клітину [4]. Крім того, було виявлено, що фульвокислоти сприяють змінам у коренях *Medicago sativa*, посилюючи регуляцію генів, зв'язаних з біологічними процесами метаболізму азоту, транспортерів поживних речовин і гідролаз. Інші дослідження спостерігали збільшення вмісту ліпідів, що корелює з використанням жирних кислот, оскільки ці речовини, здавалося б, активізували гени, які пов'язані з біосинтезом ліпідів, а також інші гени, які пов'язані з транспортерами калію, деградацією крохмалю та метаболізмом рослин [5]. Як зазначалося раніше, абіотичний стрес має великий вплив на результати сільськогосподарської діяльності. Подібно до гумінових кислот, фульвокислоти також можуть відігравати потенційну роль біостимуляторів у боротьбі з абіотичним стресом. Наприклад, посуховий стрес призводить до швидкого накопичення активних форм кисню у рослинній тканині, викликаючи різноманітні негативні ефекти на клітинному рівні, які можуть бути послаблені функцією аскорбінової кислоти. Примітно, що застосування фульвокислот покращує аскорбат, глутатіон і флавоноїди шляхом активації генів, пов'язаних з їх метаболізмом, пом'якшуючи негативні наслідки стресу від посухи.

Інші дослідження показали, що використання фульвокислот у комбінації з нафтодеструкторами (роду *Bacillus*) при вуглеводному забрудненні ґрунту важкими нафтовими фракціями (нафтошлам) справляло виражений позитивний ефект на ріст та врожайність рослин [6]. Найбільш чутливими показниками фітотоксичності ґрунту були енергія проростання насіння та накопичення рослинної біомаси. Аналіз фітотоксичності показав (Таблиця 1), що через 3 місяці з використанням нафтодеструкторів токсичність у комбінації з фульвокислотами знизилася на 21,46–33,76%, а у варіанті без них – на 8,93–17,47%.

Застосування фульвокислот дозволяє покращити параметри росту рослин, збільшити вміст фотосинтетичних пігментів, каротиноїдів, загальних фенолів, флавоноїдів та концентрацію макроелементів.

Незважаючи на те, що деякі автори класифікують інокуляти мікроорганізмів як біодобрива, їх цілком можна назвати біостимуляторами. Біостимулятори на основі грибів і бактерій можуть зіграти певну роль у пом'якшенні впливу сільськогосподарської діяльності на навколишнє середовище, наприклад,

позитивно впливаючи на біорізноманіття ґрунту. Крім того, мікроорганізми відіграють ключову роль у філосфері, ризосфері та ендосфері рослин, збільшуючи доступність певних поживних речовин і полегшуючи їх поглинання, причому симбіоз між ними є ключовим фактором їх еволюції. Більшість мікроорганізмів, які прямо чи опосередковано взаємодіють з рослинами, називаються бактеріями, що сприяють росту рослин, що включає як вільноживучі бактерії в ґрунті, так і ризобактерії, які колонізують ризосферу. Цим мікроорганізмам приписують кілька функцій, включаючи синтез регуляторів росту рослин і солюбілізацію неорганічних поживних речовин. Види агрономічно корисних мікроорганізмів, такі як *Arthrobacter* spp., *Pseudomonas* spp., *Rhodococcus* spp., *Enterobacter* spp., *Ochrobactrum* spp., *Acinetobacter* spp., *Bacillus* spp., *Rhizobium* spp., *Streptomyces* spp. активно вивчалися з метою дослідження їхньої потенційної ролі як біостимуляторів, причому деякі з них уже комерціалізовані [7].

У випадку *Bacillus* spp., ці бактерії діють не тільки як біофунгіциди, сприяючи здоров'ю рослин і ґрунту, але також як біостимулятори завдяки виробленим метаболітам і солюбілізації основних поживних речовин до більш простих форм для поглинання коренем. Ці мікроорганізми також пов'язані з виробництвом речовин, що стимулюють ріст, таких як цитокініни, спермідини, гібереліни та ін. У нещодавніх дослідженнях було виявлено, що *Bacillus pumilus* збільшує вміст поживних речовин у плодах і врожайність плодів томатів (*Solanum lycopersicum*), а у поєднанні з *Pseudomonas putida* спостерігалось збільшення врожаю здорових плодів. Три штами *Bacillus velezensis* також досліджували на пшениці (*Triticum aestivum*), де вони позитивно впливали на ранній розвиток, підвищуючи концентрацію макро- та мікроелементів у рослині у тепличних умовах [8]. Крім того, ті самі автори виявили збільшення врожайності зерна пшениці, вирощеної в умовах низького вмісту азоту, при інокуляції *Bacillus velezensis*. Фактично, хоча обмежена доступність азоту в ґрунті може погіршити ріст рослин, деякі *Bacillus* spp. штами здатні виробляти його з атмосферного N₂, що призводить до підвищення врожаю та посилення росту рослин. Крім того, недавні дослідження [9] повідомили, що *Bacillus megaterium* може пом'якшити негативний вплив на ріст коренів у пшениці, спричинений високими концентраціями азоту

Таблиця 1

Фітотоксичний ефект нафтозабрудненого ґрунту за використання нафтодеструкторів, % [6]

Концентрація фульвокислот	Концентрація нафтошламу		
	60%	70%	80%
1%	66,24	78,54	97,95
0,2%	69,35	87,80	98,48
0%	82,53	91,07	100

в ґрунті, що може бути пов'язано з використанням азоту самими бактеріями. Ця подвійність функцій штамів *Bacillus* відкриває можливість багатопільового використання, оскільки як низькі, так і високі концентрації азоту у ґрунті впливають на ріст рослин і врожайність.

Що стосується грибів, то один із найбільш перспективних видів належить до роду *Trichoderma*. Незважаючи на те, що вони зазвичай асоціюються з біопестицидами, штами *Trichoderma* spp. набувають все більшого інтересу як біостимулятори завдяки їхній здатності підвищувати стійкість до абіотичних стресів і збільшувати ріст рослин, стимулювати розвиток і підвищувати врожайність. Нещодавні дослідження [10] показали вплив біостимуляторів на основі *Trichoderma virens* GV41 як у салаті, так і в руколі, спостерігаючи збільшення вмісту фенолу та антиоксидантної активності та покращену ефективність використання азоту в салаті, припускаючи їх потенційне підвищення родючості ґрунту. Дослідження з використанням штамів *Trichoderma* та їх біоактивних метаболітів, окремо або в поєднанні, повідомили про збільшення росту рослин сої, а також вмісту жирних кислот і мінералів у її насінні. Також було показано, що *Trichoderma harzianum* T22 має біостимулюючі властивості у пшениці, збільшуючи свіжу вагу колоска та суху вагу пагонів за нормальних умов, одночасно збільшуючи кількість стебел, суху вагу та свіжу вагу колоска за умов водного стресу [11]. Повідомляється, що цей штам *Trichoderma* впливає на збільшення біомаси пшениці в умовах низької доступності азоту, що може свідчити про підвищення стресостійкості. Подібним чином інші автори спостерігали збільшення поглинання азоту і врожайності в салаті з використанням біостимуляторів «*Trichoderma virens* GV 41». Було також показано, що «*Trichoderma saturnisporum*» покращує схожість, підвищує врожайність, а також призводить до кращої якості плодів дині [12]. Крім загальних висновків про збільшення біомаси, врожайності, поглинання поживних речовин, вмісту антоціанів і антиоксидантів, протеомний аналіз показав підвищені рівні білків, які беруть участь у метаболізмі вуглеводів, гліколізі та спиртовому бродінні. Ці роботи відображають проблеми недооцінки усього різноманіття молекулярних ефектів біостимуляторів, бо саме вони відкривають шлях для подальшого застосування біостимуляторів у сільському господарстві.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Антистресова дія фульвових і гумінових кислот проявляється також у роботі з пестицидами. Застосування їх разом із протруювачами зменшує інгібуючий вплив на проростання зародка насіння, підвищує темпи зростання та розвитку рослин. Тому існує необхідність подальших досліджень дії таких препаратів у поєднанні з гербіцидами як селективної, так і суцільної дії.

Новизна. У роботі представлені дослідження можливої антистресової дії біостимулятора на основі фульвових і гумінових кислот у поєднанні з бактеріями «*Bacillus amyloliquefaciens*» на фітоіндикатор *Sorghum drummondii* (суданська трава).

Методологічне або загальнонаукове значення. Розуміння взаємодії гумінових і фульвових кислот з діючими речовинами популярних гербіцидів надасть можливість розробити оптимальну схему використання таких препаратів та забезпечити безпечне застосування протруювачів у сільському господарстві.

Основний матеріал. Для дослідження впливу фульвових кислот у сприянні біодеградації гербіцидів був використаний експериментальний препарат «БіоФульво», який виготовляється у процесі переробки органічної сировини (висівки, дробина, зерновідходи, солодові паростки, тощо), тому він віднесений до екологічно безпечних. У складі добрива переважають фізіологічно активні низькомолекулярні фульвокислоти – від 150 до 200 г/л, вміст гумінових кислот до 10 г/л, у сухому залишку міститься більше 900 г/кг органічної речовини. Враховуючи, що у складі добрива переважають фульвові кислоти, можна стверджувати про їхню значну фізіологічну активність та позитивну дію на ріст і розвиток сільськогосподарських культур.

У дослідженні застосовувались гербіциди селективної дії (Хізалофоп-П-етил, Метолахлор, Прометрин), а також неселективні (Калійна сіль гліфосату). На рис. 1 можна побачити відсоток схожості оброблених гербіцидами рослин та препаратом «БіоФульво» у різних концентраціях.

Рослини, які були оброблені пестицидами та 10% розчином «Біофульво», не проросли, за винятком декількох випадків, у яких рослини загинули на 12–19 день дослідження. У середньому, 10% розчин «БіоФульво» загальмував розвиток рослин приблизно у 1,5 рази. Однак, 5% розчин препарату значно зменшив інгібуючу дію гербіцидів як суцільної, так і селективної дії на розвиток фіто-індикатора (рис. 2).

Якщо аналізувати винятково вплив біостимулятора на ріст рослини (таблиця 2), то можна побачити, що 5% розчин препарату пригнічував розвиток рослини приблизно на 16%, а 10% розчин – у півтори рази. Кількість і якість паростків варіювалася приблизно однаково у всіх досліджуваних комбінаціях.

Отже, препарат на основі фульвових кислот позитивно впливав на відсоток схожості та показники росту оброблених рослин, але при більшій концентрації, у більшості випадків, мав інгібуючий вплив на фітоіндикатор за рахунок підвищення рН ґрунту. Тому, при використанні таких препаратів слід враховувати тип оброблюваного ґрунту, його властивості, а не тільки кумулятивний ефект дії препаратів.

Головні висновки. Враховуючи неминучі наслідки абіотичного стресу через забруднення ґрунту пестицидами, біостимулятори можуть забез-



Рис. 1. Відсоток схожості рослин, які були оброблені пестицидами та препаратом «БіоФульво»

Середня висота рослин, оброблених гербіцидами, мм

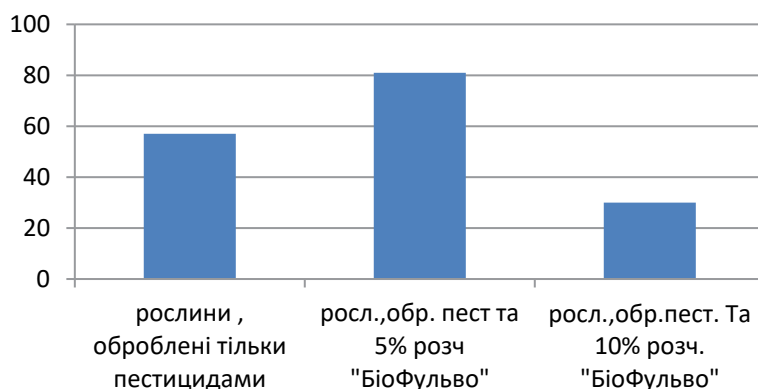


Рис. 2. Результати впливу препарату «БіоФульво» на ріст рослин, оброблених пестицидами

Таблиця 2

Вплив досліджуваних гербіцидів та біостимулятора на ріст і розвиток фітоіндикатору *Sorghum drummondii*

Розвиток фітоіндикатору (у см)					
Рослини, які поливалися лише водою		Рослини, які поливалися водою та 5% розчином «БіоФульво»		Рослини, які поливалися водою та 10% розчином «БіоФульво»	
Горщик № 1	190 см	Горщик № 1	150 см	Горщик № 1	137 см
Горщик № 2	153 см	Горщик № 2	147 см	Горщик № 2	117 см
Горщик № 2	138 см	Горщик № 3	139 см	Горщик № 3	106 см

печити рішення для пом'якшення впливу пестицидів на стан та властивості ґрунту при вирощуванні сільськогосподарської продукції. Незважаючи на це, варто враховувати низку факторів: ефекти можуть відрізнятися між видами сільськогосподарських культур, процесами екстракції/виробництва біостимуляторів і співвідношення їхніх компонентів. Біологічно активні речовини можуть відрізнятися за принципом дії, а різні біостимулятори можуть діяти

по-різному на один і той самий вид рослини. Таким чином, розширення знань молекулярних механізмів дії препаратів, може відкрити низку можливостей для більш ефективного використання цих продуктів. Потенціал цих продуктів для підвищення стійкості сільського господарства та підвищення продовольчої безпеки може бути реалізований завдяки колективній співпраці наукового співтовариства та виробників сільськогосподарської продукції.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані результати дослідження допоможуть краще розуміти механізм взаємодії фульвових і гумінових кислот з гербіцидами зазначених класів

та розробити оптимальну схему використання та комбінацій подібних біостимуляторів для досягнення більш ефективного результату для відновлення ґрунту та ефективного ведення агровиробництва.

Література

1. Gerke J. Review Article: The Effect of Humic Substances on Phosphate and Iron Acquisition by Higher Plants: Qualitative and Quantitative Aspects. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2021;184:329–338.
2. Elmongy M.S., Wang X., Zhou H., Xia Y. Humic Acid and Auxins Induced Metabolic Changes and Differential Gene Expression during Adventitious Root Development in Azalea Microshoots. *HortScience.* 2020;55:926–935.
3. Jannin L., Arkoun M., Ourry A., Lâiné P., Goux D., Garnica M., Fuentes M., Francisco S.S., Baigorri R., Cruz F., et al. Microarray Analysis of Humic Acid Effects on Brassica napus Growth: Involvement of N, C and S Metabolisms. *Plant Soil.* 2012;359:297–319.
4. Canellas L.P., Olivares F.L., Aguiar N.O., Jones D.L., Nebbioso A., Mazzei P., Piccolo A. Humic and Fulvic Acids as Biostimulants in Horticulture. *Sci. Hortic.* 2015;196:15–27.
1. Priya B.N.V., Mahavishnan K., Gurumurthy D.S., Bindumadhava H., Upadhyay A.P., Sharma N.K. Fulvic Acid (FA) for Enhanced Nutrient Uptake and Growth: Insights from Biochemical and Genomic Studies. *J. Crop Improv.* 2014;28:740–757.
5. Vladyslav Nedoroda, Ganna Trokhymenko, Oleh Kibarov : Analysis of the feasibility of using fertilizers based on fulvic acids in bioremediation of contaminated soil, 2024.
6. Zhao D., Zhao H., Zhao D., Zhu X., Wang Y., Duan Y., Xuan Y., Chen L. Isolation and Identification of Bacteria from Rhizosphere Soil and Their Effect on Plant Growth Promotion and Root-Knot Nematode Disease. *Biol. Control.* 2018.
7. Nguyen M.L., Glaes J., Spaepen S., Bodson B., du Jardin P., Delaplace P. Biostimulant Effects of Bacillus Strains on Wheat from in Vitro towards Field Conditions Are Modulated by Nitrogen Supply. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2019;182:325–334.
8. Nguyen M.L., Spaepen S., du Jardin P., Delaplace P. Biostimulant Effects of Rhizobacteria on Wheat Growth and Nutrient Uptake Depend on Nitrogen Application and Plant Development. *Arch. Agron. Soil Sci.* 2019;65:58–73.
9. Visconti D., Fiorentino N., Cozzolino E., Woo S.L., Fagnano M., Roupheal Y. Can Trichoderma-Based Biostimulants Optimize N Use Efficiency and Stimulate Growth of Leafy Vegetables in Greenhouse Intensive Cropping Systems? *Agronomy.* 2020;10:121.
10. Silletti S., Di Stasio E., Van Oosten M.J., Ventorino V., Pepe O., Napolitano M., Marra R., Woo S.L., Cirillo V., Maggio A. Biostimulant Activity of Azotobacter chroococcum and Trichoderma harzianum in Durum Wheat under Water and Nitrogen Deficiency. *Agronomy.* 2021;11:380.
11. Fernando D., Milagrosa S., Francisco C., Francisco M. Biostimulant Activity of Trichoderma saturnisporum in Melon (Cucumis melo) *HortScience.* 2018;53:810–815.
12. P. Chávez-Ortiz, Y. Tapia-Torres, J. Larsen, F. García-Oliva: «Glyphosate-based herbicides alter soil carbon and phosphorus dynamics and microbial activity», *Appl. Soil Ecol.*, 169 (2022).
13. De Pascale S., Roupheal Y., Colla G. Plant Biostimulants: Innovative Tool for Enhancing Plant Nutrition in Organic Farming. *Eur. J. Hortic. Sci.* 2018;82:277–285.
14. Rodrigues M., Baptistella J.L.C., Horz D.C., Bortolato L.M., Mazzafera P. Organic Plant Biostimulants and Fruit Quality—A Review. *Agronomy.* 2020;10:988.

ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ

УДК 502.7:504+ 628.3

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.6-57.19>

АНАЛІЗ МОНІТОРИНГУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ШАХТНИХ ВОДАХ ГІРНИЧОПРОМИСЛОВИХ РАЙОНАХ ЛЬВІВСЬКО-ВОЛИНСЬКОГО ВУГІЛЬНОГО БАСЕЙНУ (НА ПРИКЛАДІ ШАХТИ МЕЖИРІЧАНСЬКА ДП «ЛЬВІВВУГІЛЛЯ» М. ЧЕРВОНОГРАД)

Барабан К.І.¹, Вагилевич Т.В.²

¹Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
вул. Карпатська, 15, 76000, м. Івано-Франківськ

²Івано-Франківський фаховий коледж Львівського національного університету природокористування
вул. Юності, 11, 76494, м. Івано-Франківськ
beemveshka@gmail.com, tvagilevich@gmail.com

Дослідження присвячено аналізу моніторингу вмісту важких металів у шахтних водах гірничопромислових районів Львівсько-Волинського вугільного басейну на прикладі шахти «Межирічанська» ДП «Львіввугілля» у м. Червоноград. У статті розглянуто екологічний стан шахтних вод, які є одним із основних джерел забруднення водних об'єктів важкими металами, та їхній вплив на довкілля і здоров'я населення.

Моніторинг здійснювався з використанням сучасних аналітичних методів, що включають відбір проб, хімічний аналіз води на концентрації важких металів (заліза, марганцю, кадмію, свинцю, міді, цинку тощо), а також оцінку їхнього відповідності нормативним показникам. У роботі визначено рівень забруднення води, його просторові та сезонні коливання, а також фактори, які впливають на інтенсивність міграції важких металів у водне середовище.

Результати дослідження вказують на суттєве перевищення нормативних концентрацій низки важких металів у шахтних водах, що свідчить про значний екологічний ризик для водних екосистем і навколишніх територій. Виявлено, що основними джерелами важких металів є як техногенні фактори (шахтні розробки, викиди із збагачувальних фабрик), так і природні (геологічна структура регіону).

Значна увага приділена можливостям мінімізації впливу важких металів на довкілля шляхом впровадження ефективних методів очищення шахтних вод. У статті розглянуто застосування різних технологій, зокрема сорбції, коагуляції, та біологічних методів, для зменшення концентрації токсичних речовин у воді.

Отримані дані сприяють розумінню масштабів екологічної проблеми та можуть слугувати основою для розробки природоохоронних заходів, спрямованих на зменшення негативного впливу гірничої промисловості на довкілля Львівсько-Волинського вугільного басейну. У висновках акцентується на необхідності регулярного екологічного моніторингу та комплексного підходу до вирішення проблеми шахтних вод у регіоні. *Ключові слова:* екологічна безпека, екологічна небезпека, моніторинг, важкі метали, шахтні води, екологічний вплив, довкілля.

Analysis of monitoring of heavy metals in mine waters in mining areas of the Lviv-Volyn coal basin (on the example of Mezhyrichanska mine of Lvivvuhillya, Chervonograd). Baraban K., Vagilevich T.

The study is devoted to the analysis of monitoring of heavy metals in mine waters of mining districts of the Lviv-Volyn coal basin on the example of Mezhyrichanska mine of Lvivvuhillya SE in Chervonograd. The article examines the ecological state of mine waters, which are one of the main sources of heavy metal pollution of water bodies, and their impact on the environment and public health.

The monitoring was carried out using modern analytical methods, including sampling, chemical analysis of water for concentrations of heavy metals (iron, manganese, cadmium, lead, copper, zinc, etc.), as well as assessment of their compliance with regulatory indicators. The paper identifies the level of water pollution, its spatial and seasonal fluctuations, and the factors that influence the intensity of heavy metal migration into the aquatic environment.

The results of the study indicate a significant excess of the normative concentrations of a number of heavy metals in mine waters, which indicates a significant environmental risk for aquatic ecosystems and surrounding areas. It was found that the main sources of heavy metals are both man-made factors (mine development, emissions from concentration plants) and natural factors (geological structure of the region).

Considerable attention is paid to the possibilities of minimising the impact of heavy metals on the environment through the introduction of effective methods of mine water treatment. The article discusses the use of various technologies, including sorption, coagulation, and biological methods, to reduce the concentration of toxic substances in water.

The data obtained contribute to understanding the scale of the environmental problem and can serve as a basis for developing environmental protection measures aimed at reducing the negative impact of the mining industry on the environment of the Lviv-Volyn coal basin. The conclusions emphasise the need for regular environmental monitoring and a comprehensive approach to solving the problem of mine water in the region. *Key words:* environmental safety, environmental hazard, monitoring, heavy metals, mine water, environmental impact, environment.

Постановка проблеми. Забруднення водних ресурсів важкими металами є однією з актуальних екологічних проблем гірничопромислових регіонів, зокрема Львівсько-Волинського вугільного басейну. Вода, яка витікає з шахт, містить високі концентрації токсичних елементів, таких як свинець, кадмій, мідь, залізо та інші важкі метали, що потрапляють у навколишнє середовище внаслідок гірничих робіт. Це створює серйозні екологічні загрози як для водних екосистем, так і для здоров'я місцевого населення. Проблема полягає в тому, що забруднені шахтні води часто не підлягають належній очистці, що призводить до їх накопичення в природних водних об'єктах, що, в свою чергу, ускладнює ситуацію з водозабезпеченням та здатністю екосистем до самовідновлення [1, 9, 20, 27].

Необхідність моніторингу концентрації важких металів у шахтних водах постає через відсутність ефективних методів і стратегій контролю забруднення в цих районах. Моніторинг дає можливість оцінити рівень забруднення води, виявити сезонні коливання та визначити причини високих концентрацій токсичних речовин, а також запропонувати можливі заходи для зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Водночас, проблема очищення шахтних вод залишається недостатньо вирішеною, оскільки існуючі технології очищення виявляються неефективними або потребують значних витрат. Таким чином, постановка цієї проблеми передбачає необхідність комплексного підходу до моніторингу та очищення шахтних вод з використанням новітніх технологій для забезпечення екологічної безпеки в гірничопромислових регіонах [7, 12, 15].

Актуальність дослідження. Актуальність дослідження забруднення шахтних вод важкими металами в гірничопромислових районах Львівсько-Волинського вугільного басейну зумовлена кількома важливими чинниками. Перш за все, незважаючи на значний обсяг видобутку вугілля в цьому регіоні, питання екологічної безпеки, зокрема забруднення водних ресурсів, залишається недостатньо дослідженим. Шахтні води, що містять високі концентрації важких металів, спричиняють серйозні екологічні та економічні проблеми, зокрема, погіршення якості води у місцевих річках, що використовуються для водопостачання населення та сільського господарства. Це вимагає ретельного моніторингу та розробки ефективних заходів для очищення води [2].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Авторське дослідження спрямоване на розв'язання важливої практичної проблеми, що стосується забруднення шахтних вод важкими металами в гірничопромислових регіонах, зокрема в Львівсько-Волинському вугільному басейні. Це дослідження має значний науковий потенціал, оскільки воно заповнює прогалини в розумінні механізмів забруднення водних

ресурсів внаслідок гірничих робіт і взаємодії важких металів з навколишнім середовищем.

Наукове значення роботи полягає в комплексному підході до вивчення забруднення шахтних вод, який включає аналіз просторових та сезонних коливань рівнів важких металів, а також ідентифікацію основних джерел їхнього надходження в водне середовище. Це дозволяє виявити невідомі раніше аспекти забруднення та розробити нові підходи до оцінки екологічного стану водних ресурсів у гірничопромислових районах. У роботі також зроблений акцент на оцінку впливу забруднення на екосистеми та здоров'я населення, що є важливим для подальших досліджень у галузі екології та охорони здоров'я.

Практична значущість дослідження полягає в можливості застосування отриманих результатів для покращення існуючої системи екологічного моніторингу шахтних вод. Автори пропонують конкретні методи і рекомендації щодо очищення води від важких металів, що можуть бути використані у промисловості для зменшення екологічного навантаження. Пропоновані технології очищення та їхня адаптація до місцевих умов є актуальними для розвитку екологічно чистих методів ведення гірничих робіт і захисту водних ресурсів.

Окрім того, результати дослідження можуть стати основою для розробки нормативних актів і стандартів у сфері екологічної безпеки, що підвищать ефективність природоохоронної діяльності в Україні та за її межами [4, 18, 29-31].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Враховуючи численні наукові дослідження Поповича В. В., Мальованого М. С., Босака П. В., Павличенка А. В., Луньова О. В., Петльованого М. В. та ін. [3, 10-16, 22-24], які пов'язані із дослідженнями оцінки екологічної небезпеки породних відвалів вугільних шахт, слід зазначити, що це питання досі залишається актуальним.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. У статті виділяються невирішені раніше аспекти загальної проблеми забруднення шахтних вод важкими металами, зокрема недостатньо досліджені сезонні та просторові коливання концентрацій важких металів у шахтних водах на конкретному прикладі шахти «Межирічанська» ДП «Львіввугілля». Також відсутній комплексний підхід до оцінки впливу техногенного забруднення на водні екосистеми та здоров'я місцевого населення в гірничопромислових районах. Залишаються невирішеними питання розробки нових ефективних методів очищення шахтних вод від важких металів, що відповідають специфічним умовам Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну. Крім того, не достатньо вивчені основні джерела надходження важких металів у водне середовище та їхній вплив на навколишнє середовище.

Новизна полягає в комплексному аналізі забруднення шахтних вод важкими металами

в умовах Львівсько-Волинського вугільного басейну, зокрема на прикладі шахти «Межирічанська» ДП «Львіввугілля». Здійснено детальну оцінку сезонних та просторових коливань концентрацій важких металів у шахтних водах цього регіону, що дозволяє визначити закономірності забруднення водних ресурсів у межах конкретного гірничопромислового району. Дослідження також висвітлює невідомі раніше джерела надходження важких металів у водне середовище, що має важливе значення для розробки ефективних заходів із мінімізації техногенного впливу на екосистеми. Особливою є пропозиція нових методів очищення шахтних вод, адаптованих до специфічних умов Львівсько-Волинського басейну, зокрема застосування біологічних та сорбційних технологій для зменшення концентрації токсичних речовин. Це дозволяє не тільки підвищити ефективність очищення вод, але й знизити витрати на ці процеси. Розроблені підходи та рекомендації є важливим кроком до покращення екологічної ситуації в регіоні та можуть бути використані як основа для подальших досліджень.

Методологічне або загальнонаукове значення полягає в розробці комплексного підходу до аналізу техногенного забруднення шахтних вод важкими металами, який включає як хімічний аналіз води, так і оцінку її впливу на екосистеми та здоров'я населення. У контексті цього дослідження була застосована методика у визначенні вмісту важких металів, що дозволяє не тільки виявити тенденції зміни концентрацій важких металів, але й розробити прогнози щодо екологічного стану водних ресурсів у майбутньому.

Проби води відбиралася в пластикову пляшку (попередньо добре промитий посуд без засобів для миття) об'ємом 0,5 дм³. Вода була доставлена до лабораторії протягом 24 годин, при цьому забезпечивши її охолодження акумуляторами холоду та термосумкою. Дослідження виконувалися на сучасному аналітичному приладі атомно-емісійний спектрометр з індуктивно-зв'язаною плазмою для визначення важких металів у лабораторії моніторингу вод Західного регіону Дністровського басейнового управління водних ресурсів Державного агентства водних ресурсів України (акредитована згідно з європейськими стандартами ISO/IEC 17025:2019) Визначення хімічних та фізико-хімічних показників якості води регламентується Постановою Кабінету Міністрів України № 758 від 19.09.2018 р. [19].

Виклад основного матеріалу. Аналіз моніторингу важких металів у шахтних водах гірничопромислових районів Львівсько-Волинського вугільного басейну на прикладі шахти Межирічанська ДП «Львіввугілля» м. Червоноград передбачає вивчення впливу шахтних вод, що містять шкідливі речовини, на навколишнє середовище та здоров'я людей. Вода, що утворюється під час видобутку вугілля,

часто забруднюється важкими металами, такими як кадмій, свинець, мідь, цинк, арсен, ртуть, що становить загрозу для екосистеми та здоров'я населення. Ці забруднення можуть мати серйозні екологічні та соціальні наслідки, оскільки важкі метали накопичуються в водних організмах, що призводить до отруєння флори і фауни та потрапляє в харчову ланку [5, 21].

Для оцінки рівня забруднення вод у цьому регіоні застосовуються різноманітні методи моніторингу, серед яких хімічний аналіз води для визначення концентрацій важких металів, гідрологічні дослідження, що дозволяють з'ясувати рух води та її забруднення в шахтних виробках, а також біологічні дослідження, які допомагають оцінити вплив на водні екосистеми [17].

Шахтні води, які стікають через поклади вугілля, контактують з сульфатними та іншими мінералами, що є основним джерелом забруднення. В процесі видобутку вугілля і вентиляції шахт у доквілля виділяються токсичні сполуки, що потрапляють у водні ресурси, спричиняючи забруднення. Забруднення важкими металами має значний вплив на доквілля (рис. 1). Вони порушують біологічний баланс водних екосистем, знижуючи якість води, що використовується для господарських потреб, та створюють ризики для здоров'я людей, які можуть споживати забруднену воду або продукти з екосистем, що зазнали впливу токсичних речовин. Важкі метали накопичуються в організмах водних тварин і можуть передаватися через харчові ланцюги, що підвищує ризик отруєння [11].

За результатами досліджень в більшості точках відбору спостерігалися значні просторові коливання концентрацій хімічних елементів магній і марганець особливо перевищували допустимі значення, тоді як вміст К, Fe, Cd, Zn, Ni, Cr та ін. мінімально перевищували допустимі значення або залишалися в межах допустимих норм (рис. 2).

На заході та вершині терикону за результатами дослідження можна побачити, що рівень Mg перевищує допустимі значення. На заході перевищує у 6,6 разів, а на вершині терикону – у 5,83 разів. Такий рівень не допустимий для біоти та становить значну загрозу доквіллю і екосистемам досліджуваному регіону, насамперед через забруднення місцевих джерел води та його подальший біологічний вплив.

Окрім того, при дослідженні всіх ділянок також є надлишок Mn. На вершині марганець понад у 26 разів перевищує норму, на сході у 4,1 рази, на півночі – у 0,8 разів, а на заході – 29,65 разів. Це дуже велике перевищення допустимих норм у воді марганцем. Надмірне накопичення Mn позначається в першу чергу на роботі нервової системи людини. Марганець також є політропною отрутою, тобто одночасно може вражати кілька органів і систем організму одночасно, як на людину так і на тварини (рис. 3, рис. 4).

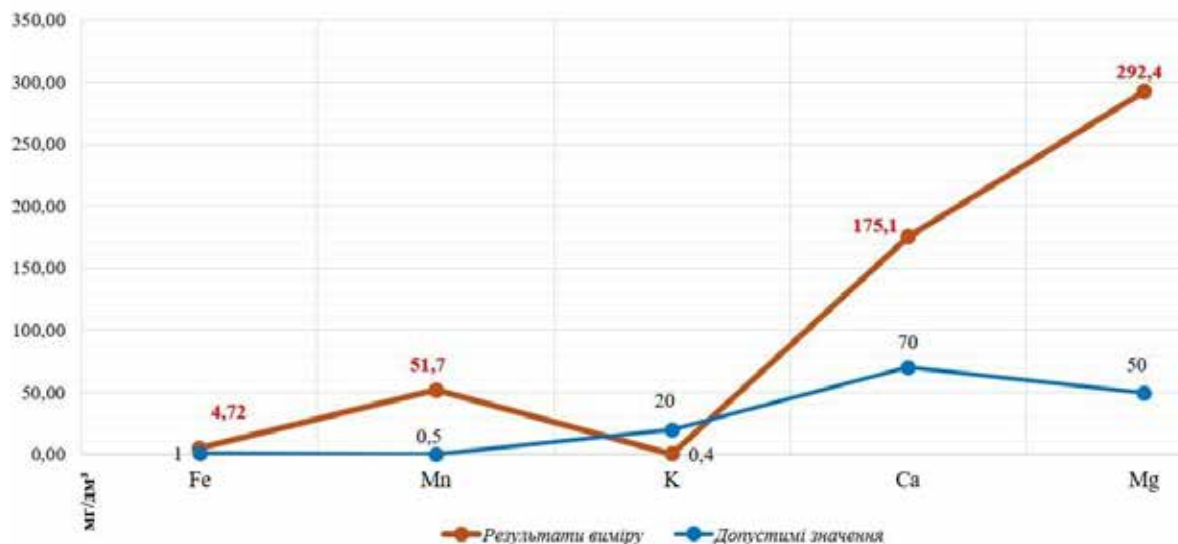
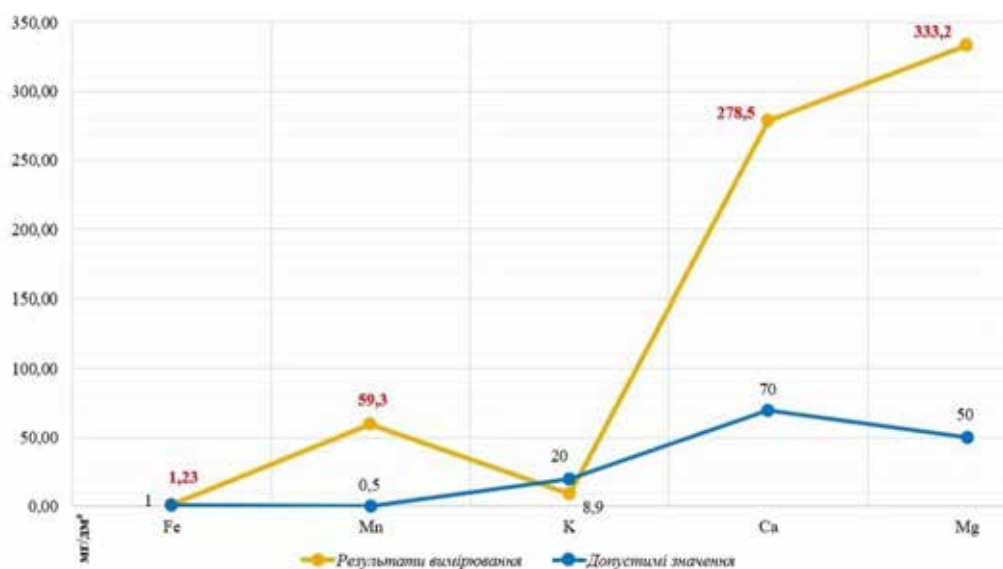


Рис. 1. Вміст важких металів у воді на вершині терикону шахти «Межирічанська» Червоноградського гірничопромислового району



За

Рис. 2. Вміст важких металів у воді на заході терикону шахти «Межирічанська» Червоноградського гірничопромислового району

Надлишок Са зафіксовано на вершині та сході досліджуваного терикону. На сході рівень кальцію перевищив норму у 1,3 рази та суттєво не впливає на стан довкілля, але на вершині терикону зафіксовано перевищення у 2,5 разів та може бути легко рознесено вітром, що призведе до більшого забруднення досліджуваного регіону. Зауважимо, що концентрація важких металів часто зменшується з віддаленням від місця терикону вугільної шахти, що вказує на те, що вплив на екосистеми зменшується в міру віддалення від джерела забруднення. Однак стійкість цих забруднювачів може тривати десятиліттями. Зрештою, поширена присутність важких мета-

лів у навколишньому середовищі не тільки загрожує водним об'єктам, але й негативно може вплинути на здоров'я місцевого населення, яке залежить від цих джерел води [6, 25].

Важливо відзначити, що концентрації Zn, Cu, Cd, Ni, Cr ті інших важких металів на всіх досліджуваних точках, залишаються в безпечних межах, але все ще можуть значно впливати на забруднення у підтериконні стічні води териконів, особливо під впливом таких чинників, як кислотні дощі та загалом підкислення середовища. Кумулятивний вплив цих металів, які є стійкими та не можуть бути деградовані або знищені, підкреслює необхідність суворого

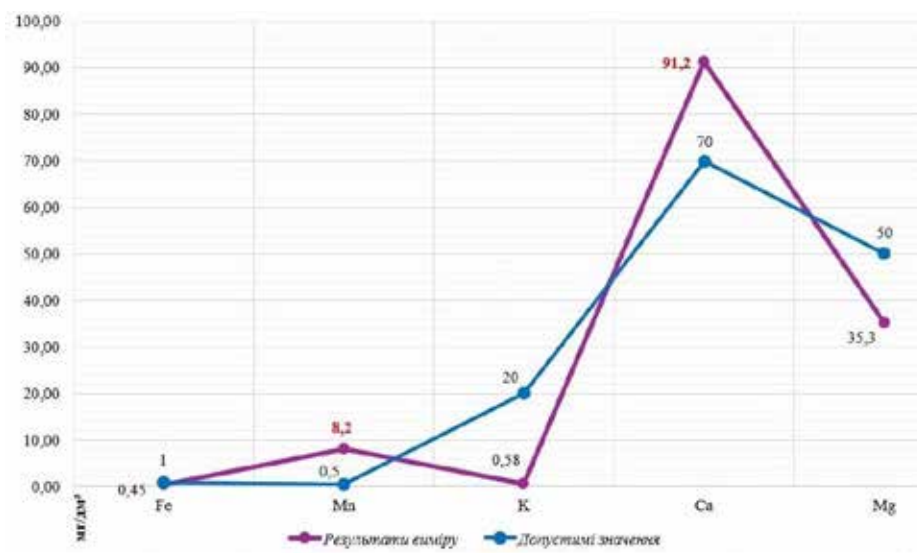


Рис. 3. Вміст важких металів у воді на сході терикону шахти «Межирічанська» Червоноградського гірничопромислового району

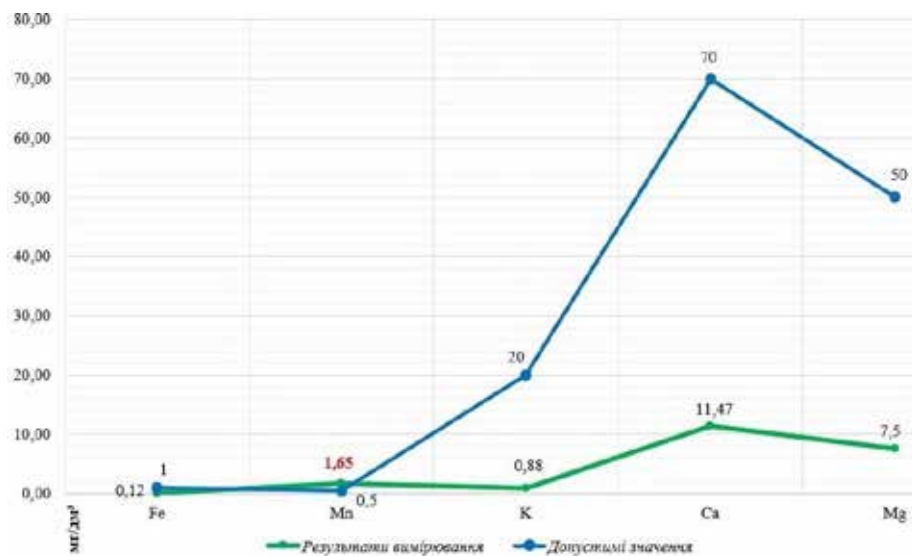


Рис. 4. Вміст важких металів у воді на півночі терикону шахти «Межирічанська» Червоноградського гірничопромислового району

моніторингу та стратегії управління в гірничодобувних районах для пом'якшення їх шкідливого впливу на якість води та здоров'я населення [25].

Загалом, комплексний підхід до моніторингу важких металів у шахтних водах, включаючи запровадження ефективних технологій очищення, покращення управління водними ресурсами та підвищення рівня екологічної свідомості, є ключовим для забезпечення сталого розвитку Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну та збереження здоров'я майбутніх поколінь.

Подальша реалізація екологічно стійких практик у гірничодобувному районі повинна включати також розробку та впровадження стратегій для міні-

мізації впливу на довкілля, що випливає з діяльності вугільних шахт. Одним із важливих елементів є використання сучасних методів рекультивациі шахтних відвалів та відновлення екосистем, що зазнали деградації через видобуток корисних копалин. Рекультивациа земель має на меті відновлення родючості ґрунтів, створення умов для відновлення природної флори та фауни, а також покращення гідрологічного балансу в регіоні.

Додатково до технологій очищення вод, важливим аспектом є використання біотехнологічних методів для очищення шахтних вод від важких металів. Використання природних процесів фітомеліорації та біоремедіації дозволяє зменшити рівень токсич-

них забруднювачів у водах за допомогою рослин або мікроорганізмів, що поглинають або нейтралізують токсини. Ці методи можуть бути ефективними у зниженні концентрації металів у водних системах без значних затрат енергії та ресурсів [5, 7].

Розширення міжнародної співпраці з метою обміну досвідом щодо очищення шахтних вод та рекультивації земель є важливим чинником для успішного вирішення екологічних проблем у гірничопромислових районах. Вивчення досвіду Європейських країн, що стикалися з подібними проблемами, дозволить знайти нові шляхи досягнення більш сталих результатів у сфері екології.

Головні висновки. Дослідження моніторингу важких металів у шахтних водах гірничопромислових районів Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну на прикладі шахти Межирічанська ДП «Львіввугілля» м. Червонограда виявив серйозні екологічні проблеми, пов'язані з високими концентраціями більшості важких металів Fe, Mg, Mn, K та ін. у шахтних водах. Це забруднення становить значну загрозу для водних екосистем та здоров'я людини, оскільки ці метали накопичуються в біологічних організмах і можуть передаватися по харчовому ланцюгу, що підвищує ризики отруєння для насе-

лення, яке використовує ці води або споживає продукти з забруднених екосистем.

Для пом'якшення несприятливих наслідків важкими металами встановлені нормативні стандарти та вказівки для моніторингу та контролю концентрації важких металів. Наприклад, встановлено, що концентрація заліза в шахтних водах не повинна перевищувати 0,1 мг/дм³ та гарантує, що рівні залишаються безпечними для довкілля та здоров'я населення. Встановлені стандарти передбачають, що ці рівні не повинні перевищувати рівні, встановлені для джерел води, призначеної для побутового та питного водопостачання, підкреслюючи важливість захисту здоров'я населення та довкілля від забруднення, пов'язаного з гірничодобувною діяльністю.

Перспективи використання результатів дослідження вбачаємо в дослідженні та перспективи розвитку екологічного управління в гірничодобувному районі Львівсько-Волинського вугільного басейну, особливо рекультивація териконів вугільних шахт і відновлення екосистем, які зазнали деградації через гірничодобувну діяльність. Це включає заходи з відновлення родючості ґрунтів, відновлення природних середовищ для флори та фауни, що зазнали негативного впливу внаслідок діяльності вугільної промисловості, а також відновлення водних екосистем.

Література

1. Антоняк Г. Л., Багдай Т. В., Першин О. І., Бубис О. Є., Панас Н. Є., Олексюк Н. П. Метали у водних екосистемах та їх вплив на гідробіонтів. *Біологія тварин*. 2015, 17(2). С. 9–24.
2. Багдай Т. В., Панас, Н. Є. Антоняк, Г. Л. Бубис О. Є. Біомоніторинг екологічного стану природних водойм. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. Гжицького*. 2016, 18(1). С. 190–194.
3. Босак П. В. Фізико-хімічні властивості стічних вод з технологічних відвалів Нововолинського гірничопромислового району. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2020, № 18. С. 117–124. <https://doi.org/10.32447/20784643.18.2018.13>
4. Босак П. В., Попович В. В. Еко-геоінформаційна технологія захисту довкілля від підтериконових вод Нововолинського гірничопромислового району. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. 2020, 4(31). С. 96–102 <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.4-31.14>
5. Босак П. В., Попович В. В. Екологічна небезпека підтериконових стічних вод Нововолинського гірничопромислового району EcoLab. Том 1 : монографія. Львів : ЛДУБЖД, 2022. 231 с.
6. Босак П. В., Стокалюк О. В., Корольова О. Г., Попович В. В. Управління екологічною безпекою у проєктах розвитку гірничопромислових комплексів. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2020, № 22. С. 5–11. <https://doi.org/10.32447/20784643.22.2020.01>
7. Волощишин А. І., Попович В. В. Босак П. В. Екологічний стан природно-технічних геосистем ліквідованих шахт Львівсько-Волинського вугільного басейну EcoLab. Том 3 : монографія. Львів : ЛДУБЖД, 2024. 214 с.
8. Колесник Н. Л. Важкі метали в екосистемі ставів та їх вплив на рибопродуктивність і харчову цінність риби в умовах інтенсивного вирощування: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с-г. наук. : 06.02.03. К., 2012. 26 с.
9. Луцьова О. В. Бойко К. Е. Методика оцінки ризику забруднення підземних вод р. Сіверський Донець. *Геотехнічна механіка*. 2020, Вип. 150. С. 15–23. <https://doi.org/10.15407/geotm2020.150.015>
10. Луцьова О. В. Наукові основи управління екологічною безпекою промислових комплексів вуглевидобувних підприємств. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. 2020, 1(28). С. 50–59. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.8>
11. Павличенко А. В. Ідентифікація екологічних ризиків, що виникають на різних етапах функціонування вугледобувних підприємств. *Геотехнічна механіка*, 2015, № 124. С. 280–288.
12. Піндер В. Ф., Попович В. В., Босак П. В. Рекультиваційні заходи зниження техногенного впливу породних відвалів вугільних шахт на довкілля EcoLab. Том 2 : монографія. Львів : ЛДУБЖД, 2023. 245 с.
13. Попович В. В, Шуплат Т. І., Босак П. В. Природна фітомеліорація техногенних водойм у зоні впливу породних відвалів вугільних шахт. *Українська школа гірничої інженерії* : зб. матеріалів XV Міжнар. наук.-практ. конф. (06-10 вересня, Бердянськ, Україна). Бердянськ, 2021. С. 41–42 <https://doi.org/10.33271/usme15.041>
14. Попович В. В. Вплив кліматичних умов на розвиток рослинності техногенних ландшафтів Малого Полісся у зимовий період. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2009. Вип. 19.3. С. 37–42.

15. Попович В. В. Девастовані ландшафти, їх небезпека для навколишнього середовища та проблеми фітомеліорації. *Збірник наукових праць Пожежна безпека*. 2006. № 9. С. 132–134.
16. Попович В. В. Терикони Нововолинського гірничопромислового району та їхній вплив на довкілля. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2009. Вип. 19.15. С. 136–140.
17. Попович В. В. Фітомеліорація згасаючих териконів Львівсько-Волинського вугільного басейну : монографія. Львів : ЛДУБЖД, 2014. 174 с.
18. Попович В. В., Волощишин А. І. Екологічні особливості формування фітомеліоративного вкриття на териконах вугільних шахт. *Актуальні питання техногенної та цивільної безпеки України* : зб. матеріалів I Всеукр. наук. конф. Миколаїв : Видавель Торубара В. В., 2018. С. 86–87
19. Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу вод : Постанова Каб. Міністрів України від 19.09.2018 № 758 : станом на 26 верес. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/758-2018-p#Text> (дата звернення: 20.11.2024).
20. Bosak P. Spontaneous combustion of coal mine dumps in the Novovolynsk mining industrial area. *The second round table: Ecological impact of fire. Deforestation and forest degradation. Reclamation of devastated landscapes*. March 29, 2019 Lviv, LSULS. P. 3–4.
21. Bosak P., Popovych V., Stepova K., Dudyn R. Environmental impact and toxicological properties of mine dumps of the Lviv-Volyn Coal basin. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*. 2020, 2(440). P. 48–54. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.30>
22. Bosak P., Popovych V., Stepova K., Marutyak S. Features of seasonal dynamics of hazardous constituents in wastewater from colliery spoil heaps of Novovolynsk mining area. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*. 2020, 5(443). P. 39–46. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.102>
23. Petlovanyi M., Kuzmenko O., Lozynskyi V., Popovych V., Sai K., Saik P. Review of man-made mineral formations accumulation and prospects of their developing in mining industrial regions in Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*. 2019, 13(1). 24–38. <https://doi.org/10.33271/mining13.01.024>
24. Popovych N., Malyovanyy M., Telak O., Voloshchyshyn A., Popovych V. Environmental hazard of uncontrolled accumulation of industrial and municipal solid waste of different origin in Ukraine. *Environmental problems*. 2018, 3(1). 53–58.
25. Popovych V. V., Voloshchyshyn A. I. Environmental impact of devastated landscapes of Volhynian upland and Male Polisia (Ukraine). *Environmental Research, Engineering and Management*. 2019, 75(3). P. 33–45. <https://doi.org/10.5755/j01.irem.75.3.23323>.
26. Popovych V. V., Voloshchyshyn A. I., Tyndyk O. S., Menshykova O. V., Shuplat T. I., Bosak P. V. Monitoring of heavy metals migration into edaphic horizons of coal mine dumps. *Ecologia Balkanica*. 2022, 14(2). 63–74.
27. Popovych V., Bosak P., Petlovanyi M., Telak O., Karabyn V., Pinder V. Environmental safety of phytogenic fields formation on coal mines tailings. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*. 2021, 2(446). P. 129–136. <https://doi.org/10.32014/2021.2518-170x.44>
28. Popovych V., Petlovanyi M., Henyk Y., Popovych N., Bosak P. Efficiency of vegetative reclamation of coal spoil heaps. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2022, 23(1). P. 172–177. <https://doi.org/10.12912/27197050/143137>
29. Popovych V., Voloshchyshyn A., Bosak P., Popovych N. Waste heaps in the urban environment as negative factors of urbanization. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021, 915(1) 012001. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/915/1/012001>
30. Popovych V., Voloshchyshyn A., Rudenko D., Popovych N. Geochemical properties of water under the waste heaps in Chervonohrad mining region. *E3S Web of Conf. Ukrainian School of Mining Engineering*. 2019. 123, 01035. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301035>
31. Skrobala V., Popovych V., Tyndyk O., Voloshchyshyn A. Chemical pollution peculiarities of the Nadiya mine rock dumps in the Chervonohrad Mining District, Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*. 2022, 16(4). 71–79. <https://doi.org/10.33271/mining16.04.071>

ЕКОЛОГО-ГЕОХІМІЧНА ОЦІНКА КОМПОНЕНТІВ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ РІЗНИХ ЗА РІВНЕМ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ ТЕРИТОРІЙ МІСТА КИЄВА

Грига М.Ю.

Центр інноваційних досліджень Землі і космічного простору
вул. Гарматна, 42, 03067, м. Київ
marynhry@gmail.com

Забруднення повітря є комплексною проблемою, що спричиняє значні негативні наслідки для здоров'я людини та стану довкілля. Згідно з даними WHO понад 90% населення планети дихає повітрям, яке не відповідає встановленим нормам якості. Особливо ця проблема стосується урбанізованих територій, які є концентраторами антропогенної діяльності. Повітря Києва зазнає інтенсивного забруднення через вплив пересувних та стаціонарних джерел, які в межах Києва представлені нерівномірно та можуть мати суттєві відмінності при впливі на стан якості атмосферного повітря. Встановлення закономірностей розподілу та зв'язків між різними компонентами забруднення повітря в межах різних за рівнем антропогенного навантаження територій міста Києва було основною метою представленого дослідження.

Еколого-геохімічна оцінка компонентів забруднення атмосферного повітря в м. Києві проводилась на основі аналізу щоденних середньодобових концентрацій NO, NO₂, PM₁₀, PM_{2,5}, CO, та O₃ за 2023 рік. Дослідження показників проводились для 3-х станцій спостереження, дві з яких розташовані на територіях з високим рівнем антропогенного навантаження в межах Дарницького та Подільського районів Києва, а третя – поблизу паркової зони Голосіївського району. Аналіз отриманих даних проводився із використанням методів математичної статистики, кореляційного та факторного аналізу.

Було встановлено, що в межах усіх станцій спостереження середньорічні концентрації PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂ є вищі в порівнянні з рекомендованими Всесвітньою організацією охорони здоров'я рівнями. Територія з меншим антропогенним навантаженням, яка розташована в межах Голосіївського району, характеризується меншим рівнем середньомісячних концентрацій PM₁₀, NO₂, NO, O₃, CO в порівнянні зі станціями спостереження Дарницького і Подільського районів. Правобережжя Києва відзначається нижчими показниками PM_{2,5} в порівнянні з Дарницьким районом столиці. Більшість компонентів забруднення атмосферного повітря характеризуються мінімальними рівнями концентрацій в теплу пору року. Виключенням є озон, максимальні концентрації якого спостерігаються влітку. В межах усієї території дослідження прослідковуються осінні максимуми концентрацій PM_{2,5}, PM₁₀ і CO протягом вересня, та NO протягом вересня і жовтня. Другий сезонний максимум, який прослідковується протягом березня, явно виражений для NO і CO в межах станцій спостереження з високим рівнем антропогенного навантаження, та не типовий для території з меншим антропогенним впливом. За результатами кореляційного і факторного аналізу було встановлено, що наявність зв'язків CO з NO та NO₂, а отже, спільна природа їх розподілу і змін, є характерною ознакою станцій спостереження, розташованих в межах територій з високим рівнем антропогенного навантаження. *Ключові слова:* забруднення повітря, Київ, оксиди азоту, тверді частинки, чадний газ, озон, кореляційний аналіз, факторний аналіз.

Ecological and geochemical assessment of air pollutants in Kyiv areas with varying anthropogenic impact. Hryha M.

Air pollution is a complex problem that creates significant negative consequences for human health and the environment. According to WHO data, over 90% of the world's population breathes air that does not meet established quality standards. This problem is particularly relevant for urbanized areas, which are centers of anthropogenic activity. Kyiv's air is significantly polluted by mobile and stationary sources, which are distributed unevenly throughout the city and have varying impacts on the atmospheric pollution level. This article focused on determining the patterns of distribution and the interrelationships between different components of air pollution across Kyiv's diverse areas, experiencing different levels of anthropogenic impact.

An ecological and geochemical evaluation of atmospheric pollutants in Kyiv was performed using daily average concentrations of NO, NO₂, PM₁₀, PM_{2,5}, CO, and O₃ collected during 2023. Data was gathered from three monitoring stations: two situated in areas with significant anthropogenic pressure within the Darnytskyi and Podilskyi districts of Kyiv, and a third located adjacent to the park area of the Holosiiivskyi district. The analysis of the obtained data was performed using methods of mathematical statistics, correlation, and factor analysis.

Our study found that at all monitoring stations, average yearly levels of PM₁₀, PM_{2,5} and NO₂ were higher than World Health Organization recommendations. Most pollutants were at their lowest levels during the warmer months, except for ozone, which peaked in the summer. Notably, the Holosiiivskyi district, with its lower level of anthropogenic influence exhibited lower average monthly concentrations PM₁₀, NO₂, NO, O₃ and CO compared to the Darnytskyi and Podilskyi districts. The right bank of Kyiv had lower PM_{2,5} levels than the Darnytskyi district. Seasonally, an autumn maximum was observed for most pollutants across all monitoring stations, specifically in September for PM_{2,5}, PM₁₀ and CO, and extending into October for NO. A second seasonal maximum, during March, is clearly expressed for NO and CO within the monitoring stations with a high level of anthropogenic load and is not typical for the area with a lower anthropogenic impact. Correlation and factor analyses revealed a strong link between CO, NO, and NO₂ indicating a common origin and changes at the stations in areas with high anthropogenic impact. *Key words:* air pollution, Kyiv, nitrogen oxides, particulate matter, carbon monoxide, ozone, correlation analysis, factor analysis.

Постановка проблеми та актуальність дослідження. Забруднення повітря є комплексною проблемою, що спричиняє значні негативні наслідки для здоров'я людини та стану довкілля. За даними Європейського агентства з навколишнього середовища (ЕЕА) і Всесвітньої організації охорони здоров'я (WHO), за останнє десятиліття забруднення повітря стало другою за масштабністю екологічною проблемою після зміни клімату [1]. Згідно з даними WHO понад 90% населення планети дихає повітрям, яке не відповідає встановленим нормам якості [2]. Навіть за консервативними оцінками, забруднення повітря скорочує середню тривалість життя в Європі майже на рік [3] та є чинником, що підвищує ризик серцево-судинних і респіраторних захворювань, алергічних реакцій, діабету, когнітивних порушень [4].

Серед усіх компонентів оксиди азоту (NO_2 , NO), діоксид сірки (SO_2), озон (O_3), оксиди вуглецю (CO , CO_2), тверді частинки (PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$) і леткі органічні сполуки (VOC) вважаються одними з найпоширеніших антропогенних забруднювачів повітря, спричинених інтенсивним дорожнім рухом, побутовим опаленням та місцевою промисловістю [5]. Проблема поширення цих компонентів особливо характерна для міських середовищ, які є концентраторами антропогенної діяльності [6].

Розміщення промислових підприємств, транспортних магістралей та житлових районів, а також мікрокліматичні умови і рельєф місцевості впливають на неоднорідний розподіл забруднювачів в атмосферному повітрі міст. Оскільки забруднюючі компоненти потрапляють в атмосферу з різних джерел, для аналізу впливу міської структури на концентрацію кожного з них, можуть знадобитися різні емпіричні характеристики [7]. Повітря Києва зазнає інтенсивного забруднення через вплив пересувних та стаціонарних джерел [8], які в межах міста представлені нерівномірно та можуть мати суттєві відмінності при впливі на стан якості атмосферного повітря.

Встановлення закономірностей розподілу та зв'язків між різними компонентами забруднення повітря в межах різних за рівнем антропогенного навантаження територій міста Києва є основною метою представленого дослідження.

Аналіз останніх досліджень. Якість атмосферного повітря урбанізованих територій є актуальним питанням, яке всебічно розглядається дослідниками різних країн. Серед основних напрямків досліджень протягом останніх декількох років можна виділити наступні: встановлення відмінностей забруднення повітря урбанізованих та неурбанізованих територій [9], оцінка ролі різних промислових видів діяльності при забрудненні повітря [10], оцінка впливу певних забруднюючих речовин на здоров'я населення [11, 12].

В Україні аналізу забруднення атмосферного повітря міських територій приділяється значна

увага. Серед останніх досліджень можемо акцентувати увагу на статтях, присвячених забрудненню атмосферного повітря Одеси [13], оцінці ризиків для здоров'я від техногенного навантаження на повітря Запоріжжя [14], та порівнянню рівнів забруднення твердими частинками різних за ступенем урбанізації територій Прикарпаття [15].

Дослідження стану атмосферного повітря Києва протягом останніх декількох років включали аналіз впливу твердих частинок на ризики для здоров'я населення [16] і оцінку систем моніторингу в місті [17, 18].

Територія дослідження і методи. Еколого-геохімічна оцінка компонентів забруднення атмосферного повітря в м. Києві проводилась на основі аналізу щоденних середньодобових концентрацій NO , NO_2 , PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, CO , та O_3 за 2023 рік. Дані були отримані від Департаменту захисту довкілля та адаптації до зміни клімату виконавчого органу Київської міської ради (Київської міської державної адміністрації). Аналіз показників проводився для 3-х станцій спостереження, розташованих в різних районах міста Києва (Рис. 1).

Дві станції спостереження, розташовані в межах Дарницького (S1) та Подільського (S2) районів міста Києва, характеризуються значним комплексним антропогенним навантаженням, яке викликане близькістю розташування автодоріг та промислових об'єктів (Сміттєспалювального заводу «Енергія» для S1 і Станції теплопостачання № 2 для S2). Станція спостереження S3 розташована в межах території з мінімальним антропогенним навантаженням поблизу паркової зони в межах Голосіївського району м. Києва.

В процесі еколого-геохімічних досліджень був проведений аналіз середньорічних та середньомісячних концентрацій забруднюючих компонентів м. Києва. Зв'язки між різними показниками забруднення були досліджені із використанням кореляційного аналізу Пірсона та факторного аналізу мінімальних залишків з використанням методу обертання варімакс, згідно запропонованих методик [19-23], та з використанням підходів щодо аналізу антропогенних впливів на екосистеми через статистичні методи [24].

Новизна. В представленій статті вперше надана еколого-геохімічна оцінка та встановлені закономірності розподілу і зв'язків різних показників забруднення атмосферного повітря міста Києва в межах територій з різними рівнями антропогенного навантаження.

Викладення основного матеріалу. Почнемо аналіз забруднення повітря м. Києва з оцінки відповідності концентрацій досліджуваних компонентів сучасним критеріям безпеки. Розвиток систем моніторингу та нові дані щодо впливу якості повітря на здоров'я населення викликали необхідність перегляду лімітуючих рівнів безпечної концентрації

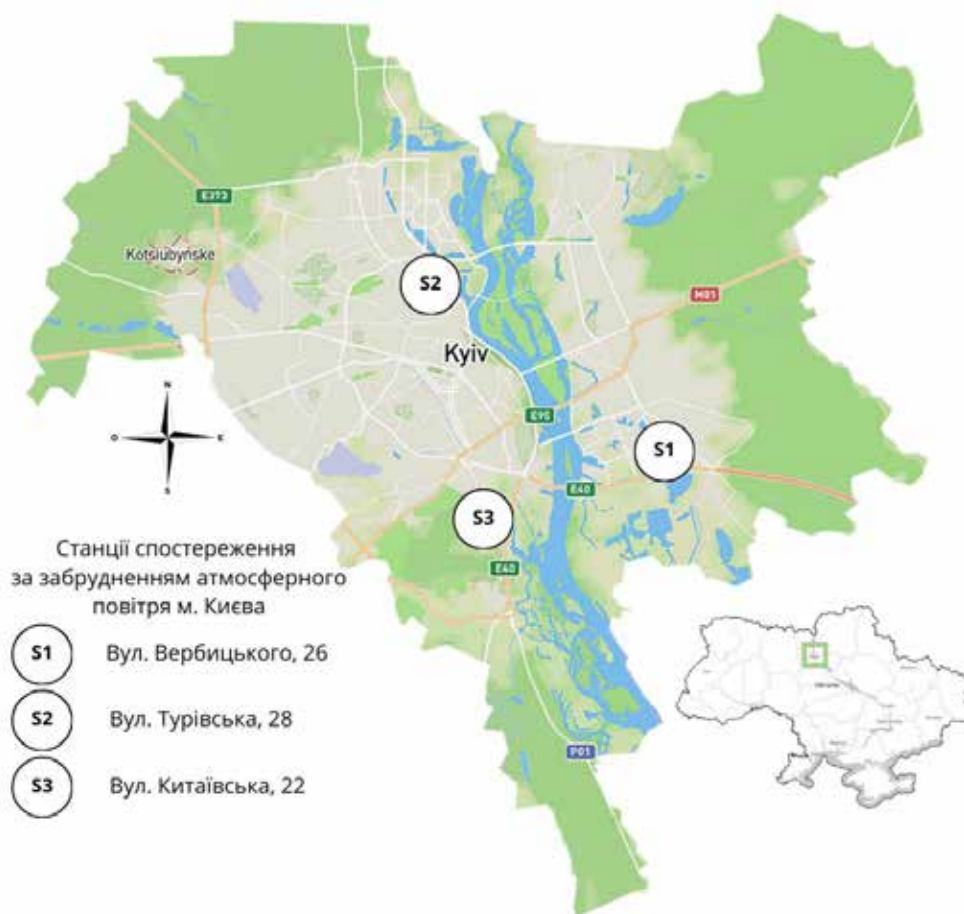


Рис. 1. Карта Києва з позначеними місцями розташування станцій спостереження за забрудненням атмосферного повітря

забруднюючих речовин в повітрі. Всесвітня організація охорони здоров'я (WHO) внесла суттєві зміни в рекомендовані рівні для різних забруднюючих компонентів в актуальному звіті від 2021 року [25] в порівнянні з 2005 роком [26]. Найбільших корекцій зазнали показники діоксиду азоту, рівень безпечних середньорічних концентрацій якого було запропоновано знизити в 4 рази [25].

В межах території дослідження, порівнюючи середньорічні концентрації забруднюючих речовин на усіх станціях спостереження з рекомендованими рівнями WHO (Таблиця 1), можемо відмі-

тити, що отримані дані PM_{10} в 1,4-1,5 раз більше за PM_{10} (AQG 2021), отримані дані $PM_{2.5}$ в 2,5-3,3 раз більше за $PM_{2.5}$ (AQG 2021), а NO_2 в 2,1-1,5 раз більше за NO_2 (AQG 2021). Концентрації PM_{10} і $PM_{2.5}$ є більшими як за рекомендовані рівні в 2021 році, так і в 2005, в той час як середньорічні концентрації NO_2 були нижчі за встановлені в 2005 році лімітуючі значення фактично в 2 рази.

Концентрації монооксиду вуглецю (чадного газу, CO) не є вищими за рекомендований WHO рівень для жодної зі станцій спостереження. Для озону не було можливості порівняти середньорічні значення,

Таблиця 1

Середньорічні показники забруднення в межах станцій спостереження S1-S3 за 2023 р. та рекомендовані рівні середньорічних показників забруднення WHO (AQG) за 2005 та 2021 роки

Р(мкг/м ³)	S1	S2	S3	AQG 2005	AQG 2021
PM10	22,7	21,3	20,7	20	15
PM2.5	16,3	12,7	13,1	10	5
NO	8,8	5,7	4,4	-	-
NO2	21,2	21,7	15,1	40	10
CO	275	297	266	-	4000
O3	47,6	47,3	45,9	-	60

оскільки методики розрахунку O_3 у WHO опирались на вимірювання концентрацій протягом 8-годинного періоду за добу, а у наведеній статті були використані дані середньодобових концентрацій за 24 години вимірювань.

Найбільші середньорічні перевищення PM_{10} , $PM_{2,5}$, NO_2 , O_3 характерні для станції спостереження S1, а перевищення NO та CO характерні для станції спостереження S2. За усіма показниками, крім $PM_{2,5}$ були встановлені найменші середньорічні концентрації на станції S3, яка розташована в межах території з мінімальним рівнем комплексного антропогенного навантаження.

З метою встановлення більш детальних закономірностей та відмінностей якості атмосферного повітря різних урбанізованих територій, був проведений аналіз середньомісячних показників забруднення повітря (Рис. 2). В межах усіх станцій спостереження для твердих частинок PM_{10} і $PM_{2,5}$, та частково O_3 щомісячні тренди змін протягом року співпадають, а відмінності простежуються в рівнях концентрацій, особливо в періоди максимального забруднення.

В межах станцій спостереження S1 та S2, розташованих на територіях з більшим рівнем антропогенного навантаження, для показників NO і CO спостерігались виражені мінімальні значеннями протягом періоду з квітня по липень, та два максимуми, перший з яких припадає на березень, а другий на осінній період. Для S3 в межах території з найменшим антропогенним навантаженням, відсутні весняний максимум концентрацій NO і весняний та осінній максимум концентрацій CO, а хід сезонних кривих NO і CO є більш плавним без вираженого мінімуму у весняно-літній період.

На усіх станціях спостереження $PM_{2,5}$ змінюється подібно до змін NO і CO в межах S1 і S2. Тут є характерним наявність мінімальних значень з квітня по липень та двох максимумів, у березні та вересні. Особливою відмінністю від інших забруднюючих компонентів є те, що станції на правобережжі Києва демонструють фактично однакові концентрації $PM_{2,5}$, в той час як для S1, розташованої на лівому березі, концентрації є вищими для кожного місяця. Такий характер перевищення може бути викликаний одночасним впливом дій антропогенних факторів та особливостями рельєфу і мікроклімату. Особливістю PM_{10} є наявність вираженого максимуму у вересні в межах усіх станцій спостереження. Максимальні концентрації тут характерні для S1, а найменші для S3. Відмітимо, що зростання концентрацій, які спостерігаються для більшості компонентів забруднення повітря протягом вересня, можуть свідчити про їх спільну природу і, ймовірно, виникають внаслідок пожеж, які були характерними для цього періоду в 2023 році в межах Київської та сусідніх областей, згідно даних інформаційного порталу NASA FIRMS.

Було виявлено, що для NO_2 характерні різні тренди сезонних змін та щомісячні відмінності в концентраціях показників в межах різних станцій спостереження. Концентрації NO_2 протягом кожного місяця є меншими на S3 в межах території з мінімальним антропогенним впливом. Озон O_3 має відмінні особливості сезонного розподілу в порівнянні з іншими вищеназваними компонентами. Він характеризується мінімальними показниками в холодну пору року з поступовим зростанням концентрацій до літа, максимальними значеннями в серпні і різким спадом до жовтня. У серпні його максимум середньомісячних концентрацій характерний для S1, а мінімум – для S3.

За результатами кореляційного аналізу Пірсона було встановлено, що між діоксидом азоту, оксидом азоту, твердими частинками і монооксидом вуглецю наявні додатні кореляційні зв'язки в межах усіх станцій спостереження (Таблиця 2). Озон показує значущі від'ємні кореляції з усіма іншими компонентами за виключенням PM_{10} , де коефіцієнти знаходяться за межею значущості. Тверді частинки PM_{10} і $PM_{2,5}$ характеризуються максимальними кореляційними показниками від $r=0,78$ до $r=0,88$ в межах усіх станцій спостереження. Сильні кореляційні зв'язки вказують на спільні риси щоденного розподілу твердих частинок різного діаметру та спільні джерела їх виникнення. Коефіцієнти кореляції вищі за 0,7 позначені в таблиці жирним шрифтом.

Основна відмінність S3 полягає в суттєво менших кореляційних зв'язках між CO та NO_2 і CO та NO в порівнянні з іншими станціями спостереження. Графічне відображення результатів кореляційного аналізу CO і NO у вигляді діаграм розсіювання можна побачити на Рис. 3. Для S3 характерне зростання середньодобових концентрацій CO при незначних змінах концентрацій NO, що впливає на відхилення графіка від лінійного тренду.

За результатами факторного аналізу (Таблиця 3) було встановлено 3 фактори для кожної станції спостереження, а отже три групи показників зі спільними трендами змін та природою виникнення. Для S1 та S2 факторні навантаження, які подібно до кореляційних коефіцієнтів можуть знаходитись в діапазоні від -1 до 1, характеризуються схожим розподілом. В Таблиці 3 факторні навантаження, які є більшими за 0,5 та меншими за -0,5 виділені жирним шрифтом та вважаються більш значущими в порівнянні з іншими. Перший фактор для S1 та S2 в основному відображає зв'язки та особливості одночасних змін NO, NO_2 , CO. Другий фактор об'єднує тверді частинки PM_{10} і $PM_{2,5}$, щоденні концентрації яких змінюються подібним чином протягом року, а третій фактор демонструє специфіку сезонного розподілу озону, який як у вираженні факторних навантажень, так і в кореляційних коефіцієнтах демонструє зворотні тренди сезонних змін в порівнянні з іншими компонентами забруднення атмосферного повітря.

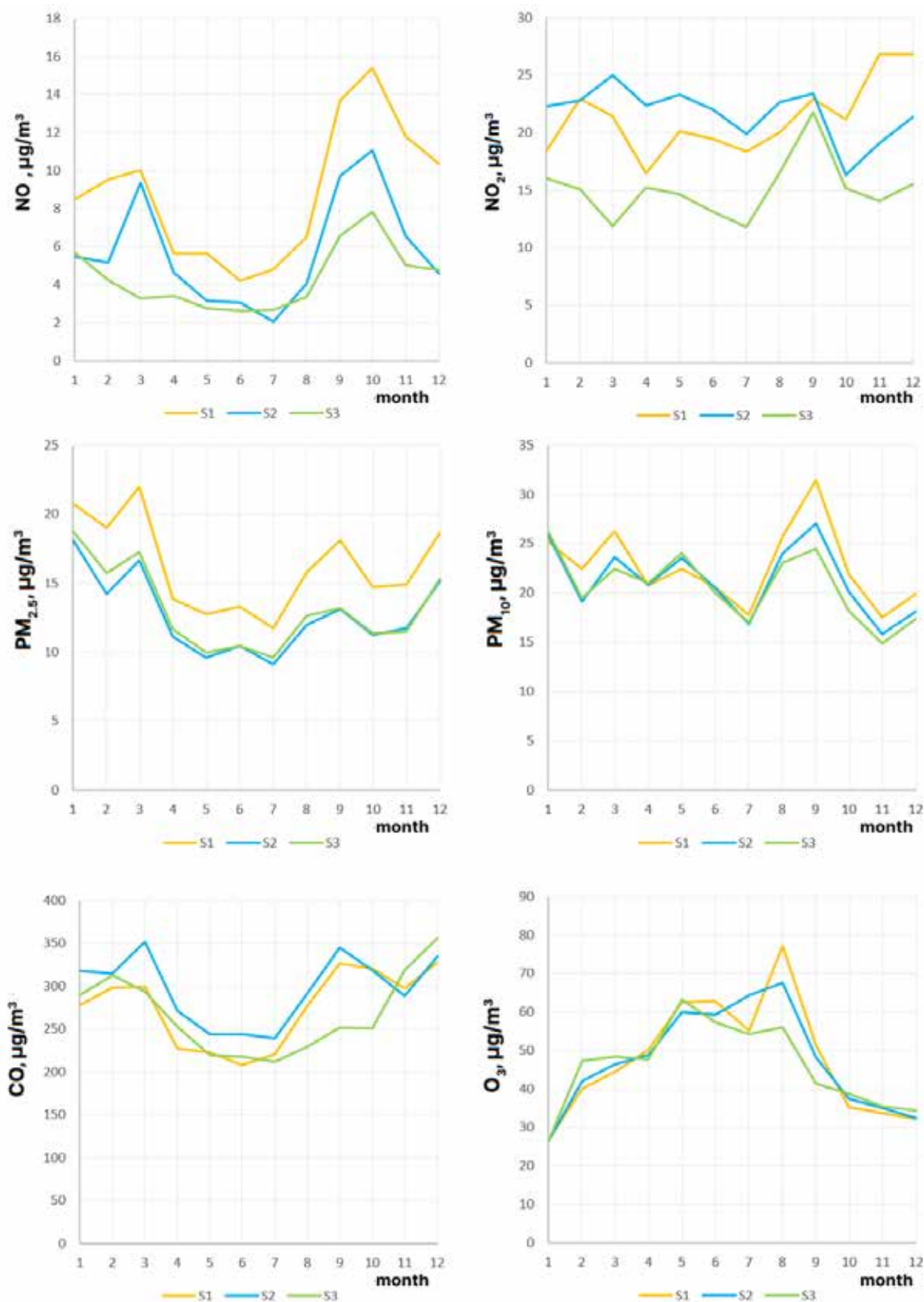


Рис. 2. Графіки розподілу середньомісячних концентрацій компонентів забруднення повітря м. Києва в межах станцій спостереження S1-S3 протягом 2023 року

Таблиця 2

Результати кореляційного аналізу
з коефіцієнтами кореляції Пірсона (r)
в межах станцій спостереження S1-S3

r(S1)	NO	NO ₂	CO	O ₃	PM _{2.5}	PM ₁₀
NO	1,00					
NO ₂	0,70	1,00				
CO	0,87	0,77	1,00			
O ₃	-0,44	-0,36	-0,47	1,00		
PM _{2.5}	0,45	0,52	0,72	-0,32	1,00	
PM ₁₀	0,43	0,49	0,64	-0,08	0,88	1,00
r(S2)	NO	NO ₂	CO	O ₃	PM _{2.5}	PM ₁₀
NO	1,00					
NO ₂	0,53	1,00				
CO	0,81	0,75	1,00			
O ₃	-0,40	-0,25	-0,50	1,00		
PM _{2.5}	0,42	0,55	0,71	-0,41	1,00	
PM ₁₀	0,39	0,57	0,58	-0,11	0,78	1,00
r(S3)	NO	NO ₂	CO	O ₃	PM _{2.5}	PM ₁₀
NO	1,00					
NO ₂	0,64	1,00				
CO	0,53	0,53	1,00			
O ₃	-0,55	-0,43	-0,61	1,00		
PM _{2.5}	0,46	0,53	0,7	-0,44	1,00	
PM ₁₀	0,37	0,57	0,34	-0,15	0,78	1,00

Факторний аналіз дозволив виявити відмінності для S3 в порівнянні з іншими станціями спостереження, які відображені як в послідовності факторів, так і в групах компонентів, які вони об'єднують. Тут ми спостерігаємо групу твердих частинок в межах першого фактору, що є подібною до групи компонентів другого фактору, встановленого для S1 та S2. Другий фактор об'єднує CO, O₃ і PM_{2,5}, та відповідає особливостям характерних сезонних змін CO і PM_{2,5} зі зростанням в холодну пору року та спаданням в теплу та оберненими до них трендами змін O₃. Фактор 3 включає NO і NO₂, що є закономірним через їх природу, проте не включає CO, як це спостерігалось для першого фактора станцій спостереження S1 та S2.

Висновки. Забруднення повітря є комплексною проблемою, яка охоплює різні за ступенем антропогенного навантаження території м. Києва. В межах усіх станцій спостереження середньорічні концентрації PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂ є вищі в порівнянні з рекомендованими Всесвітньою організацією охорони здоров'я рівнями.

Територія з меншим антропогенним навантаженням, яка розташована в межах Голосіївського району, характеризується меншим рівнем середньомісячних концентрацій PM₁₀, NO₂, NO, O₃, CO в порівнянні зі станціями спостереження в Дарницькому і Подільському районах, які зазнають більших нега-

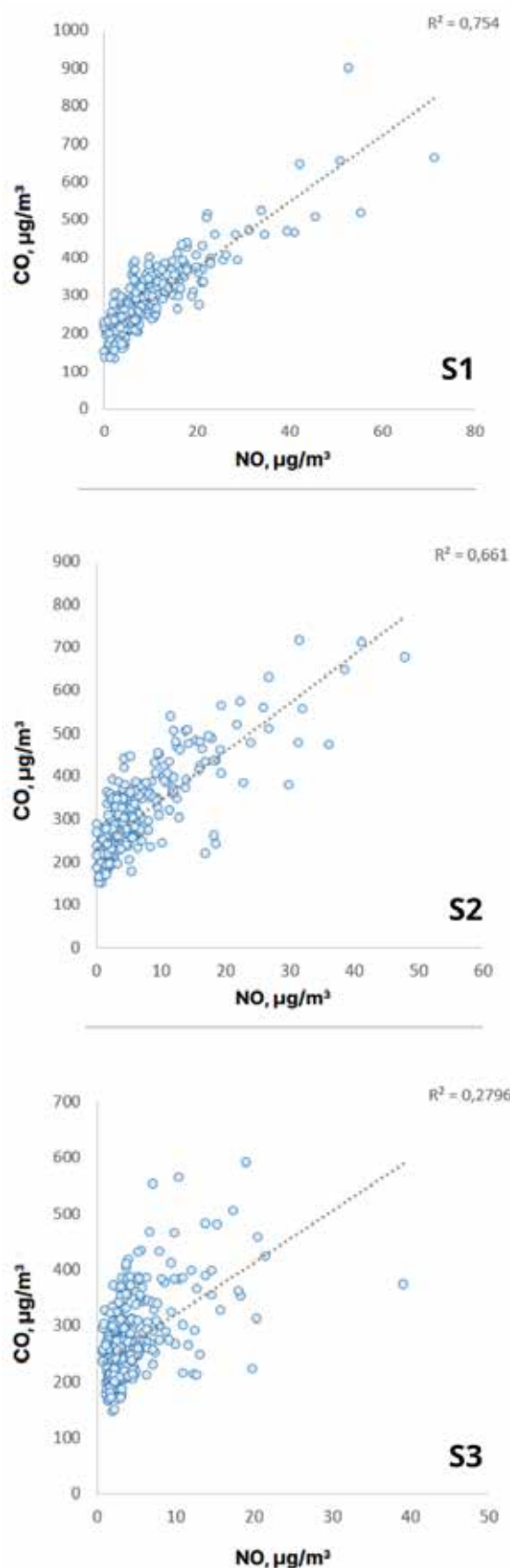


Рис. 3. Діаграми розсіювання NO і CO в межах станцій спостереження S1-S3 протягом 2023 року з позначеними лініями тренду та величинами достовірності апроксимації R²

**Результати факторного аналізу з показниками факторних навантажень
в межах станцій спостереження S1-S3**

Показник	S1			S2			S3		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3	F1	F2	F3
NO	0,85	0,18	0,28	0,73	0,16	0,31	0,17	0,37	0,71
NO ₂	0,67	0,31	0,22	0,62	0,43	0,08	0,39	0,26	0,66
CO	0,85	0,45	0,34	0,84	0,38	0,4	0,24	0,75	0,33
O ₃	-0,29	-0,05	-0,63	-0,24	-0,08	-0,67	0,01	-0,63	-0,43
PM _{2.5}	0,23	0,91	0,31	0,21	0,87	0,43	0,76	0,62	0,12
PM ₁₀	0,34	0,90	-0,11	0,35	0,83	-0,06	0,95	0,03	0,29

тивних впливів від промисловості та автотранспорту. Правобережжя Києва відзначається нижчими показниками PM_{2,5} в порівнянні з Дарницьким районом столиці.

Більшість компонентів забруднення атмосферного повітря характеризуються мінімальними рівнями концентрацій в теплу пору року. Виключенням є озон, максимальні концентрації якого спостерігаються влітку. В межах усієї території дослідження прослідковуються осінні максимуми концентрацій PM_{2,5}, PM₁₀ і CO протягом вересня, та NO протягом вересня

і жовтня. Другий сезонний максимум, який прослідковується протягом березня, явно виражений для NO і CO в межах станцій спостереження з високим рівнем антропогенного навантаження, та не типовий для території з меншим антропогенним впливом.

За результатами кореляційного і факторного аналізу було встановлено, що наявність зв'язків CO з NO та NO₂, а отже, спільна природа їх розподілу і змін, є характерною ознакою станцій спостереження, розташованих в межах території з високим рівнем антропогенного навантаження.

Література

- World Health Assembly, 71. Health, Environment and Climate Change: Report by the Director-General; World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2018; Volume 2016, P 1–7 URL: <https://iris.who.int/handle/10665/276332>
- State of Global Air 2019. Special Report. Health Effects Institute, 2019, 22 p URL: https://www.stateofglobalair.org/sites/default/files/soga_2019_report.pdf
- Air Quality in Europe – 2016. European environment Agency, 2016, 83 p URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2016>.
- Effects on health of air pollution: a narrative review / P. M. Mannucci et al. Internal and emergency medicine. 2015. Vol. 10, no. 6. P. 657–662. URL: <https://doi.org/10.1007/s11739-015-1276-7>
- Comprehensive evaluation of environmental air quality based on the entropy weights and concentration variation trends of pollutants / H. Zheng et al. Atmosphere. 2022. Vol. 13, no. 12. P. 1978. URL: <https://doi.org/10.3390/atmos13121978>
- Liang L., Gong P. Urban and air pollution: a multi-city study of long-term effects of urban landscape patterns on air quality trends. Scientific reports. 2020. Vol. 10, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74524-9>
- Rodríguez M. C., Dupont-Courtade L., Oueslati W. Air pollution and urban structure linkages: evidence from european cities. 2015. 29 p. URL: <https://doi.org/10.1787/5jrp6w9xlbq6-en>
- Сніжко С. І., Шевченко О. Г. Урбометеорологічні аспекти забруднення атмосферного повітря великого міста. Київ : Вид-во геогр. літ. «Обрії», 2011. 297 с.
- Assessment of air pollution in different areas (urban, suburban, and rural) in Slovenia from 2017 to 2021 / M. Ivanovski et al. Atmosphere. 2023. Vol. 14, no. 3. P. 578. URL: <https://doi.org/10.3390/atmos14030578>
- Nakhjiri A., Kakroodi A. A. Air pollution in industrial clusters: a comprehensive analysis and prediction using multi-source data. Ecological informatics. 2024. P. 102504. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102504>
- Particulate matter concentrations around natural gas-fired power plants and their associated health impact assessment / M. Rahman et al. Journal of king saud university – science. 2024. P. 103270. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2024.103270>
- Impact of nitrogen dioxide on health with particular emphasis on vulnerable groups / A. Ó. Domhnaill et al. Wexford, Ireland : Trinity College Dublin, 2023. 48 p.
- Бургаз О., Гарабазій Т., Тимошук М. Огляд стану забруднення атмосферного повітря міста Одеса за даними маршрутних спостережень. Екологічні науки. 2024. Т. 55, № 4. С. 16–21. URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.4-55.2>
- Белоконь К., Мальований М., Тарабан Є. Оцінка ризику для здоров'я населення від техногенного навантаження на атмосферне повітря м. Запоріжжя. Екологічні науки. 2023. № 5. С. 30–36. URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.5-50.5>
- Адаменко С., Архипова Л. Дослідження закономірностей змін PM_{2,5} та PM₁₀ в атмосферному повітрі Прикарпаття. Екологічна безпека та природокористування. 2024. Т. 51, № 3. С. 47–58. URL: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.3.47-58>
- Оцінка впливу забруднення атмосферного повітря PM_{2,5} на здоров'я населення Києва / О. Турос та ін. Environment and health. 2022. № 3 (104). С. 44–47. URL: <https://doi.org/10.32402/dovkil2022.03.044>
- Сагайдак Д., Боголюбов В. Аналіз систем моніторингу атмосферного повітря в місті Києві. Екологічні науки. 2024. Т. 1, № 1 (52). С. 51–58. URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.1.7>

18. Системи моніторингу якості повітря в м. Києві / В. М. Радовенчик та ін. Системи моніторингу якості повітря в м. Києві. Вісник НТУУ "КПІ імені Ігоря Сікорського". Серія: хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2022. № 1. С. 70–79. URL: <https://doi.org/10.20535/2617-9741.1.2022.254161>
19. Diez D. M., Cetinkaya-Rundel M., Barr C. D. OpenIntro statistics. 4th ed. 2022. 422 p. URL: <https://doi.org/10.19232/uv4pb.2016.2.90>
20. Asuero A. G., Sayago A., González A. G. The correlation coefficient: an overview. Critical reviews in analytical chemistry. 2006. Vol. 36, no. 1. P. 41–59. URL: <https://doi.org/10.1080/10408340500526766>
21. Harman H. H. Modern factor analysis. 2nd ed. Chicago : University of Chicago Press, 1967. 474 p.
22. Harman H. H., Jones W. H. Factor analysis by minimizing residuals (minres). Psychometrika. 1966. Vol. 31, no. 3. P. 351–368. URL: <https://doi.org/10.1007/bf02289468>
23. Kaiser H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. Psychometrika. 1958. Vol. 23, no. 3. P. 187–200. URL: <https://doi.org/10.1007/bf02289233>
24. Нрыга М. Ю. Evaluation of chemical indicators of anthropogenic influence in the Lower Danube basin. Hydrology, hydrochemistry and hydroecology. 2024. No. 1 (71). P. 74–84. URL: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2024.1.7>
25. WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva : World Health Organization, 2021. 273 p. URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>
26. Air Quality Guidelines Global Update. Geneva : World Health Organization, 2005. 484 p. URL: <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-SDE-PHE-OEH-06.02>

УДК 504.5:[631.41:556.55](477.63/.64)
DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.6-57.21>

МОНІТОРИНГ СТАНУ НОВОУТВОРЕНИХ БІОТОПІВ ТА СКЛАДУ ҐРУНТІВ ДНА КАХОВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

Олійник П.О.

Запорізький національний університет
вул. Університетська, 66, 69063, м. Запоріжжя
oliinykprawlo@gmail.com

У статті представлено результати дослідження екологічного стану територій дна колишнього Каховського водосховища у 2023–2024 роках. Було обстежено шість ключових локацій північно-східної частини колишнього Каховського водосховища, проведено класифікацію ґрунтів за типом поверхні та здійснено фітоценологічні дослідження, що дозволило зафіксувати інтенсивний розвиток піонерської рослинності. Її частка зростає з 23% у 2023 році до 50–70% у 2024 році, а домінантами серед деревних видів стали Верба біла (*Salix alba* L.) та Тополя чорна (*Populus nigra* L.) із співвідношенням 20:1. Загалом ідентифіковано 60 видів рослин, включаючи мохи, лишайники та водорості. Щільність заростей Верби білої становила 130–175 рослин на 10 м², а біомаса – 21,97 т/га.

Результати дослідження мають важливе значення для розуміння процесів природного відновлення екосистеми та потенційної фітореMediaції території. Піонерська рослинність активно накопичує об'єм і біомасу, зв'язуючи забруднювальні речовини, такі як важкі метали та нафтопродукти. Крім того, на прикладі Верби білої (*Salix alba* L.) продемонстровано здатність піонерської рослинності інтенсивно зв'язувати вуглець завдяки її швидкому зростанню. Особливий інтерес становлять такі фітоценози, як вербові зарості, відомі своєю здатністю очищувати ґрунти та води, а також акумулювати до 293 тон вуглецю на гектар, що позитивно впливає на клімат.

Методологія досліджень включала польові обстеження, аерофотозйомку, вивчення супутникових знімків, обстеження ґрунтів та обчислення біомаси. Результати роботи розкривають значення природного відновлення екосистеми в аспекті фітореMediaції та фітомеліорації. Виявлено значну кількість інвазивних видів рослинності. Дослідження підкреслюють важливість моніторингу новоутворених екосистем для прогнозування їх трансформації, динаміки розвитку рослинності, а також формування баз даних для розробки заходів з екологічного відновлення. Запропоновані методи можуть бути використані для подальшої оцінки потенціалу цих територій, створення моделей сукцесії та планування сталого використання відновлених ландшафтів. *Ключові слова:* рослинність, біотопи, біомаса, фітоценологічні дослідження, фітореMediaція, екосистема, фітомеліорація, забруднення.

Monitoring of the state of newly established biotopes and the composition of soils at the bottom of the Kakhovka reservoir. Oliynyk P.

The article presents the results of a study on the ecological state of the bottomlands of the former Kakhovka Reservoir during 2023–2024. Six key locations in the northeastern part of the former reservoir were surveyed, with soil classification by surface type and phytocenological research conducted, which allowed for the identification of the intensive development of pioneer vegetation. Its coverage increased from 23% in 2023 to 50–70% in 2024, with White Willow (*Salix alba* L.) and Black Poplar (*Populus nigra* L.) dominating among tree species in a 20:1 ratio. A total of 60 plant species were identified, including mosses, lichens, and algae. The density of White Willow thickets was 130–175 plants per 10 m², and the biomass amounted to 21.97 t/ha.

The research findings are significant for understanding the processes of natural ecosystem recovery and the potential for phytoremediation of the area. Pioneer vegetation actively accumulates volume and biomass, binding pollutants such as heavy metals and petroleum products. Additionally, White Willow (*Salix alba* L.) exemplifies the ability of pioneer vegetation to sequester carbon intensively due to its rapid growth. Willow thickets, in particular, are of special interest due to their ability to purify soils and water and accumulate up to 293 tons of carbon per hectare, positively impacting the climate.

The research methodology included field surveys, aerial photography, satellite imagery analysis, soil studies, and biomass calculations. The findings highlight the importance of natural ecosystem recovery in terms of phytoremediation and phytomelioration. A significant number of invasive plant species were identified. The study underscores the necessity of monitoring newly formed ecosystems to forecast their transformation, vegetation dynamics, and to create databases for developing ecological restoration measures. The proposed methods can be applied to further evaluate the potential of these areas, model succession processes, and plan the sustainable use of restored landscapes. *Key words:* vegetation, biotopes, biomass, phytocenological studies, phytoremediation, ecosystem, phytomelioration, contamination.

Постановка проблеми. Знищення Каховського водосховища спричинило осушення територій, площа яких становить 2155 км². Зникнення цієї штучної водойми спричинило кардинальні зміни в екосистемі, які потребують детального дослідження. Зокрема вже є певні відомості про те, що на дні цієї штучної водойми впродовж десятків років накопичувалися важкі метали, нафтопродукти та

поверхнево активні речовини [1]. Тому існують не безпідставні занепокоєння, що ці новоутворені території можуть бути джерелом певних екологічних загроз. Ці загрози можуть впливати як з фізичних властивостей ґрунтів дна колишнього Каховського водосховища, так і від їх хімічного вмісту.

Актуальність дослідження. Через зарегульованість та активну господарську діяльність

дно цієї рукотворної водойми впродовж майже 70 років відіграло роль своєрідного відстійника, де накопичувалися антропогенні забрудники [1, 3]. Тому, з огляду на масштабні геоecологічні зміни та потенційні загрози, було проведено попереднє дослідження окремих територій дна колишнього Каховського водосховища для визначення стану ґрунтів, їх основних типів та обстеження фітоценозів, що формуються на цих територіях. Також важливо оцінити фітомеліораційний та фіторемедіаційний потенціал рослинних угруповань які активно тут розвиваються [6–8].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дане дослідження має на меті зібрати необхідну інформацію для розуміння процесів, що відбуваються на дні колишнього Каховського водосховища. Воно також сприятиме прогнозуванню та моделюванню перебігу сукцесії та трансформації ґрунтів. Крім того, отримані результати є важливими для розуміння темпів накопичення біомаси і шляхів її перерозподілу. Це, в свою чергу, сприятиме формуванню уявлення про динаміку та масштаби транспорту забруднювальних речовин по трофічних ланцюгах новоутвореної екосистеми.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Усвідомлення необхідності вирішення накопичених людством екологічних проблем призвело до реалізації амбітних проектів поновлення природних річкових систем. Тому в США та країнах Євросоюзу реалізується і набирає обертів програма демонтажу гребель і осушення водосховищ. У зв'язку з цим постає багато питань що до запобігання ерозійним процесам на дні колишніх водосховищ. Американськими та європейськими вченими також активно вивчаються процеси відновлення екосистем, що існували до спорудження гребель.

В цілому, ці дослідження націлені на вивчення процесів відновлення екосистем та на екологічну безпеку і здоров'я людей [10]. В даному контексті важливими є питання фітомеліорації і фіторемедіації [6–9]. А також проблем забезпечення населення якісною прісною водою [12]. З огляду на динамічні зміни клімату активно вивчається потенціал швидкозростаючих видів деревної рослинності в процесах поглинання та зв'язування вуглецю [10]. Усе це потребує постійного детального моніторингу вказаних територій.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Через знищення Каховського водосховища російськими окупантами у червні 2023 року, проблеми екологічної безпеки постали особливо гостро на всьому півдні України. Вітчизняні науковці активно вивчають процеси, що відбуваються на дні колишнього водосховища, а також на прилеглих територіях. З огляду на війну більшість досліджень проводилося на правобережній частині цих

територій [4]. Тому, метою нашої роботи було більш детальне дослідження лівобережні ділянки дна колишнього Каховського водосховища.

Новизна. Проаналізовано 6 ділянок на північному сході дна колишнього Каховського водосховища. Простежено динаміку розвитку піонерської рослинності з 2023 по 2024 роки. Було зафіксовано інтенсивні процеси заліснення та залуження. Встановлено домінуючі види рослин та обчислено їх біомасу.

Методологічне або загальнонаукове значення. Результати дослідження слугуватимуть доповненням до вже існуючих відомостей про видовий склад та динаміку розвитку новітніх фітоценозів дна колишнього Каховського водосховища. На їх основі можна продовжити спостереження та подальшу оцінку фіторемедіаційних та фітомеліоративних властивостей піонерської рослинності. Запропонований метод обчислення біомаси демонструє результативність та легкість у розрахунках.

Матеріали та методи дослідження. Для збору даних використовували метод картографування з використанням супутникових знімків та аерофотозйомки. Польові обстеження включали піші експедиції та використання безпілотних систем. Фото та відеодокументування здійснювали для створення архіву стану ландшафтів.

Фітоценологічні дослідження охоплювали визначення видового складу піонерської рослинності та аналіз динаміки розвитку деревної і трав'яної рослинності. Для оцінки щільності рослинності застосовували метод квадратів і лінійних трас.

Обчислення біомаси проводили шляхом моделювання дерев як конусоподібних сегментів, оцінки об'єму, маси стовбура, гілок і кореневої системи, а також розрахунків підземної біомаси за емпіричними коефіцієнтами. Аналіз продуктивності біомаси виконували за допомогою тесту Valprovo [9]. Ґрунти класифікувалися за типом поверхні.

Запропоновані методи забезпечили комплексний аналіз змін ландшафтів та рослинності досліджуваної території.

Викладення основного матеріалу. Для локалізації оптимального місця досліджень з огляду на безпеку і перспективи було визначено кілька точок спостереження (рис. 1). А саме: Центральний пляж м. Запоріжжя – точка (L1), гирло річки Суха Московка – (L2), спортивна база Локомотив – (L3), с. Малокатеринівка неподалік ст. Канкринівка – (L4), протока Домаха навпроти с. Балабине – (L5), дно озера Качине на о. Хортиця – (L6). Усі ці локації, окрім (L5) та (L6), максимально збігаються з локаціями, які досліджували у 2023 році чеські колеги [1].

Для більшого охоплення та прискорення моніторингу і вибору оптимальних ділянок для досліджень, було проведено цілу низку піших експедицій в глибину новоутворених територій дна колишнього Каховського водосховища, а саме його північно-схід-

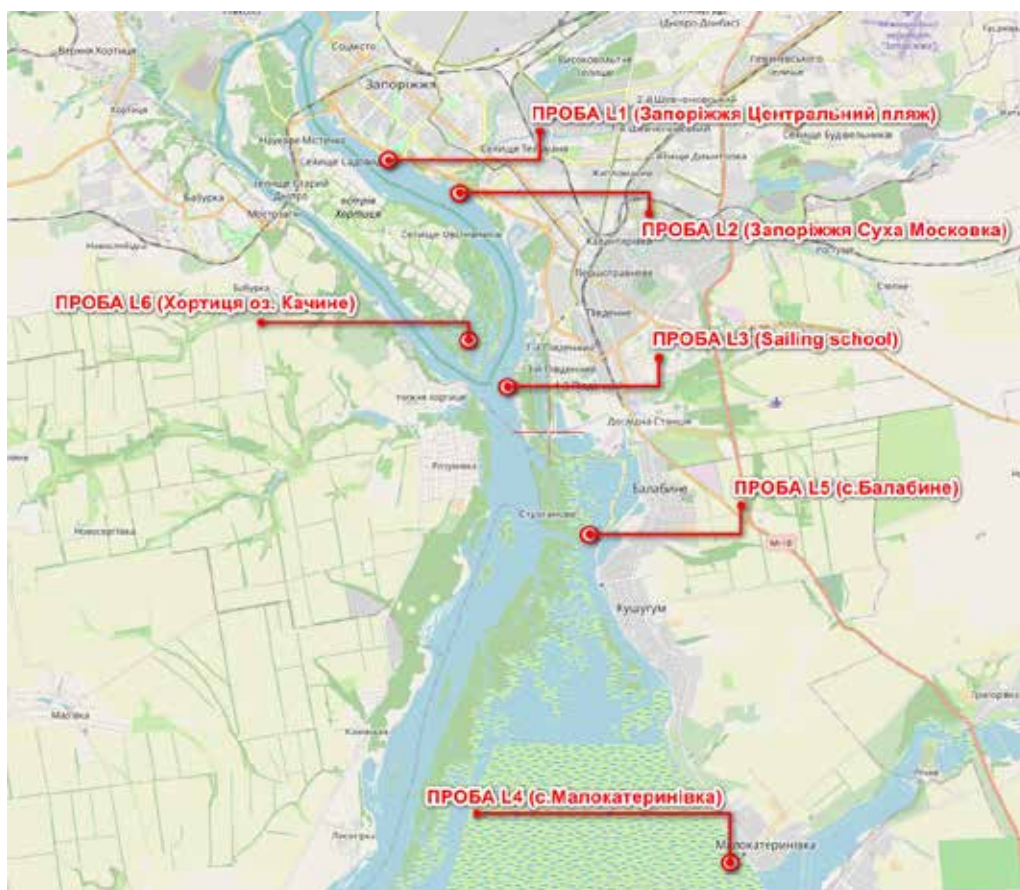


Рис. 1. Локалізація проб

ної частини. Оскільки значні території колишнього дна до цього часу залишаються важко доступними, то подекуди, проводилося спостереження з повітря із залученням безпілотних систем. Під час цих обстежень і відборів проб проводилося докладне фото- та відеодокументування.

В результаті аналізу зібраних даних було проведено класифікацію обстежених територій за типом ґрунту і визначено такі класи: водна поверхня (клас 1), піщано-галькові берегові ділянки (клас 2), мулисто-глинясті (сухі) поверхні (клас 3), волога мулисто-суглинкова поверхня (клас 4), первинна рослинність (клас 5) [2].

Простежуючи динаміку розвитку піонерської рослинності з 2023 по 2024 роки було визначено що у 2023 році тільки 23% обстежуваної території були вкриті піонерською рослинністю [2]. А у 2024 році новоутворені рослинні угруповання займали вже від 50% до 70% обстежених територій. Спостерігаються інтенсивні процеси заліснення та залуження. Однак, обстежені території демонструють значну мозаїчність ґрунтового покриву та рослинних угруповань. Найбільші площі займають угруповання Верби білої (*Salix alba* L.) та Тополі чорної (*Populus nigra* L.).

Ці деревні види демонструють високу щільність та приріст біомаси [4, 6]. Наприкінці вегетаційного періоду 2023 року висота цих молодих дерев стано-

вила 1,2–2,4 м, а наприкінці вегетаційного періоду 2024 року досягала вже 3,1–4,9 м [13]. Ці показники загалом збігаються з раніше зробленими вимірами наведеними в статті [4].

В результаті фітоценологічних досліджень було визначено загальний видовий склад піонерської рослинності. Було нараховано 60 видів рослин. Та як зазначено вище домінуючим видом деревної рослинності на всіх обстежених ділянках є Верба біла (*Salix alba* L.), що підтверджують попередні дослідження [4]. Другим за поширенням видом деревної рослинності є Тополя чорна (*Populus nigra* L.). Приблизне співвідношення цих видів складає 20:1 на користь верби. Інші деревні види зафіксовано в поодиноких екземплярах.

При огляді території північного лівобережжя колишнього Каховського водосховища та плавнів о. Хортиця, на мулисто-суглинкових поверхнях спостерігаються так звані «такири». Це фрагментований розділений глибокими тріщинами ґрунт (рис. 2), який фігурує у дослідженнях Якова Дідуха [4].

Глибина цих тріщин сягає 20–30 см. В них було знайдено кілька видів мохів та лишайників. А саме: Брій (*Bryum argenteum*), Зозулин Льон (*Polytrichum commune*), Сфагнум (*Sphagnum palustre*), Ксанторія (*Xanthoria parietina*), Пармелія (*Parmelia sulcata*), Кладонія (*Cladonia rangiferina*) та Леканора (*Lecanora spp.*). Також наприкінці осені 2024 року



Рис. 2. Ділянка дна з такирами (листопад 2024 року)

через рясні опади на цих грунтах спостерігався активний розвиток водоростей наступних відділів та класів: Хлорофіти (*Chlorophyta*), Ціанобактерії (*Cyanophyta*), Діатомові водорості (*Bacillariophyta*). Видовий склад зазначених водоростей потребує додаткового вивчення.

На відміну від деревної рослинності, що представлена автохтонними видами, серед трав'яної рослинності розповсюджені інвазивні види, зокрема Злинка Канадська (*Erigeron canadensis* L.), що подекуди утворює суцільні зарості.

До автохтонних домінантів трав'янистої рослинності належать Очерет звичайний (*Phragmites australis*) та Осока гостра (*Carex acuta*). В межах колишнього урізу води з трав'янистих видів домінують Портулак городній (*Portulaca oleracea* L.), Якірці колючі (*Tribulus terrestris*), Осот звичайний (*Sonchus oleraceus*), Осот жовтий (*Sonchus arvensis*) та Осот польовий (*Sonchus asper*). Кущова рослинність подекуди представлена Аморфою кущовою (*Amorpha fruticosa*) та спорадично Тамариксом галузистим (*Tamarix spp.*). Значні зарості Аморфи кущової зустрічаються на дні проток і на берегах, наближених до основного русла Дніпра.

На обстежених ділянках були проведені розрахунки щільності домінантної деревної рослинності. Так на одній з досліджуваних ділянок (L4), що біля с. Малокатеринівка було обраховано щільність заростів Верби білої (*Salix alba* L.), яка склала 130–175 рослин на 10 м². Щільність була розрахована методом квадратів та лінійних трас.

На основі цих даних було обчислено біомасу Верби білої (*Salix alba* L.) на прикладі вже згада-

ної ділянки (L4), де біомаса цієї рослини складала близько 21,97 т/га.

Для обчислення біомаси молодих дерев Верби білої (*Salix alba* L.), було враховано кілька ключових параметрів: середню масу однієї рослини, їх кількість, а також формули, які використовуються для оцінки біомаси. Оцінка маси одного дерева верби проводилася за такими параметрами: вік 2 роки, висота 400 см, діаметр біля основи 4 см, посередині 2 см, і на кінці 0,5 см. Потрібно врахувати об'єм стовбура, щільність деревини та можливу масу гілок і коренів. Стовбур моделюємо як набір конусів. Формула для об'єму однієї конусоподібної секції:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot H}{3} \cdot \left(\frac{D_1^2 + D_1 D_2 + D_2^2}{4} \right)$$

де:

- H – висота сегмента, м.
- D_1, D_2 – діаметри основ конуса, м.

Для дерева з діаметрами біля основи $D_1 = 0,04$ м, посередині $D_2 = 0,02$ м, та на кінці $D_3 = 0,005$ м, потрібно виконати розрахунок об'єму для кожної секції. Наприклад, основа-середина та середина-кінець. Загальний об'єм дорівнює сумі об'ємів секцій.

Стовбур моделюємо як два окремих конусоподібних сегмента:

Сегмент 1 – від основи до середини:

- Висота $H_1 = 2$ м.
- Діаметри: $D_1 = 0,04$ м, $D_2 = 0,02$ м.

Сегмент 2 – від середини до кінця:

- Висота $H_2 = 2$ м.
- Діаметри: $D_2 = 0,02$ м, $D_3 = 0,005$ м.

Об'єм сегмента 1:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot 2}{3} \cdot \left(\frac{0,04^2 + 0,04 \cdot 0,02 + 0,02^2}{4} \right)$$

$$V_1 = \frac{\pi \cdot 2}{3} \cdot \left(\frac{0,0016 + 0,0008 + 0,0004}{4} \right) = \\ = \frac{\pi \cdot 2}{3} \cdot 0,0007 \approx 0,00147 \text{ м}^3$$

Об'єм сегмента 2:

$$V_2 = \frac{\pi \cdot 2}{3} \cdot \left(\frac{0,02^2 + 0,02 \cdot 0,005 + 0,005^2}{4} \right)$$

$$V_2 = \frac{\pi \cdot 2}{3} \cdot \left(\frac{0,0004 + 0,0001 + 0,000025}{4} \right) = \\ = \frac{\pi \cdot 2}{3} \cdot 0,00013125 \approx 0,000275 \text{ м}^3$$

Загальний об'єм стовбура:

$$V \text{ загальний} = V_1 + V_2 = 0,00147 + 0,000275 = 0,001745 \text{ м}^3.$$

Маса стовбура обчислюється за формулою:

$$M \text{ стовбура} = V \text{ загальний} \cdot \rho$$

де ρ – щільність деревини верби = 500 кг/м³

$$M \text{ стовбура} = 0,001745 \cdot 500 = 0,8725 \text{ кг.}$$

Оцінка маси гілок:

За емпіричними даними маса гілок становить близько 30% маси стовбура [14]:

$$M \text{ гілок} = 0,8725 \cdot 0,3 \approx 0,26175 \text{ кг.}$$

Середня маса одного дерева становить:

$$M \text{ загальна} = M \text{ стовбура} + M \text{ гілок} = 0,8725 + 0,26175 \approx 1,13 \text{ кг.}$$

Для отримання загальної біомаси обчислюємо об'єм коренів середньостатистичної рослини Верби білої (*Salix alba* L.). Як відомо співвідношення надземної і підземної біомаси для багатьох видів дерев

становить від 1:4 до 1:5. Це означає, що об'єм коренів можна оцінити як частку від загального об'єму стовбура і гілок:

$$V \text{ коренів} = V \text{ загальний} \cdot K,$$

де K – емпіричний коефіцієнт, який зазвичай становить 0,2–0,25 [6,8].

Тобто середня біомаса кореневої системи одного дерева становить:

$$M \text{ корені} = M \text{ надземна} \cdot 0,25 = 1,13425 \cdot 0,25 \approx 0,28356 \text{ кг.}$$

Отже середня біомаса одного дворічного дерева Верби білої (*Salix alba* L.) обраховується за наступною формулою:

$$M \text{ загальна} = M \text{ надземна} + M \text{ корені} = 1,13425 + 0,28356 = 1,41781 \text{ кг.}$$

Вага біомаси Верби білої (*Salix alba* L.) з урахуванням середньої щільності 15500 рослин на 1000 м² може становити:

$$M 1000 = M \text{ однієї рослини} \cdot N1000$$

$$M 1000 = 1,41781 \cdot 15500 \approx 21976,05 \text{ кг.} = \mathbf{21,976 \text{ тон на 1 га.}}$$

Ці обчислення збігаються з даними наведеними у нижче наведеній таблиці [9]. Також подібні дані представлені і в статті [6].

Дослідження проводилися за допомогою тесту Valpro, який використовується для оцінки продуктивності біомаси та вуглецевого балансу рослин [9].

На рис. 3 і в табл. 1 показано загальну продуктивність біомаси досліджуваних клонів деревовидних верб у тесті Valpro в першій і другій послідовних дворічних ротаціях. У перші роки досліджень (у віці 2/3 років) середня продуктивність біомаси становила 19,1 т·ДМ·га·рік з коливаннями від 10,4 (клон 'V 052') до 25,7 т·ДМ·га·рік (клон 'V 95'). У наступній ротації (вік 2/5 років) середня продуктивність становила 20,6 т·ДМ·га і варіювала від 15,2 (клон 'V 461') до 25,0 т·ДМ·га (клон 'V 578')

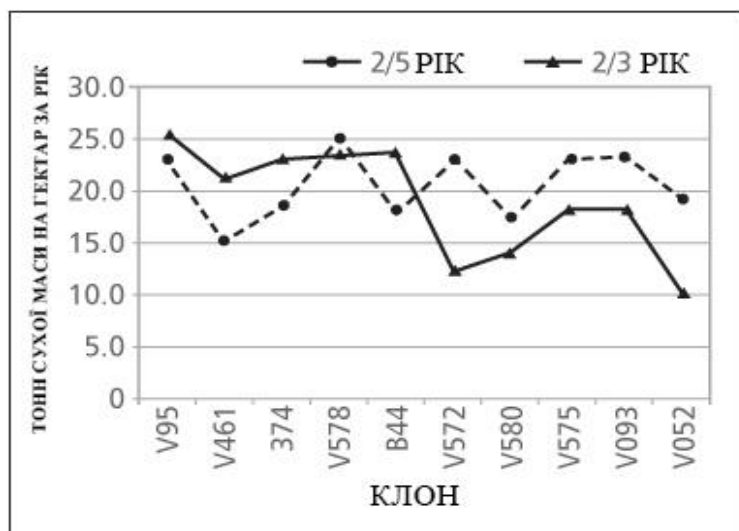


Рис. 3. Виробництво біомаси досліджуваних клонів верби у тесті Valpro за два послідовні періоди сівозміни (2/3 та 2/5 років)

Середнє виробництво біомаси досліджуваних клонів верби (тест Valprovo)

№	Клон	Ботанічна назва	Середня суха біомаса (тони сухої маси на гектар за рік)	
			2/3 роки	2/5 роки
1	'В 44'	<i>Salix alba</i>	23,8	18,2
2	'V 093'	<i>(S. alba × S. alba var. vitellina) × S. alba</i>	18,5	23,5
3	'V 052'	<i>S. alba var. calva × S. alba</i>	10,4	19,3
4	'V 374'	<i>S. matsudana × (S. matsudana × S. alba)</i>	22,9	18,8
5	'V 461'	<i>S. matsudana × (S. matsudana × S. alba)</i>	24,0	15,2
6	'V 95'	<i>Salix alba</i>	25,7	23,1
7	'V 580'	<i>S. matsudana × unknown</i>	14,3	17,4
8	'V 572'	<i>(S. matsudana × S. alba) × unknown</i>	12,2	23,0
9	'V 578'	<i>S. matsudana × unknown</i>	23,3	25,0
10	'V 575'	<i>S. matsudana × unknown</i>	18,3	23,0
Середнє значення			19,1	20,6

[9]. Що також підтверджує правильність наших обчислень.

Головні висновки. Виходячи з наведених обчислень можна стверджувати, що піонерська рослинність розвивається напроцуд активно і вже накопичила значну біомасу, яка вже зв'язала чимало забруднювальних речовин та спричиняє фітомеліоративний ефект. До того ж, варто оцінити і те, що в середньому (*Salix alba* L.) може накопичувати до 292,98 тон вуглецю на 1 га. з ґрунту і близько 1075,24 тон CO₂ на 1 га з атмосфери [10]. Це має спричинити певні кліматичні зміни, оскільки відомо, що підвищені викиди вуглецю, зазвичай призводять до дефіциту води та погіршенню якості прісної води [12].

В ході досліджень встановлено, що серед деревної рослинності домінуючими є автохтонні види. Серед трав'яної рослинності також домінують автохтони але зі значними вкрапленнями інвазивних видів.

Особливий інтерес становлять значні площі вербових заростів, які відомі своїми фіторемедіаційними властивостями, що застосовуються для очищення забрудненої води, ґрунтових вод, ґрунту, осаду та мулу [11].

Що до трав'яної рослинності, то на цій ділянці найчастіше траплявся Очерет звичайний (*Phragmites australis*) який також має аналогічні властивості.

Дослідження показали формування таких типів біотопів: водні, пляжі та дюни, прибережно-болотні

та чагарниково-лісові. Лучно-степові біотопи з домінуванням злакових на теперішній час (2024 р.) не простежуються. Найбільші площі обстежених територій займають молоді чагарниково-лісові угруповання. В ході обстежень зафіксовано інтенсивний розвиток піонерської рослинності та зникнення більшості не вкритих рослинністю ділянок. Це нівелює можливі ерозійні процеси та має позитивно впливати на загальне покращення і очищення ґрунтів [6, 7].

Перспективи використання результатів дослідження. Одержані результати вказують на перспективність вивчення заростів Верби білої (*Salix alba* L.) та Очерету звичайного (*Phragmites australis*). Зокрема, для визначення подальшої динаміки утворення біомаси та темпів формування новітніх біоценозів. А також впливу цих фітоценозів на фіторемедіацію та фітомеліорацію.

Ці дослідження можуть лягти в основу створення баз даних, які дозволять розробляти та застосовувати нові методики досліджень і створювати максимально точні прогнози щодо можливих варіантів використання цих територій. Важливим напрямком є подальше вивчення процесів за участю Верби білої та інших деревних та трав'яних видів рослин. Також є необхідним досліджувати всі зазначені процеси саме в довготривалій динаміці для побудови реалістичних моделей та подальшого точного прогнозування подій.

Література

- Petrлік J., Jelínek N., Černochová M., Skalský M., Polák M., Angurets O., Kushch M. First research of the contamination of the sediments from Kakhovka Reservoir. Arnika. 2023. URL: <https://cleanair.org.ua/en/publication/first-research-of-the-contamination-of-the-sediments-from-kakhovka-reservoir> (дата звернення: 20.12.2024).
- Кагастрофа Каховського водосховища: свідчать супутникові знімки / За заг. ред. члена-кореспондента НАН України М. Попова. Київ: ТОВ «Українська Картографічна Група», 2024. 92 с.
- Rapid Environmental Assessment of Kakhovka Dam Breach Ukraine, 2023. DOI: 10.59117/20.500.11822/43696. URL: https://ceobs.org/wp-content/uploads/2023/10/Kakhovka_Dam_Breach_Ukraine_Assessment.pdf (дата звернення: 20.12.2024).

4. Kuzemko A., Moisienko I., Didukh Y. Reach the bottom: plant cover of the former Kakhovka Reservoir, Ukraine. ResearchGate. 2024. URL: https://www.researchgate.net/publication/379551428_Reach_the_bottom_plant_cover_of_the_former_Kakhovka_Reservoir_Ukraine (дата звернення: 20.12.2024).
5. Gupta A., Singh N. B., Choudhary P., Sharma J. P., Sankhayan H. P. Estimation of Genetic Variability, Heritability and Genetic Gain for Wood Density and Fibre Length in 36 Clones of White Willow (*Salix Alba L.*). International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology. 2014. Т. 7. № 2. DOI: 10.5958/2230-732x.2014.00247.2.
6. Almuktar S.A.A.N., Abed S.N., Scholz M. Biomass Production and Metal Remediation by *Salix alba L.* and *Salix viminalis L.* Irrigated with Greywater Treated by Floating Wetlands. Environments. 2024. Т. 11. № 44. DOI: 10.3390/environments11030044.
7. Janssen J., Weyens N., Croes S., Beckers B., Meiresonne L., Van Peteghem P., Carleer R., Vangronsveld J. Phytoremediation of Metal Contaminated Soil Using Willow: Exploiting Plant-Associated Bacteria to Improve Biomass Production and Metal Uptake. International Journal of Phytoremediation. 2015. Т. 17. № 11. DOI: 10.1080/15226514.2015.1045129.
8. Rasool T., Srivastava V. C., Khan M. N. S. Bioenergy Potential of *Salix alba* Assessed Through Kinetics and Thermodynamic Analyses. Process Integration and Optimization for Sustainability. 2018. Т. 2. № 3. DOI: 10.1007/s41660-018-0040-7.
9. Kajba D., Andrić I. Selection of Willows (*Salix sp.*) for Biomass Production. URL: <https://www.seefor.eu/vol-5-no-2-kajba-et-al-selection-of-willows-salix-sp-for-biomass-production.html> (дата звернення: 20.12.2024).
10. Mushtaq S. M., Masoodi T. H., Khan P. A., Parrey G. N. Biomass Production and Carbon Sequestration Potential of *Salix alba* Plantations under Temperate Conditions of Kashmir (India). International Journal of Pharma and Bio Sciences. 2014. Т. 5. № 2.
11. Zalesny R.S., Headlee W.L., Gopalakrishnan G., Bauer E.O., Hall R.B., Hazel D.W., Isebrands J.G., Licht L.A., Negri M.C., Nichols E.G. et al. Ecosystem services of poplar at long-term phytoremediation sites in the Midwest and Southeast, United States. Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment. 2019. Т. 8. DOI: 10.1002/wene.349.
12. UN Water. Coping with Water Scarcity—A Strategic Issue and Priority for System—Wide Action. UN Water Thematic Initiatives. Geneva, Switzerland, 2006.
13. Олійник П. О. Моніторинг стану новоутворених біотопів та складу ґрунтів дна Каховського водосховища. Актуальні питання суспільства у сферах екологічної та цивільної безпеки, енергозбереження, менеджменту та економіки: матеріали I Всеукр. наук.-практ. конф. Запоріжжя: ЗНУ, 2024. С. 60–62. URL: https://www.znu.edu.ua/i_znu/nauka/2024/aktualni-rytannya/zbirnyk_24.pdf (дата звернення: 20.12.2024).
14. Cunniff J., Purdy S. J., Barraclough T. J. P., Castle M., Maddison A. L., Jones L. E., Shield I. F., Gregory A. S., Karp A. High yielding biomass genotypes of willow (*Salix spp.*) show differences in below ground biomass allocation. Biomass and Bioenergy. 2015. Т. 80. DOI: 10.1016/j.biombioe.2015.04.020.

МОНІТОРИНГ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ МІСЬКОЇ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ НА ПРИКЛАДІ М. ЧЕРКАСИ

Ящук Л.Б.

Черкаський державний технологічний університет
бульв. Шевченка, 460, 18006, м. Черкаси
l_yashchuk@ukr.net

Об'єктом дослідження є транспортна інфраструктура та атмосферне повітря міста Черкаси. За результатами аналізу моніторингу екологічних показників визначено рівень забруднення атмосфери та шумового навантаження залежно від особливостей міської транспортної інфраструктури та дана оцінка їх впливу на якість довкілля. Визначено, що на рівень забруднення атмосферного повітря суттєво впливають організація міського трафіку та якісний стан вуличної мережі. Досліджено щільність та територіальний розподіл транспортних потоків в межах обласного центра. Маршрутна сітка руху громадського транспорту в місті була сформована в 1990-х рр. під впливом відсутності регуляції зі сторони міських органів влади заради отримання максимальних прибутків при мінімальних витратах. Більшість маршрутів проходить через центральний район міста, що провокує забруднення атмосферного басейну та створює значний тиск на вулично-дорожню інфраструктуру.

Проаналізовано структуру автотранспортних засобів в транспортних потоках міста. Визначення концентрації забруднюючих речовин в зоні досліджуваних ділянок показало значне забруднення атмосферного повітря викидами автотранспорту. Найбільші перевищення отримані на вулицях з інтенсивним рухом автомобільного транспорту і довгим часом заборонного сигналу світлофору. Провідну роль в забрудненні довкілля відіграє легковий та пасажирський автотранспорт. На рівень забруднення атмосферного повітря пересувними джерелами забруднення впливає кілька факторів, серед яких провідним є щільність транспортного руху. Для забудови в районі транспортних магістралей властиве стійке забруднення повітря в зоні до 100 м від проїзної частини вулиць. Занижені показники розсіювання вихлопних газів пов'язані із режимом роботи холостого ходу двигунів під час стояння на перехрестях. Аналіз акустичного впливу в умовах інтенсивних транспортних потоків на всіх дослідних ділянках свідчить про помірне шумове забруднення. Найбільш небезпечною частиною вулиць, яка потрапляє в зону постійного шуму є 50-ти метрова зона від дороги. На основі отриманих результатів запропоновані пріоритетні заходи для вирішення існуючих проблем та розробити управлінські заходи по їх втіленню. *Ключові слова:* моніторинг, атмосферне повітря, транспортна інфраструктура, шум, пасажирський транспорт, забруднення.

Monitoring of environmental indicators of the city transport network on the example of Cherkasy. Yashchuk L.

The object of the study is the transport infrastructure and atmospheric air of the city of Cherkasy. According to the results of the analysis of the monitoring of environmental indicators, the level of atmospheric pollution and noise load was determined depending on the characteristics of the urban transport infrastructure, and an assessment of their impact on the quality of the environment was given. It was determined that the level of atmospheric air pollution is significantly influenced by the organization of city traffic and the quality of the street network. The density and territorial distribution of traffic flows within the regional center were studied. The route network of public transport in the city was formed in the 1990s. under the influence of the lack of regulation by city authorities in order to obtain maximum profits at minimum costs. Most of the routes pass through the central area of the city, which causes pollution of the atmospheric basin and creates significant pressure on the street and road infrastructure.

The structure of motor vehicles in the traffic flows of the city was analyzed. Determining the concentration of pollutants in the area of the studied areas showed significant pollution of the atmospheric air by vehicle emissions. The largest excesses were obtained on streets with heavy traffic and a long time of prohibitory traffic lights. Car and passenger vehicles play a leading role in environmental pollution. The level of atmospheric air pollution by mobile sources of pollution is influenced by several factors, the leading one of which is the density of traffic. Persistent air pollution in the zone up to 100 m from the carriageway of the streets is typical for buildings in the area of transport highways. Understated indicators of the dispersion of exhaust gases are associated with the idling mode of the engines while standing at crossroads. The analysis of the acoustic impact in the conditions of intensive traffic flows at all experimental sites indicates moderate noise pollution. The analysis of the acoustic impact in the conditions of intensive traffic flows at all experimental sites indicates moderate noise pollution. The most dangerous part of the streets, which falls into the zone of constant noise, is the 50-meter zone from the road. On the basis of the obtained results, priority measures are proposed to solve the existing problems and to municipal management measures for their implementation. *Key words:* monitoring, atmospheric air, transport infrastructure, noise, passenger transport, pollution.

Постановка проблеми. Інтеграція України до країн ЄС потребує гармонізації вітчизняних екологічних норм із європейськими вимогами, серед яких важливе місце займає якість атмосферного повітря. В більшості українських міст рівень чистоти атмосферного повітря в значній мірі залежить від обсягів викидів пересувними джерелами забруднення. Зростання кількості автомобілів у населення

та складнощі в організації раціонального руху міського транспорту породжують проблему стійкого забруднення міського повітря вихлопними газами автотранспорту.

Актуальність дослідження. Якість атмосферного повітря займає особливе місце в забезпеченні екологічної безпеки території та здоров'я населення. Швидкі темпи урбанізації та супутнє зростання

автопарку в містах при застарілій вулично-дорожній мережі провокує його стале забруднення. Розбудова вітчизняної транспортної інфраструктури часто відбувається без урахування даних екологічного моніторингу. Сучасний екологічний моніторинг включає стандартні інструменти оцінки якості стану навколишнього середовища і дозволяє встановити якісний та кількісний склад забруднення. Діяльність регіональної влади по покращенню екологічної ситуації в містах часто визначається економічними можливостями, а розробка заходів по поліпшенню стану довкілля відіграє другорядну роль. Механізм зменшення забруднення шляхом упровадження необхідних адміністративних заходів на основі даних екологічного моніторингу майже відсутній.

Моніторинг атмосферного повітря розпочинається з вимірювань визначених забруднень на різних типах територій залежно від пріоритетного джерела забруднення (фон міста, дорожній рух). На жаль, екологічні нормативи та механізми визначення рівня забруднення довкілля не гарантують поліпшення стану довкілля. Дослідження, спрямовані на оцінку ефективних та економічно доцільних методів визначення рівня забруднення локальних міських територій є актуальним. Результати таких досліджень потрібні практиці, тому що дозволяють пов'язувати стан довкілля із врахуванням наслідків прийнятих місцевою владою рішень.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Рівень забруднення атмосферного повітря автотранспортом в містах залежить не лише від джерел та обсягів викидів забруднюючих речовин. Особливості транспортної інфраструктури та просторова забудова локальних територій значною мірою можуть визначати атмосферні процеси та формування мікроклімату міського середовища. Стаціонарні пости спостережень не враховують ці фактори. Для оцінки якості атмосферного повітря, за умов відсутності чи неповноти даних, найкращим рішенням є використання розрахункових методів моніторингу, які дозволяють врахувати визначальні фактори для формування та просторового поширення забруднення, обумовленого автомобільним транспортом. Визначення вулично-дорожніх ділянок дозволить змодельовувати ступінь та характер забруднення атмосферного басейну міського середовища на окремих територіях. Такі дані допоможуть міській владі розробити комплекс заходів для попередження погіршення екологічної обстановки транспортних перехресть і виникнення небезпеки для населення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В наукових дослідженнях мінімізація наслідків забруднення повітря автотранспортом розглядається в декількох напрямках. В окремих дослідженнях [1, 2] аналізується рішучість населення платити за скорочення викидів парникових газів за рахунок податків на автомобілі. На основі отриманих даних

місцева влада може формувати екологічну політику з економічними обмеженнями для пересічних громадян у відношенні користування приватними автомобілями. Автори пропонують використовувати ринковий підхід у якості кількісної оцінки ефективності екологічної політики. Розуміння впливу міської транспортної інфраструктури на якість довкілля визначає ефективність використання екологічної оцінки під час формування політики муніципальної влади стосовно планування розбудови вулично-транспортної мережі [3]. В окремих дослідженнях відбувається аналіз різновидів автотранспорту з точки зору їх внеску у забруднення міського повітря. Зокрема, моделювання ширшого використання громадського транспорту показало його значний внесок у вирішенні міських заторів, економії пального та викидів парникових газів [4].

На основі даних екологічного моніторингу визначається рівень та спектр забруднюючих речовин в міському повітряному басейні без урахування особливостей транспортних потоків. В окремих дослідженнях по визначенню екологічних індикаторів у плануванні транспортних потоків в містах Іспанії. виявлено слабкі зв'язки між екологічними та транспортними службами місцевої влади та складність їх поєднання [5].

У роботі українських науковців [6] визначено завантаженість перехресть вулиць міста автомобільним транспортом, розраховано коефіцієнт концентрації чадного газу (CO) на окремих перехрестях автомагістралей, складено картосхему інтенсивності забруднення перехресть вулиць Львова викидами CO. Автори пропонують новий підхід до визначення рівня забруднення на міських транспортних потоках. Зокрема, вимірювати рівень забруднення повітря в межах забудованих територій, що прилягають до магістральних вулиць, а з метою поліпшення стану міського атмосферного басейну заборонити використання домішок тетраетилсвинцю в пальному. Проблема поліпшення якості міського атмосферного повітря можлива завдяки технічним рішенням. Для очищення вихлопних газів рухомої техніки пропонується використовувати метанол. Метанол є визнаним відновлюваним джерелом енергії. У контексті вуглецевої нейтральності автори оцінюють техніко-економічний аналіз застосування метанолу в двигунах внутрішнього згорання з різних аспектів, а також вплив спалювання метанолу в двигунах внутрішнього згорання на викиди [7].

Сучасні методи оцінювання стану навколишнього природного середовища, оцінки екологічного ризику та ризику для здоров'я населення, методи визначення антропогенного навантаження на стан передбачають застосування методів інтегральних та комплексних оцінок стану природних екосистем та екологічного ризику [8]. На основі методології оцінки ризику для здоров'я населення, проведено розрахунок забруднення для 28 автодоріг та 6 пере-

хресть м. Києва. В дослідженні структури, інтенсивності та особливостей руху транспортних потоків визначено рівень ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря викидами автомобільного транспорту на території Дарницького та Дніпровського районів м. Києва. Сумарний неканцерогенний ризик (НІ) для умов хронічного впливу визначено в діапазоні від $4,04E-02$ до $5,43E+00$, що свідчить про можливість зростання частоти негативних реакцій з боку органів дихання в 1,5–5,4 рази [9].

Інтегроване управління забрудненням повітря та викидами вуглецю має вирішальне значення для збереження стабільності екосистеми та здоров'я населення. Аналіз впливу спрямованої екологічної політики влади на скорочення викидів вуглецю та якість повітря показує значну географічну неоднорідність у її реалізації. Ключовою мотивацією для формування політики скорочення викидів вуглецю та політики контролю якості повітря є економічна успішність країни. Цей фактор також безпосередньо впливає на захворюваність на респіраторні захворювання [10].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Слід зазначити, що більшість наукових досліджень зосереджені виключно на вивченні екологічних наслідків від руху автотранспорту в межах міських екосистем. Недостатньо вивчені шляхи адаптації транспортної інфраструктури українських міст до вимог сучасного екологічного законодавства. Наукового обґрунтування потребує вивчення інтенсивності транспортних потоків та їх обмеження в умовах сучасної розбудови міського середовища. В умовах переходу до сталого розвитку суспільства більшої уваги необхідно приділяти використанню інструментів екологічного менеджменту муніципалітетів. Впровадження результатів екологічного моніторингу в розробку адміністративних заходів міської влади з метою поліпшення стану атмосферного

повітря та оптимізації транспортних потоків поки спостерігається лише в окремих містах України. Визначенню перспектив використання комплексу даних екологічного моніторингу у поєднанні з особливостями транспортної інфраструктури міст для підвищення ефективності управлінських рішень присвячена стаття.

Новизна. Розроблені управлінські заходи по зниженню рівня забруднення міського атмосферного басейну з використанням розрахункових методів екологічного моніторингу та особливостей транспортної мережі м. Черкаси.

Методологічне або загальнонаукове значення.

Дослідження проводилися на основі опрацювання наукових, нормативних та методологічних літературних джерел за тематикою статті.

Виклад основного матеріалу. Вивчення впливу вуличної транспортної системи на формування забруднення атмосферного повітря викидами автомобільного транспорту в міському середовищі проводилось в м. Черкаси. Стан довкілля у місті загалом характеризується як стабільний. Забудова міських мікрорайонів, розміщення на березі водосховища та особливості територіального розташування промислового комплексу призводять до формування особливого метеорологічного режиму [11]. Низький потенціал до розсіювання шкідливих домішок в атмосфері через слабовітряну погоду та невелику кількість опадів спричиняє ризику забруднення атмосферного повітря над містом. Динаміка змін комплексного індексу забруднення атмосфери (ІЗА) по місту за останні 8 років свідчить про підвищений рівень забруднення міського атмосферного басейну. У 2023 році ІЗА в обласному центрі склав 6,54 (рис. 1).

Для обласного центру характерна наявність значного автомобільного парку (на 1000 населення припадає більше 200 автомобілів, не враховуючи транзитного транспорту). Протяжність міських доріг

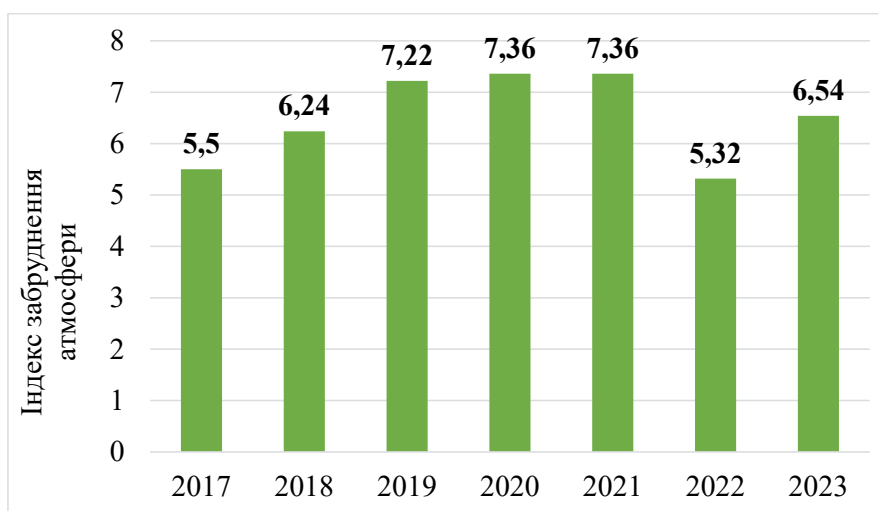


Рис. 1. Динаміка змін комплексного індексу забруднення атмосфери по м. Черкаси за 2017–2023 роки

із твердим покриттям становить 270,1 км. Через місто проходить національна автомобільна дорога Золотоноша Черкаси – Сміла – Умань (Н–16) та автотраса регіонального значення Канів – Кременчук. В Черкасах є кілька великих транспортних артерій: бульвар Шевченка, вулиці Благовісна, Чорновола та Смілянська (рис. 2).

Транспортне районування території міста характеризується наявністю 81 житлових, 8 промислових та 9 рекреаційно-відпочинкових транспортних районів. У місті встановлено 94 світлофорів. Одне стандартне перехрестя має 16 світлофорів: 8 транспортних на 24 лампи та 8 пішохідних на 16 ламп. У 2022–2023 рр. було проведено повну заміну світлофорів по бульвару Шевченка, вулицях Смілянська і Сумгайтська. Для забезпечення річного обсягу поїздок по місту потрібно: 78 тролейбусів, 74 автобуси великої місткості та 53 автобуси малої місткості. Насьогодні міський електричний транспорт обслуговує 26 маршрутів та налічує 97 одиниць тролейбусів, значна частка яких вичерпала терміни експлуатації.

Для визначення пріоритетних завдань по оптимізації транспортного руху було проведено комплексне дослідження завантаженості дорожньої мережі міста з урахуванням екологічних та санітарно-гігієнічних наслідків для довкілля та здоров'я черкащан. Дослідження проводили на 10-ти дослідних ділянках, які максимально охоплювали транспортну інфраструктуру м. Черкаси. При виборі ділянок було враховано наявність та відстань до забудови, характер руху (напрямок, кількість смуг, їх розділення), ширину проїжджої частини, діагональ перехрестя та рівень навантаження на дорожню мережу (табл. 1).

Для визначення максимального транспортного навантаження на обраних ділянках проводили спостереження протягом робочого тижня в години «пік»: з 8 до 11 та з 16 до 19 год. Інтенсивність руху автотранспорту визначали методом підрахунку різних типів автомобілів на 1 годину. Щільність транспортних потоків по дорожній мережі міста представлена на рисунку 3.

Найбільш завантаженими ділянками дорожньої мережі у місті є перехрестя в центральній частині міста на бульварі Шевченка, вулицях Смілянській, Надпільній. Під час спостережень спостерігали швидке утворення заторів в цих ділянках міської транспортної мережі, особливо в ранкові години-пік.

Для аналізу структури транспортного потоку враховували основні категорії транспортних засобів: легкові і вантажні автомобілі, автофургони, автобуси. В структурі автотранспортних засобів переважають легкові автомобілі – 72%. Автобуси складають 14%, автофургони – 10%, а на долю вантажівок припадає біля 4% (рис. 4).

Частка легкових автомобілів в структурі транспортних потоків є найбільшою на всіх ділянках, на яких проводилися дослідження і змінювалася від 579 до 1446 одиниць за годину у години пікового навантаження. Чисельність цієї категорії транспортних засобів в 10–20 разів більша за інші. Значна частка автофургонів в структурі автомобільних засобів зафіксована на ділянці 7,8. Вантажний транспорт рухається переважно по транспортних артеріях на вулицях проспект Хіміків, Надпільна, Сумгайтська (рис. 5).

Частка автобусів у перевезенні містян становить 80% всього громадського транспорту, що свід-

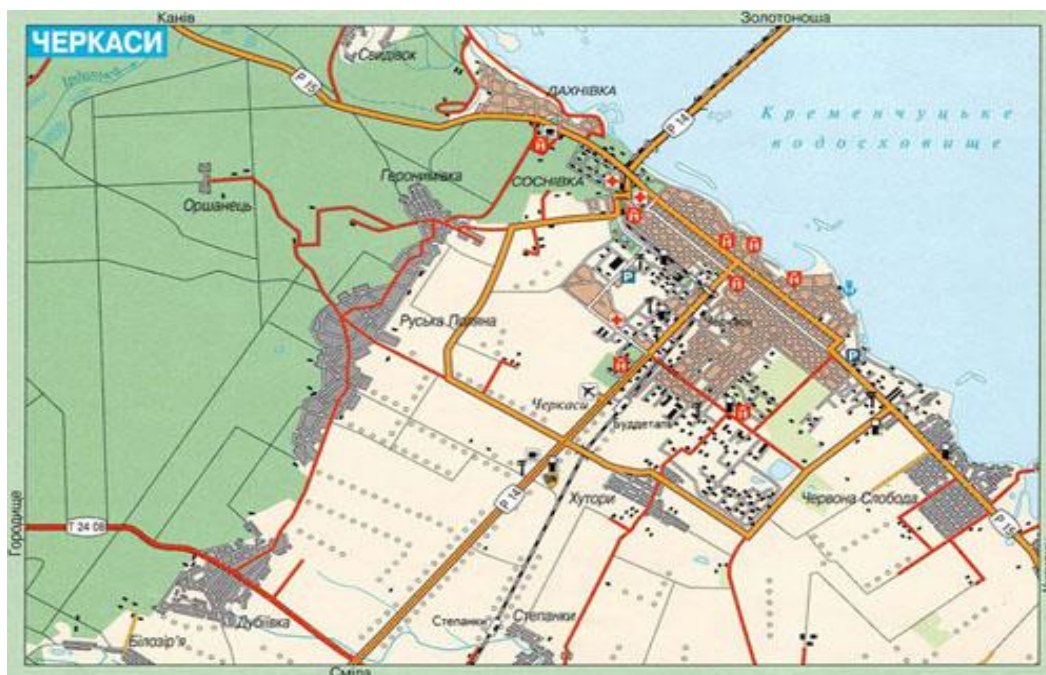


Рис. 2. Мапа автомобільних доріг м. Черкаси

Таблиця 1

Характеристика дослідних ділянок вулично-дорожньої мережі міста

Назва вулиці	Перехрестя (вулиця)	№ ділянки	Характер руху	Ширина дороги, м	Діагональ перехрестя, м	Відстань до забудови, м
Бульвар Шевченка	Смілянська	1	4-смугова, різнонаправлена	7	45	5
	Грушевського	2		7	45	7
	С. Бандери	3		7	47	6
Смілянська	Надпільна	4	4-смугова, різнонаправлена	12	13	11
	Проспект Перемоги	5		10	14	26
Чорновола	Благовісна	6	4-смугова, різнонаправлена	8	8	11
	Проспект Хіміків	7		10	14	30
Надпільна	Кобзарська	8	2-смугова, однонаправлена	8	10	9
	Пастерівська	9		8	11	8
Сумгайтська	Одеська	10	4-смугова, різнонаправлена	12	15	24

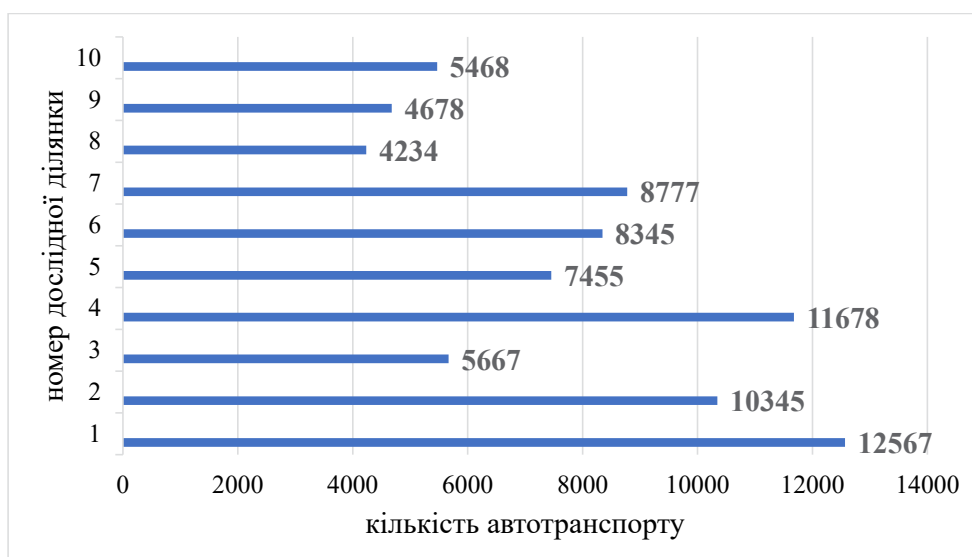


Рис. 3. Добова інтенсивність руху транспортних засобів на перехрестях за день (в одиницях)

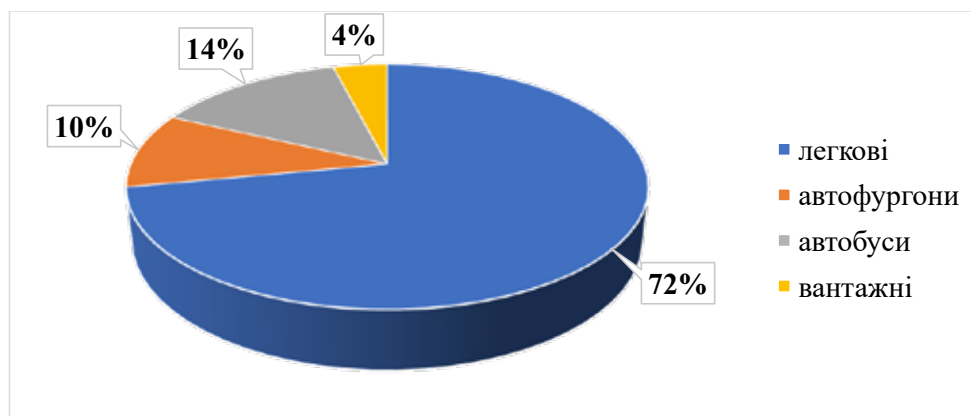


Рис. 4. Структура автотранспорту, що проходить по вулично-дорожній мережі м. Черкаси

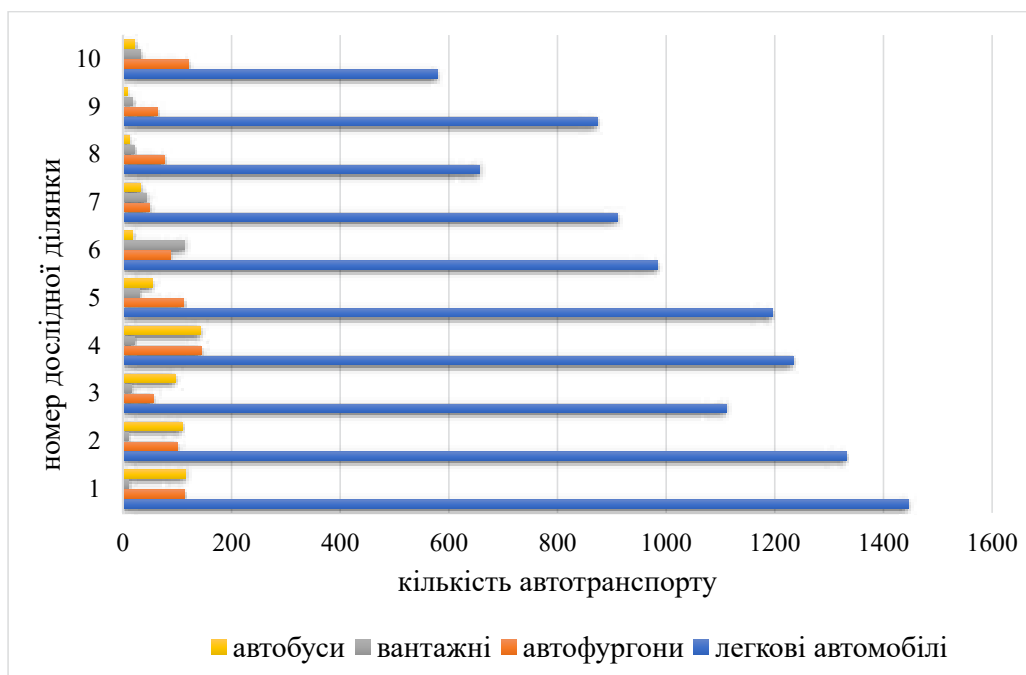


Рис. 5. Чисельність різних категорій автотранспорту в міському транспортному потоці за годину

чить про вагомий внесок цих транспортних засобів в забруднення атмосферного повітря. Пасажирська транспортна система міста Черкаси налічує 17 радіальних автобусних маршрутів, що сполучають околиці міста з центральним кільцем та 8 хордових, які сполучають між собою райони міста. Загалом містом курсує 182 автобуси [13]. Маршрутна сітка руху громадського транспорту в місті була сформована в 1990-х рр. за відсутності регуляції зі сторони міських органів влади з метою отримання максимальних прибутків при мінімальних витратах. Наслідком є її нерациональність: більшість маршрутів автобусів проходить через центральні вулиці (Шевченко, Смілянська), деякі з них дублюються тролейбусами.

Для визначення внеску транспортної мережі міських агломерацій у забруднення атмосферного басейну використовували розрахункові методи екологічного моніторингу [14]. Визначення питомої емісії забруднюючих речовин проводили за методикою [15] за 7-ми речовинам: CO, NO_x, SO₂, вуглеводні (C_nH_m), сажа, формальдегід, бенз(а)пірен. Для визначення рівня хімічного забруднення атмосферного повітря на дослідних ділянках використовували методику розрахунку викидів автотранспорту в районі регульованого перехрестя ОНД-86. Інтенсивність забруднення *i*-ою забруднюючою речовиною M_{P_i} в зоні перехрестя при заборонному сигналі світлофора визначали за основною формулою методики:

$$M_{P_i} = \frac{P}{40} \cdot \sum_{n=1}^{N_c} \sum_{k=1}^{N_{gr}} (M_{P_{i,k}} \cdot G_{k,n}), \quad (1)$$

де P (хв) – тривалість дії заборонного сигналу світлофора (включаючи жовтий колір);

N_c – кількість циклів дії заборонного сигналу світлофора за 20-хвилинний період часу;

N_{gr} – кількість груп автомобілів;

$M_{P_{i,k}}$ – питомий викид *i*-ої забруднюючої речовини автомобілями, *k*-ої групи, що знаходяться в «черзі» при заборонному сигналі світлофора;

$G_{k,n}$ – кількість автомобілів *k*-ої групи, що знаходяться в «черзі» в зоні перехрестя в кінці *n*-го циклу заборонного сигналу світлофора.

Компонентний склад сумарних викидів шкідливих речовин в залежності від кількості та типу автомобілів на перехрестях визначали за допомогою усереднених питомих викидів двигунів транспортних засобів (г/хв), що враховують режим руху автомобілів в районі перетину перехрестя (гальмування, холостий хід, розгін) [16].

Для визначення ступеню забруднення повітря розрахована на дослідних ділянках концентрація поліютантів порівнювалась з їх ГДК. Результати розрахунків показані у табл. 2.

На всіх дослідних ділянках відмічається значне забруднення атмосферного повітря викидами автотранспорту. Викиди поліютантів по кожній з ділянок корелюються з активністю автотранспортного потоку на них і довгим часом заборонного сигналу світлофора. Зокрема, перехрестя вул. Чорновола – проспект Хіміків характеризується середньою інтенсивністю транспортного потоку, але має більші значення викидів забруднюючих речовин через значну тривалість заборонного сигналу світлофора.

Найбільший вплив на концентрацію шкідливих викидів в повітрі на перехрестях з урахуванням коефіцієнту токсичності транспортних засобів мають

Розрахункова концентрація забруднюючих речовин в зоні досліджуваних перехресть та значення ГДК для речовин

№	Ранг за рівнем забруднення	Викид забруднюючої речовини, мг/м ³						
		СО	NO _x (NO ₂)	C _n H _m	Сажа	SO ₂	CH ₂ O	Бенз(а)-пірен
1	II	33,82	1,18	7,22	1,47	0,32	0,52	2,16 · 10 ⁻⁶
2	V	16,76	0,60	3,58	0,75	0,17	0,25	1,1 · 10 ⁻⁵
3	X	7,0	0,25	1,21	0,22	0,06	0,04	1,04 · 10 ⁻⁶
4	I	38,20	1,37	8,56	1,69	0,35	0,84	2,35 · 10 ⁻⁶
5	VI	9,74	0,31	1,90	0,37	0,09	0,11	5,68 · 10 ⁻⁶
6	III	23,03	0,79	4,81	0,97	0,23	0,34	1,4 · 10 ⁻⁶
7	IV	19,60	0,70	4,18	0,87	0,20	0,31	1,2 · 10 ⁻⁵
8	IX	7,21	0,25	1,27	0,24	0,06	0,05	1,05 · 10 ⁻⁶
9	VII	7,31	0,28	1,32	0,25	0,07	0,15	1,31 · 10 ⁻⁶
10	VIII	7,3	0,26	1,27	0,25	0,07	0,1	1,05 · 10 ⁻⁶
ГДК		5	0,2	1	0,15	0,5	0,035	0,1 · 10 ⁻⁶

автобуси з бензиновим та дизельним двигуном. Це властиво для всіх груп шкідливих викидів. На обсяги викидів NO₂ суттєвий вплив мають автобуси та вантажівки з дизельним двигуном) [17]. Викиди сажі та оксидів сірки в придорожнє повітря транспортних магістралей пов'язані з роботою дизельних двигунів більшості вантажного транспорту, автофургонів та автобусів.

Головним чинником збільшення чи зменшення інтенсивності викидів у повітря є категорії автотранспорту та час заборонного сигналу світлофору (чим довше сигнал, тим більший час роботи автомобіля в режимі холостого ходу). Зменшення сигналу на 30% може сприяти зниженню концентрації шкідливих речовин (СО, NO₂, СН та SO₂) у декілька разів.

Розрахунок розсіювання чадного газу, як основного складового вихлопних газів двигунів внутрішнього згоряння, проводили з використанням моделі розсіювання Гауса на основі методики ОНД-86 та за допомогою «Gaussian Dispersion Model Calculator». В основу розрахунку було покладено Гауссову модель розподілу в атмосфері забруднюючих речовин, що надходять від автотранспорту. Результати розсіювання оксиду карбону (ГДК_{сд}=3мг/м³) в залежності від відстані до дорожнього полотна представлені на рис. 6.

Для забудови в районі транспортних магістралей міста, які характеризуються найбільш інтенсивним транспортним рухом (дослідні ділянки 1,4), властиве стійке забруднення повітря в зоні до 100 м від

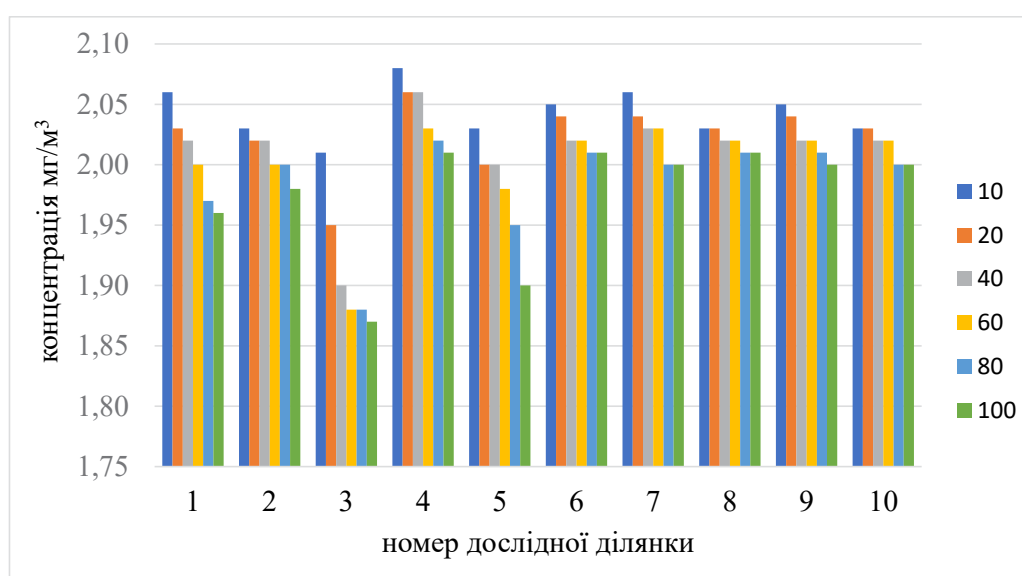


Рис. 6. Розсіювання чадного газу в межах дослідних ділянок залежно від відстані до дорожнього полотна (в метрах)

проїзної частини вулиць. Отже, рівень забруднення повітря в зонах впливу міських вулиць прямо пропорційний щільності транспортних потоків та швидкості руху автомобілей. Занижені показники розсіювання вихлопних газів пов'язані із режимом роботи холостого ходу двигунів під час стояння на перехрестях, а також із малими швидкостями вітру і штилями, які характерні для міста Черкаси.

Розрахунок акустичних рівнів ділянок за інтервал в двадцять чотири години було розділено на чотири основні періоди доби: ранок, обід, вечір та ніч. На всіх ділянках в кожен період спостережень було обрано по три точки та проведено відповідні заміри постійного (фонового), непостійного еквівалентного та імпульсного шуму, а також мінімальні та макси-

мальні акустичні рівні. За результатами дослідження було оцінено шумове навантаження кожної з дослідних ділянок. Вимірювання рівнів звуку проводилося шумоміром Октава 101-А. Результати акустичного стану дослідних ділянок представлені у табл. 3.

Еквівалентний (за енергією) рівень в звуку $L_{A_{екв}}$, дБА визначали за формулою 2.

$$L_{A_{екв}} = 10 \lg \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0,1L_{Ai}} \right], \quad (2)$$

Результати розрахунків представлені на рис. 7.

Аналіз результатів вимірювань та порівняння їх з нормативними вимогами, показало, що найбільш значні перевищення шумового навантаження відмічені на транспортних артеріях міста: бульвар

Таблиця 3

Фонові, максимальні та мінімальні значення шуму досліджуваних територій

№ ділянки	Період доби Точка	Ранок 07:00–08:00	Обід 13:00–04:00	Вечір 19:00–20:00	Ніч 21:00–22:00
		Фонове значення постійного шуму (min/max), дБА			
1	1	31(9/61)	26(5/69)	11(2/44)	10(2/41)
	2	14(6/32)	13(6/29)	8(1/25)	7(1/22)
	3	12(7/39)	11(4/41)	8(3/27)	6(2/21)
2	1	20(9/54)	18(7/57)	13(4/57)	16(4/46)
	2	25(7/57)	24(7/57)	14(4/51)	13(4/57)
	3	14(5/41)	19(5/50)	5(1/22)	9(4/32)
3	1	25(14/61)	26(8/54)	28(11/56)	14(9/47)
	2	8(3/31)	6(3/27)	7(4/25)	4(3/20)
	3	14(5/48)	11(4/45)	14(3/25)	8(4/30)
4	1	9(5/37)	12(6/42)	10(4/36)	5(4/26)
	2	22(9/49)	28(12/52)	24(10/42)	13(2/26)
	3	19(9/38)	24(11/44)	19(8/38)	8(4/23)
5	1	13(5/41)	15(6/45)	12(5/40)	7(3/34)
	2	20(6/45)	22(7/48)	21(6/44)	11(5/36)
	3	11(4/29)	13(5/31)	10(4/27)	6(4/21)
6	1	13(4/46)	14(5/43)	20(5/49)	7(4/23)
	2	31(15/70)	30(12/68)	23(8/71)	18(12/59)
	3	6(4/27)	5(3/26)	5(4/29)	3(1/21)
7	1	27(15/63)	24(13/61)	26(11/59)	11(5/42)
	2	13(7/27)	15(5/32)	19(5/34)	5(3/20)
	3	13(9/38)	16(5/35)	11(4/31)	5(3/27)
8	1	14(6/31)	17(6/40)	10(4/38)	5(3/35)
	2	21(8/46)	25(8/51)	15(8/34)	9(3/38)
	3	10(4/31)	15(7/33)	10(3/32)	5(3/19)
9	1	13(4/46)	14(5/43)	20(5/49)	7(4/23)
	2	33(16/72)	35(12/78)	22(10/72)	8(10/55)
	3	7(5/28)	8(4/27)	5(4/25)	3(2/20)
10	1	17(10/65)	14(11/64)	16(11/59)	9(5/45)
	2	13(8/28)	16(4/42)	21(5/38)	5(2/22)
	3	15(9/33)	16(7/37)	12(4/29)	4(3/26)

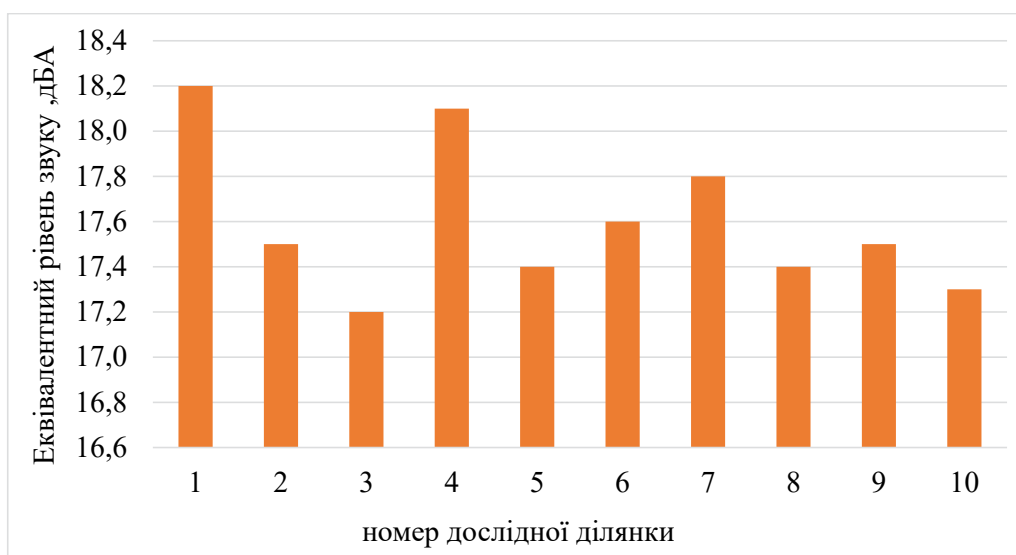


Рис. 7. Еквівалентні рівні звуку на дослідних ділянках (дБА)

Шевченка Смілянська, Надпільна, Проспект Хіміків. Найвищі рівні шуму спостерігаються в ранковий та обідній період – відрізок часу із найвищою інтенсивністю руху автотранспорту.

Для розробки управлінських заходів по поліпшенню транспортної інфраструктури міста та зменшенню її тиску на довкілля та здоров'я містян на основі системного підходу були визначені найбільш проблемні ділянки вулично-дорожньої мережі м Черкаси (табл. 4). За розрахованою концентрацією емісійних газів перші місця в рейтингу займають вулиці з інтенсивним транспортним потоком громадського транспорту і щільною забудовою (дослідні ділянки 1, 4). Історичними особливостями міської забудови є забудова висотними будинками території вздовж вулично-дорожньої мережі. Це зумовлює затримання акустичних шумів для внутрішніх буди-

вель, але не сприяє швидкому розсіюванню забруднень. Інтенсивний транспортний трафік в умовах щільного розміщення світлофорів свідчить про нераціональну та застарілу експлуатацію міської дорожньої мережі м. Черкаси.

Додатковим чинником антропогенного навантаження на атмосферний басейн є побудова автобусних маршрутів з дублюванням руху електротранспорту [18, 19].

Мінімізація негативного екологічного впливу на атмосферне повітря міста Черкаси через застарілу та неефективну експлуатацію транспортної інфраструктури повинна забезпечуватися широким комплексом взаємопов'язаних заходів (табл. 5).

З метою ефективною модернізації вулично-дорожньої мережі та покращення якості атмосферного повітря м. Черкаси муніципальною владою було

Таблиця 4

Результати комплексного аналізу навантаження на вулично-дорожню мережу м. Черкаси

№ ділянки	Транспортне навантаження				Емісія поллютантів				Акустичне забруднення			
	дуже високе	високе	середнє	низьке	дуже високе	високе	середнє	низьке	дуже високе	високе	середнє	низьке
1	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-
2	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-
3	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+
4	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-
5	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-
6	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-
7	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-
8	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-
9	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-
10	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+

прийнято рішення про утворення спільного департаменту дорожньо-транспортної інфраструктури та екології Черкаської міської ради. Поєднання дорожніх та екологічних служб є свідченням розуміння необхідності комплексного підходу із застосуванням екологічного моніторингу до вирішення міських проблем

Головні висновки. На основі досліджень визначенні найбільш завантажені ділянки транспортної мережі м. Черкаси. Аналіз структури трафіку на міських автотрасах показав, що найбільшу його частку складають легкові автомобілі, друге місце складають автобуси. Маршрутна сітка руху громадського транспорту в місті була сформована в 1990-х рр. за відсутності регуляції зі сторони міської влади з метою отримання максимальних прибутків при мінімальних витратах. Більшість маршрутів проходить через центральний район міста, що провокує забруднення атмосферного басейну та створює значний тиск на вулично-дорожню інфраструктуру.

Визначення концентрації забруднюючих речовин в зоні досліджуваних ділянок показало значне забруднення атмосферного повітря викидами автотранспорту. Найбільші перевищення отримані

на вулицях з інтенсивним рухом автомобільного транспорту і довгим часом заборонного сигналу світлофору. Покращення екологічного стану перехресть може бути досягнуто завдяки оптимізації транспортних потоків із застосуванням інтелектуальних транспортних систем. Для усунення екологічної проблеми загазованості перехресть необхідно зменшувати інтенсивність транспортних потоків через транспортні розв'язки та проведення транспортної реформи громадського транспорту.

Використання розрахункових методів екологічного моніторингу може бути використано на стадії проведення екологічного аудиту стану міської дорожньо-транспортної системи і не потребує додаткового фінансування. Це дає можливість ідентифікувати існуючі проблеми, визначити пріоритетність вирішення та розробити управлінські заходи по їх втіленню.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані результати досліджень будуть корисними для працівників фахових відділів міської виконавчої влади при вирішенні конкретних практичних проблем по поліпшенню атмосферного повітря.

Таблиця 5

Управлінські рішення на основі комплексного аналізу міського транспортного руху

Визначення проблем	Екологічні наслідки	Заходи по зменшенню негативного тиску
Недоцільно щільне використання світлофорів на автомагістралях	Збільшення обсягів емісійних газів під час холостого ходу у заторах на перехрестях в центральній частині міста	Зміна циклограм світлофорів на проблемних ділянках. Продовження часу зеленого світла по Хрещатику в напрямку центру, для розвантаження трафіку у центральному районі у вечірній час. На перехресті вулиць з найбільшою щільністю транспортного потоку подовжити "зелений" для зменшення час очікування перетину та попередження утворення заторів.
Значна кількість автобусів в структурі громадського транспорту	Значні викиди сполук сірки та сажі при роботі дизельних двигунів	Заохочення власників автопарку, що займаються міськими перевезеннями, переходити на сучасні моделі міського транспорту з використанням більш екологічно чистих видів пального; включення в Положення про конкурс приватних автоперевізників та договори з ними екологічних вимог.
Нераціональна побудова автобусних маршрутів	Підвищений негативний тиск на атмосферне повітря в центральній частині міста; Високе шумове забруднення	розробка та впровадження транспортної реформи в місті, яка б враховувала особливості транспортної мережі міста та відповідала б сучасним вимогам ЄС до організації міських перевезень Встановлення інтелектуальної системи моніторингу дорожнього руху громадського транспорту
Рух вантажних автомобілів по автомагістралях міста	Збільшення щільності транспортного потоку на міських дорогах; Навантаження та дорожнє полотно із прискореною його руйнацією; Додаткове акустичне навантаження	Розробка проекту та виділення коштів на побудову об'їзної дороги для вантажного транспорту, зокрема з проспекту Хіміків відразу за межі міста

Література

1. Zahedi S., Batista-Foguet J. M., van Wunnik L. Exploring the public's willingness to reduce air pollution and greenhouse gas emissions from private road transport in Catalonia. *Science of The Total Environment*. 2019. Vol. 646. P. 850-861. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.361>
2. Niek Mouter. Standard transport appraisal methods. *Advances in Transport Policy and Planning*. Academic Press. 2021. Vol. 7. P. 1-7. <https://doi.org/10.1016/bs.atpp.2021.02.001>
3. Hugh Thomas, André Cabrera Serrenho Using different transport modes: An opportunity to reduce UK passenger transport emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2024. Vol.126. 103989. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103989>.
4. AlKheder S. Promoting public transport as a strategy to reduce GHG emissions from private vehicles in Kuwait. *Environmental Challenges*. 2021. Vol. 3. P. 100075. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100075>.
5. Soria-Lara, J. A., Bertolini, L., & te Brömmelstroet, M. Environmental impact assessment in urban transport planning: Exploring process-related barriers in Spanish practice. *Environmental Impact Assessment Review*. 2015. Vol. 50, 95-104. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2014.09.001>
6. Петровська М. Морквич В. Аналіз впливу автотранспорту на забруднення атмосферного повітря перехресть вулиць Львова монооксидом карбону. *Вісник Львівського університету. Серія географічна*, 2014. Вип. 47, 217-223. Режим доступу: https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2015/02/visnyk-47_2014.pdf
7. Zhi Tian, Yang Wang, Xudong Zhen, Zengbin Liu The effect of methanol production and application in internal combustion engines on emissions in the context of carbon neutrality: A review. *Fuel*. 2022. Vol. 320, 123902. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123902>.
8. Васенко О.Г., Рибалова О.В., Артем'єв С.Р. Інтегральні та комплексні оцінки стану навколишнього природного середовища: монографія. Харків, НУГЗУ, 2015. 419 с.
9. Ананьєва О. В. Оцінка ризику для здоров'я населення, обумовленого викидами автомобільного транспорту, на території Дарницького та Дніпровського районів м. Києва Довкілля та здоров'я. 2017. № 82 (2), 44-49 с. <https://doi.org/10.32402/dovkil2017.02.044>
10. Qianwen Li, Tingyu Qian, Hui Wang, Longhao Bai, Environmental forcing and policy synergy: A multidimensional approach in the governance of air pollution and carbon emission. *Environmental Research*. 2024. Vol. 261, 119747. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119747>.
11. Боярин М.В., Нетробчук І.М., Савчук Л.А. Аналіз впливу автотранспорту на стан атмосфери міських ландшафтів (на прикладі м. Луцьк). *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2016. С. 54-58.
12. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Черкаській області у 2023 році. Управління екології та природних ресурсів ЧОДА. 2024. 227 с. URL: <https://ck-oda.gov.ua/ekologiya/>
13. Офіційний портал Черкаської міської ради, міського голови, виконавчого комітету. URL: <https://chmr.gov.ua/ua/>
14. Ящук Л.Б. Можливості розрахункових методів моніторингу при визначенні екологічної доцільності в організації міських транспортних потоків. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2022. Т. 27. № 1. С. 47-54. <https://doi.org/10.24025/2306-4412.1.2022.259092>
15. ДСТУ 4277:2004. Норми і методи вимірювань вмісту оксиду вуглецю та вуглеводнів у відпрацьованих газах автомобілів з двигунами, що працюють на бензині або газовому паливі. На заміну ГОСТ 17.2.2.03-87 ; чинний від 2004-07-01. Вид. офіц. Київ, 2024. – 12 с.
16. Методика розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, що містяться у викидах підприємств (ОНД-86)., *Госкомгідромет, 1987. 68 с.*
17. Транспортна екологія: навчальний посібник / О. І. Запорожець, С. В. Бойченко, О. Л. Матвєєва, С. Й. Шаманський, Т. І. Дмитруха, С. М. Маджд; за заг. редакцією С. В. Бойченка. К.: НАУ, 2017. 507 с.
18. Корольчук І.Є., Пидоченко О.П., Біліченко В.В. Вдосконалення маршрутної мережі пасажирських перевезень та аналіз її результатів. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту*: зб. матеріалів VIII Міжнар. наук.-практич. конф: ВНТУ, 19-21 жовт. 2015 р. Вінниця. С. 113-115.
19. Бойко В.В. Удосконалення логістичної системи управління муніципальним транспортом. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2020. Т 25. № 1. С. 19-26. <https://doi.org/10.24025/2306-4412.1.2020.193005>.

УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ

УДК 504.064.3:628.44(477.84)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.6-57.23>

ЕКОМАПА ЯК ІНСТРУМЕНТ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ РОЗДІЛЬНОГО ЗБОРУ ВІДХОДІВ У МІСТІ ТЕРНОПІЛЬ

Бондар О.Б.¹, Погорєлова О.М.¹, Кратко О.В.², Головатюк Л.М.²

¹Західноукраїнський національний університет
майд. Перемоги, 3, 46009, м. Тернопіль

²Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія імені Тараса Шевченка
пров. Лицейний, 1, 47003, м. Кременець
olexandr.bondar91@gmail.com, yaremakpog@gmail.com

У статті проаналізовано сучасний стан системи поводження з відходами у м. Тернопіль, що охоплює функціонування мережі з 59 пунктів збору вторинної сировини, небезпечних і великогабаритних відходів. На основі проведеного дослідження визначено ключові проблеми, серед яких перевантаження існуючих полігонів, недостатня кількість сортувальних станцій і відсутність сучасних підприємств із переробки відходів. Особливу увагу приділено інтерактивній платформі «Екомапа», яка дозволяє користувачам легко знайти понад 20 спеціалізованих контейнерів для небезпечних відходів та інші пункти збору, сприяючи підвищенню рівня екологічної свідомості.

Детально проаналізовано основні види відходів, що приймаються у місті, та їх подальшу переробку. Зокрема, щороку у Тернополі фіксується близько 30 стихійних сміттєзвалищ, які створюють значне навантаження на екосистему. Описано механізми утилізації таких матеріалів, як пластик, папір, скло, метал, небезпечні відходи (батареї, ртутні лампи), текстиль, органічні залишки та великогабаритні вироби. Оцінено ефективність нових технологій, включаючи експериментальні контейнери для компостування органіки, які дозволяють суттєво зменшити обсяги сміття, що вивозиться на полігони.

Особливий акцент зроблено на підвищенні екологічної культури серед населення через реалізацію освітніх і просвітницьких ініціатив. У статті запропоновано рекомендації щодо інтеграції міжнародного досвіду в систему управління відходами, вдосконалення інфраструктури збору сміття та адаптації нормативно-правової бази до потреб регіону.

Результати дослідження є вагомим підґрунтям для модернізації системи управління відходами у м. Тернопіль. Запропоновані заходи спрямовані на зменшення навантаження на перевантажені полігони, ефективне використання вторинних ресурсів і підтримку сталого розвитку міста. *Ключові слова:* поводження з відходами, роздільний збір, вторинна сировина, інтерактивна платформа «Екомапа», екологічна свідомість, сталий розвиток, сортувальні станції, переробка відходів, небезпечні відходи, сміттєзвалища, екологічна інфраструктура, компостування органіки, Тернопіль.

Ecomap as a tool for the development of the separate waste collection system in Ternopil. Bondar O., Pohorielova O., Kratko O., Holovatiuk L.

The article analyzes the current state of the waste management system in Ternopil, which includes the operation of a network of 59 collection points for recyclable materials, hazardous waste, and bulky waste. Based on the conducted research, key problems have been identified, including overloaded existing landfills, insufficient sorting stations, and a lack of modern waste processing facilities. Particular attention is given to the interactive platform “Ecomap,” which allows users to easily locate over 20 specialized containers for hazardous waste and other collection points, thereby promoting environmental awareness.

The main types of waste accepted in the city and their subsequent processing are thoroughly examined. In particular, approximately 30 illegal dumpsites are recorded annually in Ternopil, which impose significant pressure on the ecosystem. The mechanisms for recycling materials such as plastic, paper, glass, metal, hazardous waste (batteries, mercury lamps), textiles, organic waste, and bulky items are described. The efficiency of new technologies, including experimental containers for organic waste composting, is evaluated, demonstrating their potential to significantly reduce the amount of waste sent to landfills.

The article emphasizes the importance of raising environmental awareness among the population through educational and outreach initiatives. Recommendations are provided for integrating international experience into the waste management system, improving the waste collection infrastructure, and adapting the regulatory framework to regional needs.

The research results provide a substantial foundation for modernizing the waste management system in Ternopil. The proposed measures aim to reduce the burden on overloaded landfills, promote the efficient use of recyclable resources, and support the sustainable development of the city. *Key words:* waste management, separate collection, recyclable materials, interactive platform “Ecomap,” environmental awareness, sustainable development, sorting stations, waste recycling, hazardous waste, dumpsites, ecological infrastructure, organic waste composting, Ternopil.

Постановка проблеми. Незаконне утворення стихійних сміттєзвалищ є однією з найгостріших екологічних проблем як для міста Тернопіль, так і для всієї України [1-3, 6]. Відсутність ефективної системи збору та утилізації відходів сприяє появі нелегальних звалищ, які завдають серйозної шкоди довкіллю. Такі звалища негативно впливають на навколишнє середовище, завдаючи шкоди екосисте-

мам, стають джерелом токсичного запаху та знижують якість життя мешканців.

Неправильна утилізація відходів значно погіршує стан ґрунтів, водних ресурсів і повітря. Токсичні речовини, що утворюються на нелегальних звалищах, проникають у ґрунт і забруднюють підземні води. Крім того, спалювання сміття на таких об'єктах виділяє в атмосферу небезпечні речовини, які негативно впливають на здоров'я населення та якість повітря [4, 7, 8].

Ще однією важливою проблемою є втрата цінних вторинних ресурсів. Через відсутність системи роздільного збору значна частина матеріалів, таких як пластик, скло, метал і папір, не підлягає повторному використанню. Це не лише збільшує навантаження на полігони, а й позбавляє економіку важливих ресурсів, які могли б використовуватися для створення нових товарів.

Актуальність дослідження. Ефективне управління та переробка відходів є одним із найважливіших напрямків для досягнення сталого розвитку м. Тернопіль. Розвиток сучасної системи поводження з відходами дозволить значно знизити екологічне навантаження, покращити умови життя мешканців і підвищити інвестиційну привабливість міста [5, 9, 10]. Для цього потрібна розробка багаторівневої стратегії, яка передбачатиме створення нової інфраструктури для сортування й переробки сміття, впровадження просвітницьких програм для населення, модернізацію законодавства та підтримку інновацій у сфері утилізації.

Нині питання поводження з відходами є особливо актуальним через стрімке зростання обсягів побутового, промислового та сільськогосподарського сміття. У м. Тернопіль проблема загострюється через перевантаженість полігонів, відсутність достатньої кількості пунктів сортування і недосконалу систему збору відходів [13, 14]. Це вимагає невідкладних заходів із залучення громади, підвищення її екологічної свідомості та реалізації практичних рішень.

Для ефективного вирішення цієї проблеми необхідно забезпечити встановлення пунктів прийому вторинної сировини, запровадити роздільний збір сміття на рівні домогосподарств та організувати масштабні інформаційні кампанії. Особливу увагу слід приділити розвитку екологічної освіти серед молоді, яка є рушійною силою майбутніх змін.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Збільшення обсягів відходів стало одним із найсерйозніших викликів для м. Тернопіль. Активна урбанізація та зростання чисельності населення спричиняють суттєве збільшення кількості сміття, що ускладнює його належну утилізацію. Відсутність ефективної системи сортування та переробки відходів призводить до перевантаження існуючих полігонів, більшість з яких вже не відповідає сучасним екологічним стандартам. Це створює загрозу еколо-

гічної кризи, яка може мати негативний вплив як на стан навколишнього середовища, так і на здоров'я мешканців міста.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання управління відходами та їх переробки в Україні широко висвітлюється у науковій літературі [3, 5-7, 11-15]. У цих роботах використовуються різні підходи, зокрема аналіз стану існуючих полігонів, дослідження морфологічного складу твердих побутових відходів і оцінка дієвості систем збору та переробки. Значна увага приділяється впровадженню новітніх технологій, таких як інтерактивні сервіси (зокрема, «Зробимо Україну чистою. Разом!») [2], які покращують доступність інформації для громадян щодо місць збору вторинної сировини та небезпечних відходів. У наукових публікаціях розглядається вплив відходів на стан довкілля та аналізується ефективність запровадження систем роздільного збору на місцевому рівні. Окремий акцент робиться на необхідності розвитку інфраструктури, зокрема сортувальних станцій та підприємств із переробки, що дозволяє мінімізувати екологічні ризики та підвищити рівень повторного використання ресурсів.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття, охоплює ключові аспекти управління відходами в м. Тернопіль. Основними питаннями є відсутність комплексного підходу до збору, переробки та утилізації відходів, недостатня кількість сучасних сміттєпереробних заводів і слабка інтеграція сортування сміття в життя мешканців.

Новизна. Проаналізовано інтерактивну екомапа міста Тернополя яка розроблена в межах програми Green Innovation Challenge [10] де позначено місця прийому та переробки відходів. Із зростанням відходів зросли і пункти прийому їх 59 шт. Сюди відносять: вторинна сировина (4 шт.), Картон-пласт (4 шт.), Тара-Захід (3 шт.), Град Світлий, пункт прийому вторсировини (4 шт.), ТОВ «Екологічна компанія «Данко», пункт прийому склотари і макулатури, Сільпо (6 шт.), прийом склотари, Новус, прийом склотари та макулатури, Тернопільський кооперативний фаховий коледж та інші.

Методологічне та наукове значення цієї роботи полягає в проведенні комплексного аналізу пунктів збору вторинної сировини в місті Тернопіль. У дослідженні використовуються відкриті джерела даних та інтерактивна екологічна мапа, що дає змогу точно оцінити стан інфраструктури, призначеної для збору та переробки відходів. Наукова цінність дослідження проявляється у виявленні актуальних проблем, пов'язаних із функціонуванням системи збору вторинної сировини. Результати проведеного аналізу підкреслюють важливість розвитку культури сортування відходів серед жителів міста. Отримані дані можуть бути використані для створення ефективних програм екологічної просвіти, вдосконалення місцевої інфраструктури для переробки вторинної сиро-

вини та впровадження інноваційних технологій у цій сфері.

Викладення основного матеріалу. У місті Тернополі функціонує розгалужена мережа пунктів прийому відходів, яка відіграє важливу роль у формуванні екологічної свідомості мешканців та сприяє зниженню негативного впливу на довкілля. Завдяки цій мережі жителі міста мають можливість здавати різні типи відходів до спеціально облаштованих місць, що значно полегшує їх подальшу утилізацію або переробку (табл. 1).

У Тернополі презентували проєкт «Екомапа Тернополя» – інноваційне рішення для розвитку сталої громади, який реалізували у межах ініціативи Green Innovation Challenge за фінансової підтримки Європейського Союзу та у співпраці з Програмою розвитку ООН [10]. Метою проєкту є сприяння розвитку «зеленої» економіки та підвищення рівня екологічної обізнаності серед громади (рис. 1).

Інтерактивна платформа «Екомапа» надає зручну можливість знаходити найближчі пункти прийому відходів у межах міста. Вона містить детальну інформацію про типи відходів, які можна здати в конкретних локаціях. На мапі відображаються місця збору для різних категорій, таких як папір, пластик, батарейки, одяг, а також пункти, де приймають речі для допомоги тваринам.

У місті Тернопіль функціонує розгалужена система збору відходів, яка включає спеціалізовані контейнери для різних видів вторинної сировини.

Для збору пластику, паперу, скла та металу передбачені контейнери, розташовані на прибудинкових територіях, у супермаркетах та громадських місцях. До цих контейнерів жителі міста можуть здавати пластикові пляшки, упаковки, промиті контейнери, папір (газети, журнали, картон, макулатуру без слідів забруднень), скляні пляшки й банки, а також металеві вироби (алюмінієві банки та дрібні металеві предмети). Крім того, діють приватні пункти збору вторинної сировини, які приймають зазначені матеріали для подальшої переробки (рис. 2).

Небезпечні відходи, такі як батарейки, ртутні лампи та акумулятори, приймаються у спеціально обладнаних контейнерах, розташованих у супермаркетах («Сільпо», «АТБ», «Епіцентр»), навчальних закладах, офісах та інших громадських установах. Для забезпечення належної утилізації міська рада організовує періодичні акції зі збору таких відходів.

Для збору вживаного одягу та взуття в місті встановлено благодійні контейнери, розташовані поблизу церков, зупинок транспорту та в інших громадських місцях. Зібрані речі передаються до благодійних організацій, зокрема «Карітас», або використовуються повторно, що сприяє зменшенню текстильних відходів.

Стару техніку, електроніку, меблі та великогабаритні відходи можна здати у визначених пунктах, що працюють під керівництвом комунальних служб. Також періодично організовуються дні для централізованого вивезення таких відходів.

Таблиця 1

Категорії відходів, особливості прийому та переробки в м. Тернопіль

Категорія відходів	Деталі прийому	Особливості переробки
Пластик	Приймаються пляшки, упаковки, контейнери (потрібно промити)	Використовуються для виготовлення нових пляшок, упаковок, інших пластикових виробів
Папір	Газети, журнали, картон, макулатура (без забруднень)	Переробляється у новий папір, картон, пакувальні матеріали
Скло	Чисті скляні пляшки та банки	Скло перетоплюється для створення нових пляшок і банок
Метал	Алюмінієві банки та дрібні металеві предмети	Метал переплавляється для створення нових виробів, таких як банки або конструкції
Небезпечні відходи	Батарейки, ртутні лампи, акумулятори (спеціальні контейнери у супермаркетах, школах, університетах, офісах)	Батарейки утилізуються екологічно безпечно, ртутні лампи розбираються для виділення ртуті
Старий одяг та взуття	Благодійні контейнери біля церков, зупинок транспорту (передаються до благодійних організацій)	Речі віддаються на благодійність або використовуються повторно
Техніка та великогабаритні відходи	Комунальні пункти збору, спеціальні дні для вивезення	Матеріали розбираються та частково використовуються у виробництві або для вторинної сировини
Допомога тваринам	Зооохоронні організації приймають старі ковдри, подушки, миски, корм, ліки тощо	Матеріали для догляду за тваринами повторно використовуються у притулках
Органічні відходи	Експериментальні контейнери для компостування	Органіка компостується для створення добрив

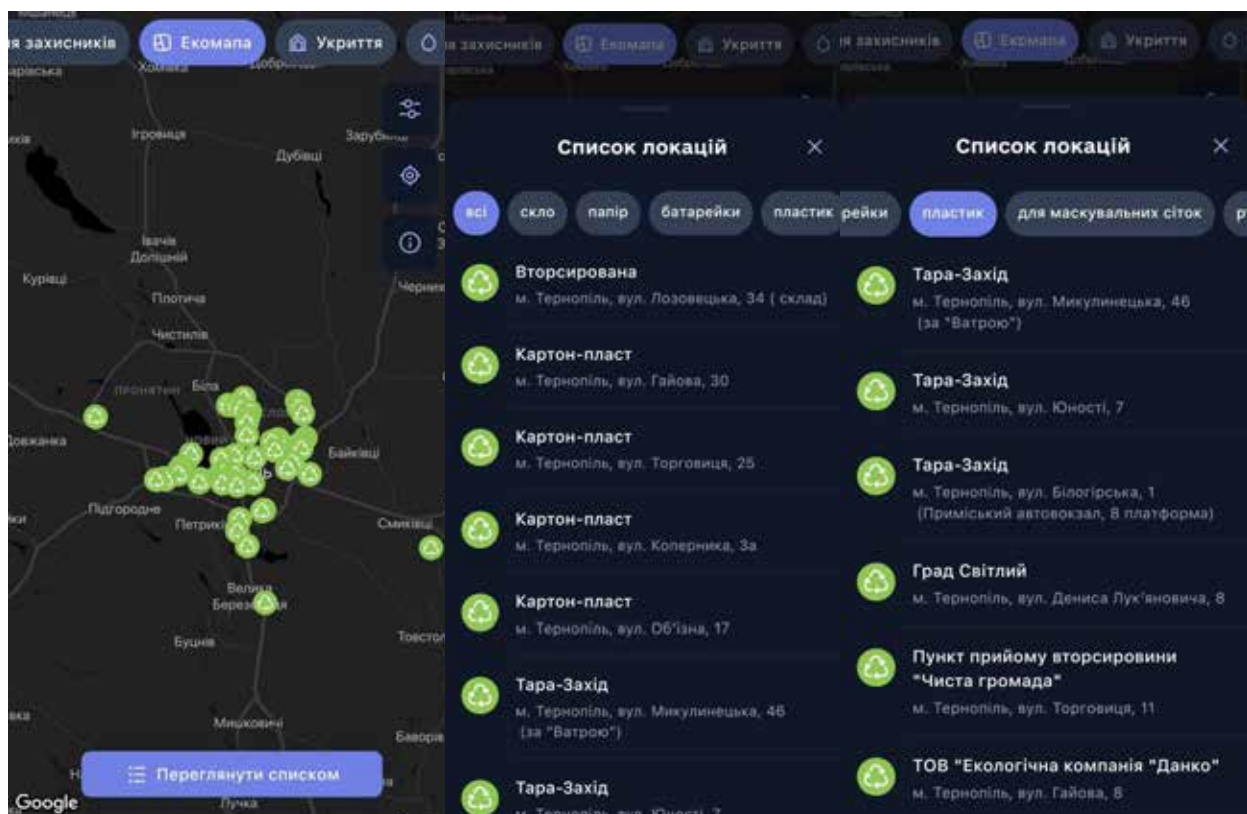


Рис. 1. Інтерактивна карта збору вторинної сировини в м. Тернопіль (скріншоти з мобільного додатку e-Тернопіль)

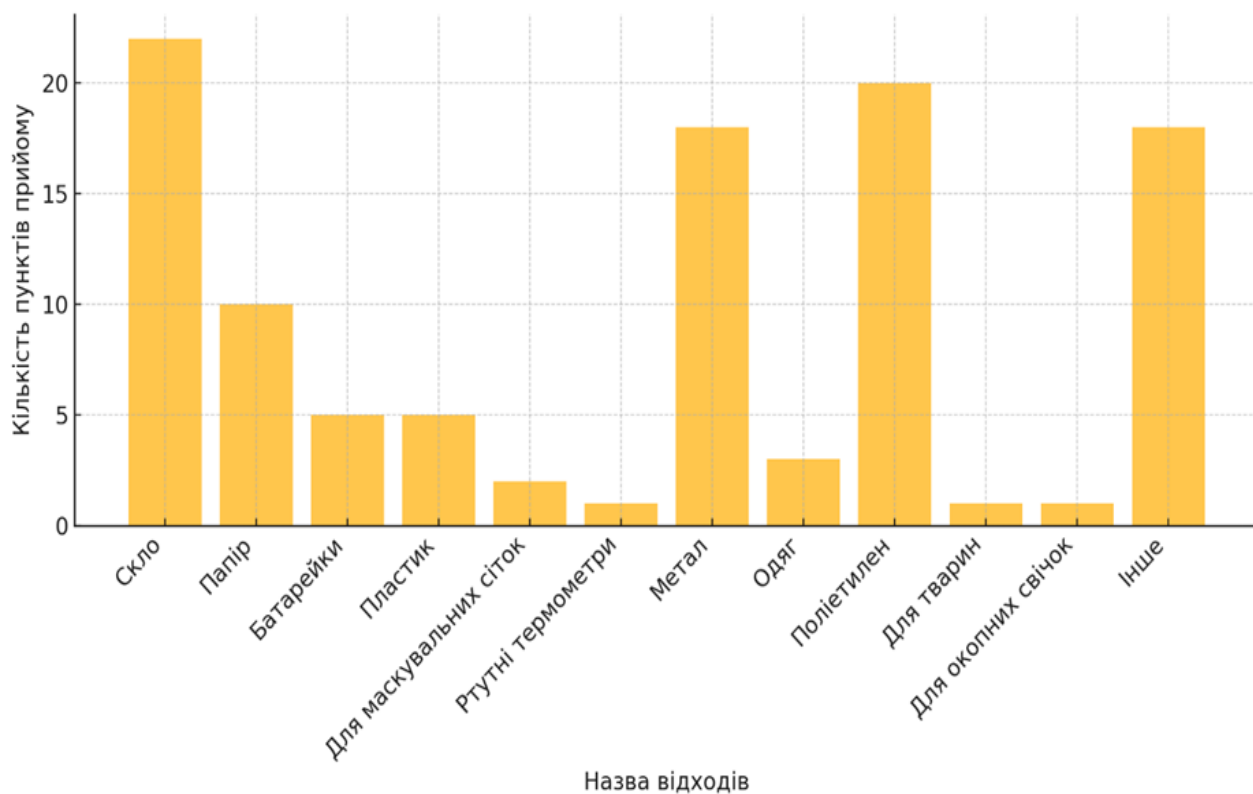


Рис. 2. Кількість пунктів прийому відходів за категоріями відходів у місті Тернопіль

Окрему увагу приділено допомозі безпритульним тваринам. Зооохисні організації приймають старі ковдри, подушки, миски, корм та ліки, необхідні для догляду за тваринами. Інформація про ці пункти доступна на сторінках благодійних фондів у соціальних мережах.

У деяких частинах міста впроваджено експериментальні контейнери для збору органічних відходів, які використовуються для виробництва компосту. Це ініціатива спрямована на перетворення органічних залишків на добрива, що сприяє зменшенню обсягів сміття на полігонах.

Попри наявність цих заходів, система поводження з відходами у місті стикається з низкою викликів. Зокрема, бракує сучасних полігонів для захоронення твердих побутових відходів, сортувальних станцій і переробних підприємств. Існуючі полігони часто перевантажені й не відповідають екологічним стандартам, що обмежує їхню ефективність. Недостатньо розвинена система роздільного збору відходів сприяє нераціональному використанню ресурсів та збільшенню кількості відходів, які потрапляють на полігони. Ці проблеми поглиблюються зростанням кількості стихійних сміттєзвалищ, які завдають шкоди довкіллю, погіршують якість ґрунтів, води та повітря, а також призводять до втрати вторинних ресурсів, придатних для повторного використання. Вирішення цих питань потребує комплексного підходу, що включає розвиток інфраструктури для збору та переробки відходів, запровадження інноваційних технологій і підвищення екологічної свідомості населення.

Головні висновки. Інтеграція України до європейського правового простору вимагає запровадження сучасних стандартів поводження з відходами, зокрема системи роздільного збору, переробки та утилізації відповідно до принципів сталого розвитку. У м. Тернопіль функціонує 59 пунктів прийому вторинної сировини, включаючи контейнери для пластику, паперу, скла та металу. Впровадження інтерактивної платформи «Екомапа» забезпечує

доступність інформації про ці пункти та їхні функції. Проєкт реалізовано в межах міжнародної ініціативи Green Innovation Challenge за фінансової підтримки ЄС та Програми розвитку ООН.

Система збору небезпечних відходів у місті включає спеціальні контейнери, розташовані у супермаркетах (понад 20 точок, зокрема «Сільпо», «АТБ», «Епіцентр»), навчальних закладах та офісах. Благодійні контейнери для одягу, взуття та речей для тварин встановлені у понад 10 громадських місцях. У 2024 році через платформу було зареєстровано 30 звернень щодо несанкціонованих сміттєзвалищ, що у два рази менше порівняно з попереднім роком. Експериментальні контейнери для органіки забезпечують виробництво компосту, знижуючи обсяг сміття на перевантажених полігонах.

Попри функціонування системи збору, м. Тернопіль стикається з браком сучасних полігонів для захоронення твердих побутових відходів, сортувальних станцій і підприємств із переробки. У місті зареєстровано понад 30 стихійних сміттєзвалищ, які погіршують екологічний стан і створюють ризики для довкілля. Перевантаження полігонів призводить до нераціонального використання ресурсів, у тому числі втрати таких цінних матеріалів, як пластик, скло, метал і папір. Для вирішення цих проблем необхідно збільшити кількість сортувальних станцій, розвинути інфраструктуру та проводити освітні кампанії серед населення.

Перспективи використання результатів дослідження полягають у покращенні системи роздільного збору відходів у місті Тернопіль через розширення мережі пунктів прийому та впровадження новітніх технологій переробки. Зібрані дані можуть бути застосовані для створення навчальних програм, спрямованих на формування екологічної культури мешканців та їх активну участь у заходах із захисту довкілля. Крім цього, результати дослідження можуть слугувати основою для розробки інноваційних рішень у сфері управління відходами, що сприятимуть екологічному та сталому розвитку міста.

Література

1. Закон України «Про управління відходами» від 20.06.2022 № 2320-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text> (дата звернення: 26.11.2024).
2. Зробимо Україну чистою разом! Let's do it Ukraine. URL: <https://recyclingpoints.org> (дата звернення: 26.11.2024).
3. Михайлова Є.О., Панчева Г.М., Резніченко Г.М. Ефективні механізми поводження з твердими побутовими відходами в Україні. *Комунальне господарство міст*. 2019. Том 5. Випуск 151. С. 37-44. DOI: 10.33042/2522-1809-2019-5-151-37-44.
4. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року, схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 08.11.2017 р. № 820-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#Text> (дата звернення: 26.11.2024).
5. Пацева І.Г., Герасимчук О.Л., Кагукіна А.М. Системний підхід управління відходами об'єднаних територіальних громад. *Екологічні науки*. 2022. № 4(43). С. 181-184.
6. Погребенник В.Д., Коваль І.І., Джумеля Е.А. Тенденції розвитку методів і систем управління відходами. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. Том 29. № 1. С. 78-82. DOI: 10.15421/40290117.
7. Практичні аспекти управління відходами в Україні. Посібник / Барінов М.О., Олексієв І.Л., Родная Д.В., Журавель Т.В., Коломієць С.В., Козлова І.А., Пархоменко Г.П. К.: Поліграф плюс, 2021. 118 с.
8. Про затвердження Методичних рекомендацій з визначення морфологічного складу твердих побутових відходів: Наказ Міністерства з питань житлово-комунального господарства від 16 лют. 2010 р. № 39. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0039662-10#Text> (дата звернення: 26.11.2024).

9. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Тернопільській області у 2023 році. URL: <https://ecology.te.gov.ua/stan-dovkillya/regionalna-dopovid-pro-stan-onps-vternopilskij-ob/> (дата звернення: 26.11.2024).
10. У Тернополі презентували проєкт «Екомапа Тернополя» – інноваційне рішення для розвитку сталої громади. Тернопільська міська рада. URL: <https://ternopilcity.gov.ua/news/84730.html> (дата звернення: 21.12.2024).
11. Янковська Л., Новіцька С., Цідило А. Особливості поводження з твердими побутовими відходами в сільській місцевості (на матеріалах Байковецької ОТГ Тернопільської області). *Наукові записки*. 2021. No 1. С. 155-162.
12. Ярема О.М., Федонюк Л.Я., Бицюра Л.О., Бондар О.Б. Антропогенні зміни навколишнього середовища під впливом накопичення твердих побутових відходів. *Регіональні аспекти розвитку продуктивних сил України*. 2023., Випуск 28. С. 49-58.
13. Illiash O., Holik Yu., Allesch As., Chepurko Iu., Serha T. Analysis of studies on the morphological composition of domestic waste in Ukraine. *Environmental Problems*. 2023. Vol. 8., No 4, P. 241-246.
14. Kharat M., Parhi Sh., Kapoor S., Kharat M., Pandey Sh. Striving for Sustainability in Healthcare Management: Waste Handling and Disposal Network Optimization. *Circular Economy and Sustainability*. 2024. P. 1-27. DOI: 10.1007/s43615-024-00435-w.
15. Struchok V. Waste management problems in the Ternopil region. *Environmental Problems*. 2020. Vol. 5, No 3. P. 143-148. DOI: 10.23939/ep2020.03.143.

УДК 504.062

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.6-57.24>

РЕСУРСНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Голік Ю.С., Серга Т.М.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Першотравневий проспект, 24, 36011, м. Полтава
golik38@i.ua, tetjanaserga@gmail.com

З метою визначення та оцінювання ресурсного потенціалу побутових відходів, характерного для населених пунктів селищно-сільського типу Полтавської області, були проведені власні натурні (сортувальні) дослідження морфологічного (компонентного) складу побутових відходів (далі – ПВ) на території Котелевської селищної громади Полтавської області з виявленням переважаючих видів потенційної вторинної сировини. Побутові відходи – складна механічна суміш різноманітних матеріалів і органічних продуктів, які різняться за розміром, хімічними та фізичними властивостями. Такі фактори, як рівень соціально-економічного розвитку країни, урбанізація, рівень технологічного розвитку та запровадження поводження з побутовими відходами, клімат та інші характеристики місцевості, пори року тощо. У зв'язку з цим, склад ПВ з часом змінюється навіть в межах одного регіону. На основі зібраних даних проведено оцінювання загального ресурсного потенціалу побутових відходів та прогнозованих об'ємів утворення окремих ресурсоцінних компонентів: біовідходів, паперу та картону, пластику, скла, металів, деревини й текстилю. Дослідження складу побутових відходів проводились в ході виконання науково-дослідної роботи (далі – НДР) з тематики «Дослідження складу твердих побутових відходів та їх ресурсного потенціалу» в рамках спільного українсько-австрійського науково-дослідного проекту. На основі визначених даних морфологічного (компонентного) складу побутових відходів, що утворюються на території селища Котельва Полтавської області, було проведено оцінювання теплотворної здатності ПВ. Результати оцінювання свідчать про наявність достатнього ресурсного потенціалу побутових відходів й відповідно доцільність організації системи роздільного збирання побутових відходів, зокрема на території селища Котельва Полтавської області, для подальшого вибору раціональних управлінських та техніко-економічних рішень з використанням побутових відходів як матеріального та/або енергетичного ресурсу. *Ключові слова:* ресурсний потенціал, побутові відходи, морфологічний склад, вторинна сировина, теплотворна здатність.

Resource potential of household waste in Poltava region. Holik Yu., Serha T.

In order to determine and assess the resource potential of household waste typical for settlements of the Poltava Oblast, we conducted our own field (sorting) studies of the morphological (component) composition of household waste (hereinafter – HW) on the territory of the Kotelevka settlement community of the Poltava Oblast to identify the predominant types of potential secondary raw materials. Household waste is a complex mechanical mixture of various materials and organic products that vary in size, chemical and physical properties. Factors such as the level of socio-economic development of the country, urbanization, the level of technological development and implementation of household waste management, climate and other characteristics of the area, seasons, etc. In this regard, the composition of HW varies over time, even within the same region. Based on the collected data, we assessed the overall resource potential of household waste and the projected volumes of generation of certain resource-rich components: biowaste, paper and cardboard, plastic, glass, metals, wood, and textiles. The study of household waste composition was conducted in the course of the research work on the topic “Study of solid household waste composition and its resource potential” as part of a joint Ukrainian-Austrian research project. Based on the determined data on the morphological (component) composition of municipal waste generated in the territory of Kotelva village, Poltava region, the calorific value of MSW was assessed. The assessment results indicate the availability of sufficient resource potential of household waste and, accordingly, the feasibility of organizing a separate household waste collection system, in particular in the territory of Kotelva village, Poltava region, for further selection of rational management and technical and economic solutions using household waste as a material and/or energy resource. *Key words:* resource potential, household waste, morphological composition, secondary raw materials, calorific value.

Постановка проблеми. На сьогодні обсяги побутових відходів, які зростають, є однією із важливих елементів прогресуючого антропогенного навантаження, що створює екологічну небезпеку для регіонів України, здоров'я населення та негативно впливає на стан навколишнього природного середовища. З іншої сторони побутові відходи є значимим ресурсом для отримання вторинної сировини, яка підлягає поверненню в господарський обіг. Відповідно, побутові відходи розглядаються як джерело цінних компонентів (біовідходів, металів, скла, пластику тощо), а також є потенційним джерелом отримання енергії [1].

Актуальність дослідження. Створення та впровадження ефективної системи управління побуто-

вими відходами є важливим завданням забезпечення екологічної безпеки та сталого розвитку регіонів країни. Згідно концепції циркулярної економіки, практично всі компоненти побутових відходів мають ресурсну цінність й відповідно можуть повторно використовуватися у виробництві нової продукції, замінювати інші види матеріальних ресурсів, що дозволить знижувати обсяги видалення відходів на полігони й звалища, а значить мінімізувати негативний вплив на довкілля та раціонально використовувати природні ресурси [1].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження авторів роботи стали частиною нау-

кової складової, що покладена в основу сумісного виконання науково-дослідної роботи з тематики «Дослідження складу твердих побутових відходів та їх ресурсного потенціалу» в рамках співробітництва між University of Natural Resources and Life Sciences (Vienna, Австрія) та Національним університетом «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» (Полтава, Україна).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В рамках даної роботи був проведений огляд опублікованих досліджень, спрямованих на визначення морфологічного складу побутових відходів, особливу увагу з яких було приділено дослідженням, виконаним для населених пунктів Полтавської області [2, 3, 4, 5, 6].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Оцінювання ресурсного потенціалу побутових відходів виконано на завершальному етапі сортувальних аналізів побутових відходів, що проводились на території Котелевської громади Полтавської області протягом 2023–2024 років. Сортувальні аналізи здійснювалися із урахуванням методичних рекомендацій України [7, 8] та окремих положень європейських методологій «Leitfaden für die Durchführung von Restmüll-Sortieranalysen» і SWA-Tool [9, 10], що дало змогу визначити частку ресурсоцінних компонентів, характерну для кожного сезону року проведених досліджень, й на основі отриманих даних оцінити теплотворну здатність кожного компоненту побутових відходів та їх загальний очікуваний тепловий потенціал.

Новизна даної роботи полягає у:

- систематизації результатів досліджень складу побутових відходів, які здійснювалися на основі українського та європейського методологічних підходів [11];

- оцінюванні ресурсного потенціалу побутових відходів, що утворюються в населеному пункті селищного типу (на прикладі селища Котельва Полтавської області) та їх теплотворної здатності.

Методологічне або загальнонаукове значення.

В ході виконання даної роботи використовувалися методи порівняльного аналізу зібраних даних та метод систематизації, узагальнення й експертного оцінювання отриманих аналітичних результатів.

Виклад основного матеріалу. Морфологічний (компонентний) склад побутових відходів визначає кількість окремих компонентів у складі ПВ, що у подальшому дозволяє здійснювати планування системи поводження з побутовими відходами в рамках окремих населених пунктах й громад, вибір найбільш оптимальних організаційно-технічних рішень та здійснювати довгострокове прогнозування обсягів утворення потенційної вторинної сировини, що є у складі ПВ.

У рамках даної роботи була виконана систематизація результатів натурних досліджень морфологічного складу побутових відходів, проведених

напротязі 4-х сезонів року на території селища Котельва Котелевської громади Полтавського району Полтавської області, у який безпосередньо приймали участь автори даної роботи [11] (табл. 1).

Узагальнені результати проведених досліджень морфологічного складу ПВ на території селища Котельва Полтавської області на основі європейського підходу та з урахуванням окремих положень австрійської методології [9, 10] представлені в таблиці 2.

Отримані результати досліджень морфологічного складу побутових відходів на території селища Котельва Полтавської області дали можливість визначити вміст (частку) ресурсоцінних компонентів (табл. 3) за кожний сезон року та загальний ресурсний потенціал ПВ.

На основі даних таблиці 3 було здійснено оцінювання ресурсного потенціалу побутових відходів, виходячи із досліджуваних об'ємів утворення ресурсоцінних компонентів: паперу і картону, скла, пластику, металів, деревини та текстилю, які є потенційним вторинним ресурсом, а також біовідходів. Результати оцінювання показали, що:

- загальна частка побутових відходів, які є ресурсоцінними й придатні для подальшого відновлення, складає 51,83–84,73%, що осереднено становить 71% від загального обсягу ПВ;

- частка побутових відходів, які на сьогодні мають товарну цінність як вторинна сировина (папір і картон, скло, пластик, метали) складають від 16,0% до 28,4% від загального обсягу утворених побутових відходів;

- частка біовідходів складає від 28,83 до 62,2%.

Для запобігання зниженню якості ресурсоцінних компонентів побутових відходів важливим при організації системи збирання ПВ є відділення органічних фракцій із загальної маси відходів шляхом організації роздільного збору за місцем їх утворення для подальшої передачі на підприємство з перероблення органічної сировини.

Головний принцип управління побутовими відходами в країнах ЄС полягає в забезпеченні їх комплексного перероблення, що включає стадії: роздільного збору за місцем їх утворення, сортування, механіко-біологічного оброблення (МБО), виробництва альтернативного палива RDF або SRF з фракцій ПВ, що залишилися.

Така комплексна переробка побутових відходів можлива на заводах МБО, на яких відбувається вилучення та/або відновлення калорійних (паливних) фракцій ПВ для виробництва RDF/SRF, а також металів та інших ресурсоцінних компонентів, які направляються далі на продаж, а залишки відходів обробляють біологічними методами перед розміщенням їх на полігонах.

Директивою 2008/98/ЄС «Про відходи» [12] та «Національною стратегією управління відходами в Україні до 2030 року» [13] побутові відходи визна-

Таблиця 1

Узагальнені результати чотирьох етапів дослідження морфологічного (компонентного) складу побутових відходів за українськими методичними рекомендаціями [7, 8]

Назва компоненту проби	1 етап – осінній сезон ¹	2 етап – зимовий сезон ¹	3 етап – весняний сезон ²	4 етап – літній сезон ²	Загальний діапазон
Біовідходи (харчові відходи, овочі, фрукти, відходи садівництва, відходи від зелених насаджень тощо)	34,53	50,406	28,83	62,2	28,83÷62,2
Папір і картон	4,94	3,3	5,46	5,5	3,3÷5,5
Пластик (пластмаси та інші полімери)	12,14	9,9	11,04	5,49	5,49÷12,14
Скло	7,93	3,7	2,13	4,61	2,13÷7,93
Метали (чорні та кольорові)	3,4	1,63	3,82	0,43	0,43÷3,82
Текстиль	3,97	10,6	0,63	6,5	0,63÷10,6
Деревина	0,16	0,02	0	0	0,02÷0,16
Небезпечні відходи (тара від розчинників, фарб, ртутні лампи, прострочені ліки, отрута, хімікати, гербіциди та пестициди, засоби гігієни, памперси тощо)	3,22 ³	0,727	9,13	6,81	0,727÷9,39
Комбінована упаковка (упаковка, яка може містити в собі різні поєднання, наприклад картон та метали)	0,82 ³	0	0,67	1,49	0,67÷1,49
Відходи електричного та електронного обладнання (телефони, комп'ютери, телевізори, холодильники, праски, радіопристрої тощо)	0	0	0	0,11	0,11
Відходи батарей та акумуляторів (пальчикові, автомобільні тощо)	0,01 ⁴	0	0	0	0,01
Великогабаритні побутові відходи (меблі, матраци тощо)	0	0	0	0	0
Ремонтні побутові відходи (цегла, штукатурка, шпалери тощо)	0	0	13,55	0	13,55
Кістки, шкіра, гума	0,73	4,72	0	0	0,73÷4,72
Залишок побутових відходів (кістки, шкіра, гума (шни, гумові рукавички тощо), каміння, вуличний змет тощо)	28,15	15	24,73	6,89	6,89÷28,15

Примітка:

1 – дослідження проводилися з урахуванням положень [7];

2 – дослідження проводилися за новими Методичними рекомендаціями [8];

3 – у ході дослідження виявлені компоненти відходів, що не відповідали класифікаційним категоріям морфологічного складу твердих побутових відходів, визначеним [7]: медичні відходи, памперси, фільтр автомобільний, які при аналізі віднесені до компоненту проби «небезпечні відходи», а фольга віднесена до «комбінована упаковка (упаковка, яка може містити в собі різні поєднання, наприклад картон та метали)»;

4 – при дослідженні в осінній період року зафіксовано пальчикову батарейку, яка при аналізі віднесена до проби «відходи батарей та акумуляторів (пальчикові, автомобільні тощо)».

чені як цінний вторинний матеріальний та енергетичний ресурс.

Теплотворна здатність побутових відходів значним чином визначає їх спроможність щодо використання в якості палива для отримання теплової енергії. Суттєвою перевагою використання ПВ в якості джерела енергії є постійне зростання його кількості та зручне розташування – в населених пунктах, поруч зі споживачами енергії. Провідні країни світу вже багато років розглядають ПВ як постійно

зростаюче альтернативне джерело енергії, здатне в великих містах замінити природний газ при виробництві теплової і електричної енергії шляхом часткового переведення ТЕЦ або котельні на паливо з побутових відходів.

У таблиці 4 наведені результати оцінювання теплотворної здатності компонентів ПВ за оцінками відомих світових організацій: Департаменту навколишнього середовища, продовольства і сільського господарства Великобританії, Світового

Таблиця 2

Дослідження морфологічного складу побутових відходів згідно європейського підходу [9, 10]

Назва компоненту проби	2 етап – зимовий сезон	3 етап – весняний сезон	4 етап – літній сезон	Загальний діапазон
Органіка (крім харчових відходів)	0	0	18,1	18,1
Харчові відходи (кухонні відходи)	45,09	23,1	44,1	23,1÷45,09
Харчові відходи, яких можна уникнути	5,32	5,82	1,07	1,07÷5,82
Папір і картон пакувальні та гофрокартон	2,98	2,19	2,47	2,19÷2,98
Папір і картон (друкована продукція, інші паперові матеріали)	0,32	3,27	3,03	0,32÷3,27
Легка пластикова тара ПЕТ (від напоїв)	1,35	3,79	2,88	1,35÷3,79
Легка полімерна упаковка	4,99	4,35	1,97	1,97÷4,99
Інший пластик	1,474	2,13	0,34	0,34÷2,13
Інша упаковка	0,737	1,42	0,72	0,72÷1,42
Скляна тара	3,45	2,13	4,61	2,13÷4,61
Скло інше	0,244	–	–	0,244
Металева тара	1,275	3,82	0,43	0,43÷3,82
Метали непакувальні	0,35	–	–	0,35
Пластмаси інші	1,35	0,02	–	0,02÷1,35
Деревина	0,02	–	–	0,02
Засоби гігієни	8,66	8,88	4,15	4,15÷8,88
Текстиль	10,6	0,63	6,51	0,63÷10,6
Взуття	1,89	17,41	–	1,89÷17,41
Відходи електричного та електронного обладнання	0,217	–	0,11	0,11÷0,217
Акумулятори, в т.ч. батареї	0,023	–	–	0,023
Проблемні речовини (лікарські засоби, фарби, лаки, масляні фільтри, миючі засоби тощо)	0,49	0,26	2,66	0,26÷2,66
Інертні речовини (будівельне сміття)	2,44	13,55	6,65	2,44÷13,55
Інші відходи (шкіра, гума, іграшки та інструменти з різних матеріалів, м'які іграшки, залишки сигарет тощо)	2,83	6,34	0,07	0,07÷6,34
Сортувальний залишок (неможливо ідентифікувати)	3,9	0,97	0,17	0,17÷3,9

Примітка: 1 – дослідження на 1-ому етапі (осінній період року) не проводилися.

Банку та Міжнародної асоціації з твердих відходів [11].

Авторами в рамках виконання науково-дослідної роботи [11] попередньо вивчалася питання щодо оцінювання теплотворної здатності окремих компонентів ПВ з урахуванням їх вологості на прикладі морфологічного складу ПВ для населених пунктів Полтавської області різних типів. Враховуючи дані напрацювання, було виконано оцінювання теплового потенціалу побутових відходів, що досліджувалися в умовах селища Котельва Полтавської області. Результати даного оцінювання наведено в таблиці 5.

Головні висновки. Підсумовуючи результати дослідження ресурсного потенціалу побутових відходів, необхідно виділити наступні висновки:

– дослідження на прикладі селища Котельва Полтавської області довели перспективність створення системи роздільного збирання побутових

відходів на територіях населених пунктів селищно-сільського типу з метою вилучення ресурсоцінних фракцій із загальної маси побутових відходів, а саме: біовідходів, пластику, папіру і картону, скла тощо;

– доцільність організації роздільного збирання біовідходів в населених пунктах селищного типу з метою їх подальшого перероблення;

– значний вміст компонентів ПВ природного походження (папір і картон, текстиль, деревина) до 16% дає можливість розвитку технології виготовлення брикетів RDF/SRF як палива для твердопаливних котлів малої теплоенергетики, що, по-перше, суттєво вплине на зниження обсягів ПВ, які будуть направлятися на видалення (а це є одним із пріоритетів Закону України «Про управління відходами»), а, по-друге, сприятиме розвитку автономних енергетичних систем малої потужності.

Таблиця 3

Вміст ресурсоцінних компонентів у складі побутових відходів за результатами досліджень, проведених у селищі Котельва Полтавської області, %

Біовідходи	Папір і картон	Скло	Пластик	Метали	Деревина	Текстиль	Загальна частка ресурсоцінних ПВ	Загальна частка втор-сировини*
<i>Осінній сезон</i>								
34,53	4,94	7,93	12,14	3,4	0,16	3,97	67,07	28,41
<i>Зимовий сезон</i>								
50,406	3,3	3,7	9,9	1,63	0,018	10,6	79,554	18,53
<i>Весняний сезон</i>								
28,83	5,46	2,13	10,96	3,82	-	0,63	51,83	22,37
<i>Літній сезон</i>								
62,2	5,5	4,61	5,49	0,43	-	6,5	84,73	16,03

Примітка: * – до вторинної сировини віднесено: папір і картон; скло; пластик; метали.

Таблиця 4

Результати оцінювання нижчої теплотворної здатності компонентів ПВ за оцінками світових організацій

Тип компоненту ПВ	Нижча теплотворна здатність ПВ, МДж/кг		
	Defra ¹	WB ²	ISWA ³
Харчові відходи	3,4	1,9	4,0
Папір та картон	10,8	6,4	16,0
Пластик:		20,1	35,0
- щільний пластик	26,7	н/д ⁴	н/д
- полімерна плівка	21,2	н/д	н/д
Текстиль та взуття	14,3	11,8	19,0
Несортований залишок горючий	13,9	н/д	н/д
Шкіра та гума	н/д	14,3	н/д
Деревина	н/д	9,3	н/д
Садово-паркове сміття	4,6	н/д	н/д
Підгузки та засоби санітарної гігієни	5,4	н/д	н/д
Дрібний змет	2,5	2,6	н/д
Інше	н/д	н/д	11,0

Примітка:

1 – Defra – Департамент навколишнього середовища, продовольства і сільського господарства Великої Британії;

2 – WB – Світовий Банк;

3 – ISWA – Міжнародна асоціація з твердих відходів;

4 – показник не досліджувався.

Таблиця 5

Результати оцінювання теплового потенціалу (теплотворної здатності) побутових відходів

№ з/п	Компоненти побутових відходів	Частка компонентів ПВ у загальній масі, %	Орієнтовне значення теплотворної здатності, МДж/кг [13]	Визначений діапазон теплотворної здатності компонентів ПВ, МДж/кг
1	Біовідходи	51,83 – 84,73	3,5	1,814 – 2,966
2	Папір і картон	3,3 – 5,5	9,5	0,314 – 0,523
3	Полімери	5,49 – 12,14	25,0	1,373 – 3,035
4	Текстиль	0,63 – 10,6	15,0	0,095 – 1,59
5	Деревина	0,018 – 0,16	14,5	0,0026 – 0,023
Загальний оцінений тепловий потенціал ПВ				3,599 – 8,137

Перспективи використання результатів дослідження. Усвідомлення цінності ресурсів, які містять побутові відходи, й оцінка їх матеріального та енергетичного потенціалу, стає можливою тільки після отримання об'єктивних даних щодо компонентного складу відходів, характерного саме для конкретного населеного пункту або населених пунктів певного

типу, що дійсно дасть можливість обрати раціональні управлінські та техніко-економічні рішення. Саме ці рішення є основою дорожньої карти для успішної реалізації місцевих планів управління відходами, які є обов'язковим елементом системи управління відходами на регіональному й місцевих рівнях згідно вимог Закону України «Про управління відходами».

Література

1. Приходько В.Ю., Сафранов Т.А. Ресурсоцінна складова твердих побутових відходів окремих регіонів України : монографія. Одеса : Одеський державний екологічний університет, 2024. 101 с.
2. Регіональний план управління відходами у Полтавській області до 2030 року: проєкт. URL: <https://www.adm-pl.gov.ua/advert/oprilyudnennya-dlya-obgovorennya-proektu-regionalniy-plan-upravlinnya-vidhodami-u-poltavskiy-> (дата звернення: 19.12.2024).
3. Комплексна програма поводження з твердими побутовими відходами у Полтавській області на 2022-2030 роки : проєкт. Полтава, 2022. 268с. URL: <https://www.adm-pl.gov.ua/advert/oprilyudnennya-dlya-obgovorennya-proektu> (дата звернення: 20.12.2024).
4. Ілляш О. Е., Голік Ю. С. Дослідження ресурсного потенціалу побутових відходів у Полтавській області. *Проблеми охорони праці в Україні*. 2023. Вип. 39 (1–2). С. 47–54.
5. Голік Ю. С., Ілляш О. Е., Монастирський О. М., Чепурко Ю. В., Серга Т. М. Оцінка енергоресурсного потенціалу територіальних громад Полтавської області як складової енергетичної безпеки. *The 3rd International scientific and practical conference «Scientific research in the modern world» (January 12-14, 2023) Perfect Publishing, Toronto, Canada*. С. 205–215.
6. Oksana Illiash, Yurii Holik, Astrid Allesch, Iuliia Chepurko, Tetiana Serha. Analysis of studies on the morphological composition of domestic waste in Ukraine. *Environmental Problems. Екологічні проблеми*. Volume 8/ Number 4. 2023. С. 241–246.
7. Про затвердження Методичних рекомендацій з визначення морфологічного складу твердих побутових відходів : Наказ Міністерства з питань житлово-комунального господарства від 16 лют. 2010 р. № 39. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0039662-10#Text> (дата звернення: 20.12.2024).
8. Методичні рекомендації з визначення морфологічного складу побутових відходів : Наказ Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України від 3 трав. 2024 р. № 409. URL: <https://mtu.gov.ua/documents/2485.html> (дата звернення: 20.12.2024).
9. Leitfaden für die Durchführung von Restmüll-Sortieranaysen : September 2017 (original) / Oktober 2021 (adaptiert) / Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). Wien.
10. Methodology for the Analysis of Solid Waste. SWA-Tool. Verfügbar unter. URL: <https://www.wien.gv.at/meu/fdb/pdf/swa-tool-759-ma48.pdf> (дата звернення: 21.12.2024).
11. Звіт про науково-дослідну роботу за договором від 07.05.2024 № М/26-2024 «Дослідження складу твердих побутових відходів та їх ресурсного потенціалу» (затверджено Вченою Радою Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» від 12 грудня 2023 року протокол № 13). Полтава, 2024. – 185 с.
12. Про відходи та скасування деяких Директив : Директива Європейського Парламенту та Ради від 19 лист. 2008 р. № 2008/98/ЄС «».URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_029-08#Text (дата звернення: 21.12.2024).
13. Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 лист. 2017 р. № 820-р. URL: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80/page> (дата звернення: 20.12.2024).

УДК 504.05

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.6-57.25>

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ ТРУБНОГО ВИРОБНИЦТВА

Грідяєв В.В., Манідіна Є.А.

Запорізький національний університет
вул. Університетська, 66, 69600, м. Запоріжжя
vladimir493@ukr.net, manidina@znu.edu.ua

Стічні води травильних цехів трубного виробництва є суттєвим джерелом забруднення довкілля через вміст кислот, металів та інших хімічних компонентів. Основні типи цих стоків – відпрацьовані травильні розчини та промивні слабкокислі стоки – містять іони важких металів (нікель, хром, мідь), фториди, сульфати, нітрати, ортофосфати тощо. Концентрації забруднювачів значно перевищують нормативні показники, що зумовлює необхідність їх очищення.

Досліджено ефективність нейтралізації таких стоків за допомогою 5%-го розчину гідроксиду кальцію. В ході процесу відбувається осадження металів у формі гідроксидів, а також утворення мінеральних шламів. Для підвищення ефективності осадження запропоновано використання катіоноактивного флокулянту поліакриламід та коагулянту на основі гідроксохлориду алюмінію. Встановлено, що оптимальними умовами для нейтралізації стічних вод трубного виробництва є рівень рН середовища у межах 7,8–9,6. Результати експериментального дослідження показали зниження ефективності осадження іонів металів (хрому, нікелю, заліза, міді) на 10–15% при більш високих рН середовища.

Для досягнення нормативних показників по забруднювачам запропоновано розбавлення нейтралізованих стоків технічною водою. Встановлено, що оптимальний коефіцієнт розбавлення стоків трубного виробництва становить 9–14.

Результати експериментів показали, що використання запропонованої технології дозволяє знизити концентрації забруднюючих речовин до допустимих норм. Проте деякі компоненти, зокрема важкі метали, потребують додаткових заходів очищення та постійного моніторингу рН під час процесу. У роботі також запропоновано заходи для утилізації відпрацьованих нафтопродуктів, що утворюються в шламозбірниках.

Встановлено, що технологія нейтралізації стоків трубного виробництва з використанням таких реагентів, як: 5%-го розчину гідроксиду кальцію, поліакриламід та гідроксохлориду алюмінію є ефективним рішенням лише при подальшому їх розбавленні технічною водою. *Ключові слова:* екологічна безпека, трубне виробництво, травильні розчини, промислові відходи, нейтралізація.

Research on the efficiency of waste utilization technology in pipe manufacturing. Gridiaiev V., Manidina Ye.

Wastewater from pickling shops in pipe manufacturing is a significant source of environmental pollution due to its content of acids, metals, and other chemical components. The primary types of these effluents – spent pickling solutions and weakly acidic rinse waters – contain heavy metal ions (nickel, chromium, copper), fluorides, sulfates, nitrates, orthophosphates, and more. The concentrations of these pollutants significantly exceed regulatory limits, necessitating their treatment.

The efficiency of neutralizing such effluents using a 5% calcium hydroxide solution was studied. During the process, metals precipitate in the form of hydroxides, and mineral sludge forms. To enhance the efficiency of sedimentation, the use of a cationic flocculant (polyacrylamide) and an aluminum hydroxychloride-based coagulant was proposed. It was determined that the optimal conditions for neutralizing wastewater from pipe manufacturing are achieved at a pH level within the range of 7,8–9,6. The results of the experimental study showed a 10–15% decrease in the efficiency of metal ion precipitation (chromium, nickel, iron, copper) at higher pH levels of the medium.

To comply with regulatory standards for pollutants dilution of neutralized effluents with technical water. The optimal dilution ratio for pipe manufacturing effluents was found to be 9–14.

Experimental results demonstrated that the proposed technology reduces pollutant concentrations to permissible levels. However, certain components particularly heavy metals, require additional treatment measures and continuous pH monitoring during the process. The study also proposed measures for the disposal of used oil products generated in sludge collectors.

It was established that the wastewater neutralization technology for pipe manufacturing using reagents such as a 5% calcium hydroxide solution, polyacrylamide, and aluminum hydroxychloride is effective only when followed by dilution with technical water. *Key words:* environmental safety, pipe manufacturing, pickling solutions, industrial waste, neutralization.

Актуальність дослідження. Стічні води травильних цехів трубного виробництва чинять негативний вплив на довкілля. Такі стоки утворюються під час обробки металу різними кислотами, зокрема азотно-плавиговою, азотною, сірчаною, фосфорною, сірчано-плавиговою сумішшю кислот тощо, при видаленні окалини та іржі з поверхні металу. Під час травлення металу утворюються два основних типи стічних вод: відпрацьовані травильні роз-

чини (ВТР) та промивні слабкокислі стоки (ПСКС) [1, 2]. Орієнтовна характеристика джерел утворення основних забруднюючих речовин, що скидаються на станцію нейтралізації з травильного відділення трубного виробництва наведена в табл. 1 (за практичними даними, промислові підприємства Дніпропетровської області).

Оскільки труби мають гальванічне покриття, то стічні води травильного відділення в своєму

Таблиця 1

**Характеристика джерел утворення основних забруднюючих речовин,
що скидаються на станцію нейтралізації з травильного відділення трубного виробництва
(дослідно-промислові випробування, 2023 р.)**

Реагенти, що застосовуються для травлення	Речовини, що утворюються під час травлення металів	Концентрація забруднюючих речовин, мг/дм ³	Нормативні значення, мг/дм ³
Плави́кова кислота Азотна кислота	Фториди	60000	13,0
	Нітрати	60000	68,35
	Нікель	12000	0,61
	Хром	3000	0,024
	Ферум	49000	28,83
	Сухий залишок	149000	1000
Сірчана кислота Соляна кислота	Сульфати	50000	331
	Хлориди	40000	119,6
	Ферум	30000	28,83
Сірчана кислота	Сульфати	50000	331
	Ферум	20500	28,28
Азотна кислота	Нітрати	140000	68,35
	Нітроген амонійний	89	0,71
	Ферум	2089,4	28,83
	Сухий залишок	30000	1000

Таблиця 2

**Результати гідрохімічного аналізу стічних вод травильної ванни з азотно-плави́ковим розчином
(дослідно-промислові випробування, 2023 р.)**

Полютант	Концентрація, мг/дм ³	
	початкова концентрація	нормативні значення
NH ₄ ⁺	24,20	0,71
Cu ²⁺	171,2	0,08
Fe ²⁺ та Fe ³⁺	70543,0	28,83
Ni ²⁺	5604,40	0,61
Cr ⁶⁺	0,001	–
Cr ³⁺	4796,60	0,024
F ⁻	61949,20	13,00
PO ₄ ³⁻	14,53	1,50
NO ₃ ⁻	36121,50	68,35
NO ₂ ⁻	479,9	0,37
SO ₄ ²⁻	2441,50	331
Cl ⁻	4431,60	119,6
pH	0,05	3 – 10
Сухий залишок	160400,00	1000
ПАР	0,228	0,27
Нафтопродукти	2,9	3,36

складі окрім іонів заліза мають також іони хрому, міді та нікелю (табл. 2, промислові підприємства Дніпропетровської області).

З вищенаведених характеристик стічних вод (табл. 1 та табл. 2) видно, що перевищення нормативів по деяким речовинам відбувається у декілька разів (рис. 1). Найбільше забруднення спостерігається за такими показниками, як: нікель, хром (III), фториди, ортофосфати, загальне залізо, мідь.

Таким чином, результати гідрохімічного аналізу стічних вод травильних відділень трубних виробництв промислових підприємств Дніпропетровської області вказують на актуальність дослідження ефективності найбільш поширених в Україні технологій їх утилізації.

Мета роботи. Дослідження ефективності утилізації стічних вод травильних відділень трубного виробництва промислових підприємств

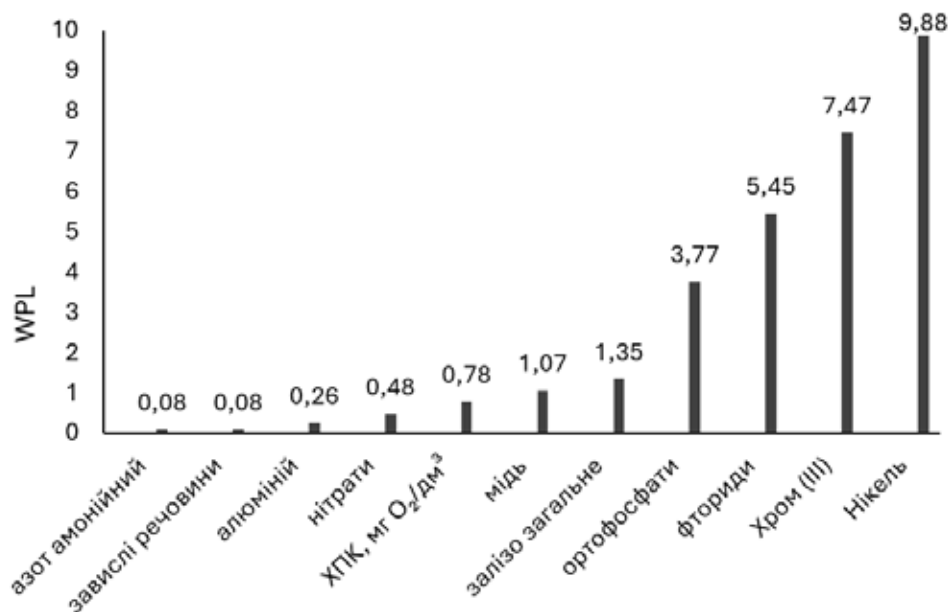


Рис. 1. Середньозважене відхилення забруднення стічних вод травильного відділення за основними речовинами від показників ГДК, WPL

Дніпропетровської області та надання рекомендацій щодо її підвищення.

Методи дослідження. В роботі були використані дані хімічних лабораторій промислових підприємств та результати власних дослідно-промислових вимірювань основних гідрохімічних показників стічних вод. Вимірювання проводилися за стандартними методиками, що діють на території України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наукові публікації приділяють значну увагу дослідженню ефективності очищення стічних вод, що утворюються в травильних відділеннях [2–11]. В роботах [2, 5, 7] зазначено, що замкнуті системи водообігу є найбільш перспективними і активно розвиваються в трубному виробництві. Вони бувають централізованими, коли всі види стічних вод очищуються на єдиних очисних спорудах, або децентралізованими (локальними), де очищення відбувається на місці для конкретних технологічних процесів, наприклад, при нікелюванні або хромуванні труб. Аналіз основних методів очищення ВТР і ПСКС показав, що найбільш простими та дешевшими є методи централізованої нейтралізації стічних вод трубного виробництва за допомогою вапняного молока [2, 10, 11].

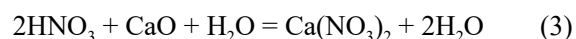
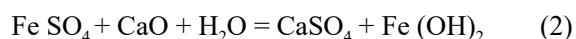
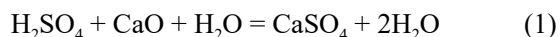
Постановка завдання. Для забезпечення ефективного очищення стічних вод трубного виробництва до санітарних норм необхідно встановити вплив параметрів суміші різних видів відпрацьованих травильних розчинів та промивних вод на ефективність процесу їхньої нейтралізації вапняним молоком, надати рекомендації щодо режимів обробки стічних вод для досягнення нормативів щодо забруднюючих речовин.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями.

Дослідження виконано в рамках НДР «Розробка заходів щодо захисту навколишнього середовища, забезпечення екологічної безпеки та раціонального природокористування», державний реєстраційний номер 0124U000159. Тематика дослідження є одним із наукових напрямів діяльності кафедри металургійних технологій, екології та техногенної безпеки Запорізького національного університету.

Результати дослідження. Для експериментальних досліджень, в роботі обрано існуючу схему централізованого знешкодження стоків травильних відділень трубного виробництва різних промислових підприємств Дніпропетровської області (рис. 2).

Режими обробки стічних вод. Згідно з рис. 2, для нейтралізації стоків трубного виробництва застосовується 5 %-й розчин гідроксиду кальцію, приготовленого на основі негашеного вапна, з вмістом активного CaO не менше 80 %. Відпрацьовані травильні розчини та промивні слабкокислі стоки транспортуються до загальної станції нейтралізації підземними комунікаційними мережами за допомогою насосного обладнання. Принципова схема надходження стоків на станцію нейтралізації наведена на рис. 3. На станції нейтралізації відбувається контактування вапняного молока зі стічними водами від різних травильних ванн. Процес нейтралізації таких стоків протікає за наступними реакціями:



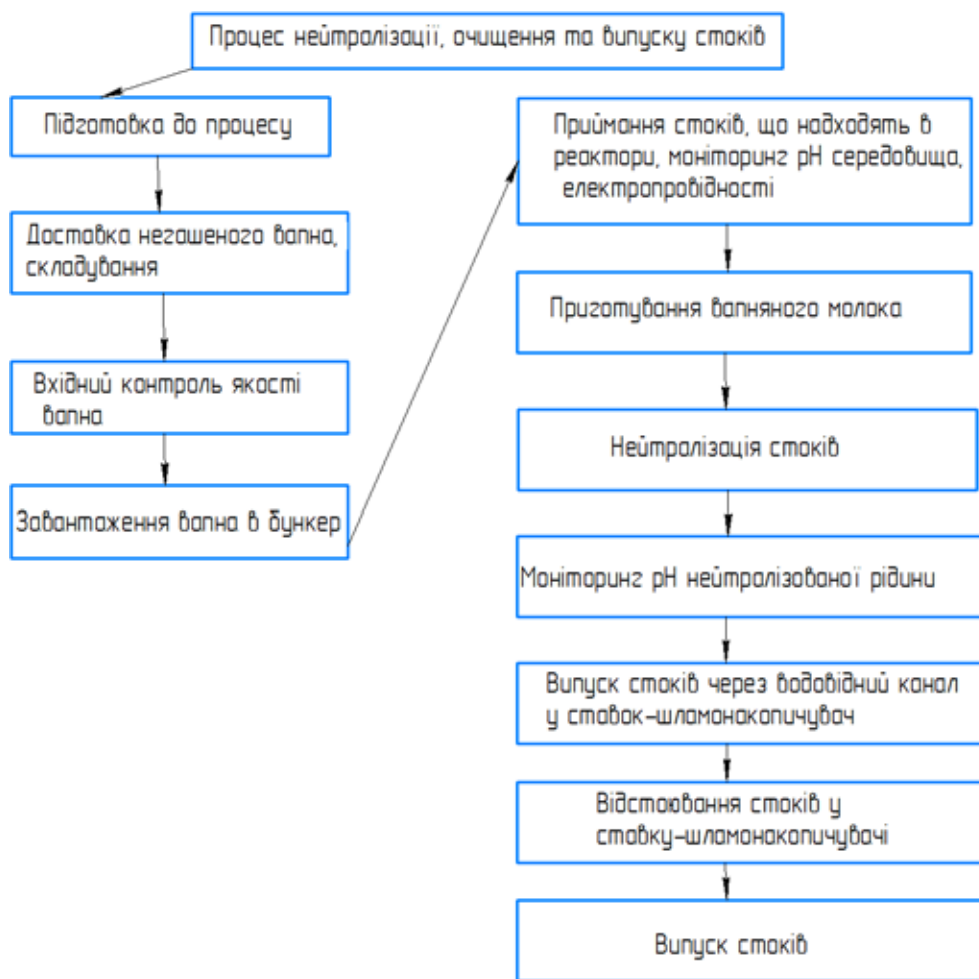
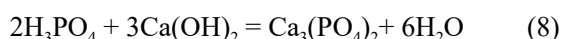
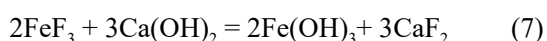
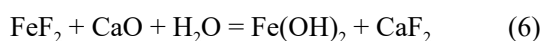
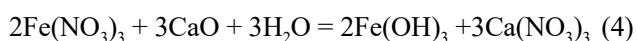


Рис. 2. Послідовність процесів нейтралізації та випуску стоків



Перемішування стоків з вапняним молоком відбувається за допомогою подачі повітря. Відомо, що під час взаємодії ВТР і ПСКС з вапняним молоком відбувається осадження металів у формі гідроксидів з подальшим утворенням мінеральних шламів [1, 2, 10, 11]. Але для покращення осадження гідроксидів заліза, солей важких металів та зважених частинок в роботі пропонується застосовувати розчин флокулянту катіоноактивного поліакриламід. Розчин флокулянту готується з концентрацією 0,2 % по сухій речовині в поліетиленовій ємності. Час розчинення флокулянту в поліетиленовій ємності залежить від температури води і, за результатами експериментальних досліджень, становить від 1,5 год при температурі +25 °С і до 5 год при температурі +10 °С.

Під час дослідно-промислових випробувань було встановлено, що після введення флокулянту

час витримки від завершення його подачі до зливу нейтралізованих стоків з реактора має складати 10–15 хв.

Розчин флокулянту в південний реактор (рис. 3) подається відцентровим насосом одночасно зі зливом відпрацьованих травильних розчинів та їх нейтралізацією, за показаннями рН-метра. Встановлено, що початок додавання флокулянту необхідно проводити лише при підвищенні рН більше ніж 7 одиниць і закінчувати після того, як показання на рН-метрі піднімуться вище 10.

Після нейтралізації ВТР і ПСКС вапняним молоком стоки підлягають обробці коагулянт. Щоб викликати коагуляцію домішок речовин, у воду було введено хімічний реагент – «Полвак».

Режим обробки нейтралізованих вод коагулянт у різні періоди року встановлено на основі даних фізико-хімічного аналізу, дослідження технологічних параметрів процесу та практичного досвіду обробки стічних вод травильних відділень [1, 2].

Приготування робочого розчину коагулянту на станції нейтралізації здійснюється в розчинному баку шляхом розведення товарного коагулянту потоком технічної води з перемішування вмісту в баку

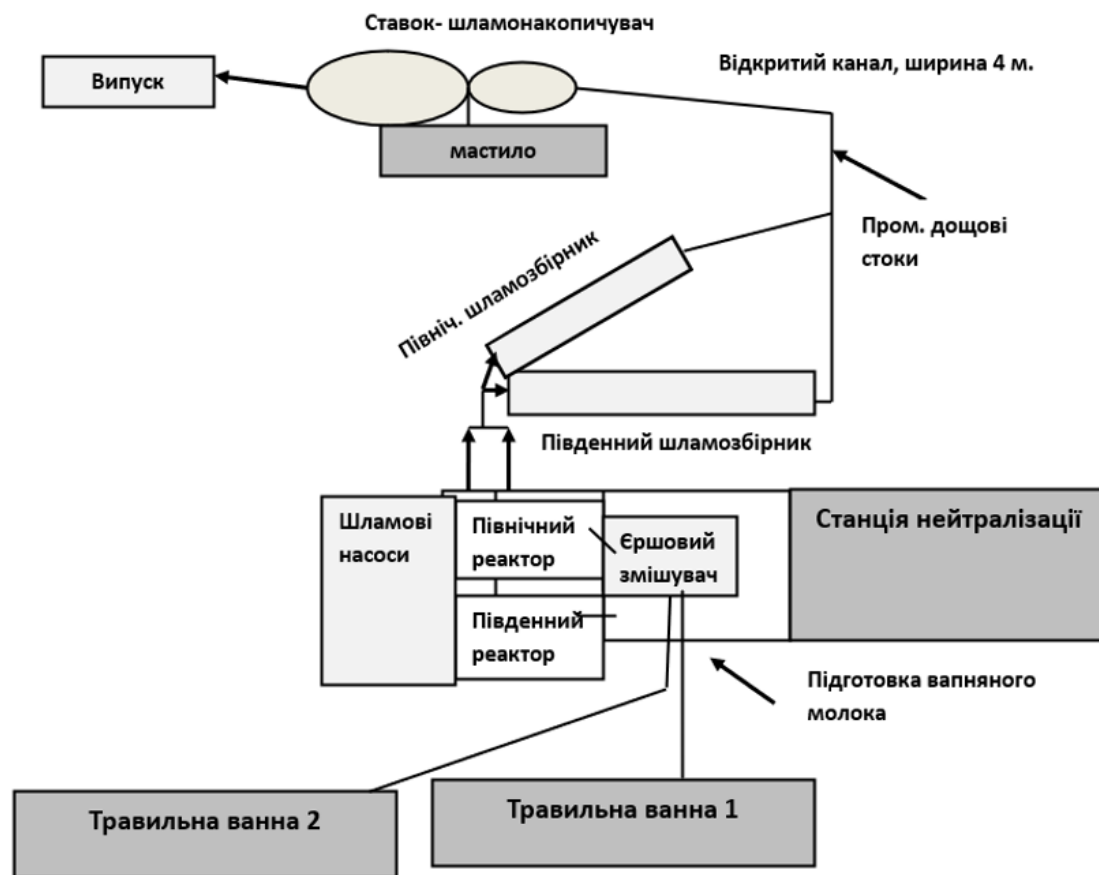


Рис. 3. Схема нейтралізації та випуску стоків трубного виробництва

Таблиця 3

Результати нейтралізації відпрацьованих травильних розчинів (азотна кислота)

Травильний розчин	Речовини, що утворюються під час травлення металів	Концентрація після нейтралізації, мг/дм ³	ГДК, мг/дм ³
Азотна кислота	Нітрати	418	68,35
	Нітроген амонійний	19,7	0,71
	Ферум	1,7	28,83
	Сухий залишок	25295	1000

за допомогою мішалки. Експериментально встановлено, що температура води під час приготування робочих розчинів коагулянту практичного значення не має.

При введенні в нейтралізовані слабкокислі стоки коагулянту має бути забезпечене повне змішування його з усією масою стоків. Визначено, що оптимальний час змішування реагенту із стоками становить 6–8 хв.

В результаті дослідно-промислових досліджень було встановлено, що після подачі коагулянту для завершення процесу утворення пластівців потрібно від 20 до 45 хв. Після цієї стадії суміш зливається в шламосбірник. Далі нейтралізовані стоки самопливом через перелив у проміжну ємність надходять у промислову каналізацію та на шламосбірник (рис. 3).

Дослідження ефективності нейтралізації та надання рекомендацій. Результати очищення стічних вод шляхом їхньої нейтралізації за запропонованою схемою наведені в табл. 3. З результатів видно, що не за всіма речовинами відбувається очищення до санітарних норм.

В результаті дослідно-промислових досліджень було проаналізовано вплив водневого показника середовища на ефективність видалення важких металів зі стоків трубного виробництва (рис. 4).

За результатами дослідно-промислових випробувань (рис. 4) було встановлено, що оптимальні значення рН при нейтралізації стоків трубного виробництва знаходиться в межах 7,8–9,6. Саме за такими значеннями рН спостерігається найбільша ефективність очищення стічних вод трубного виробництва за основними показниками, такими як вміст нікелю,

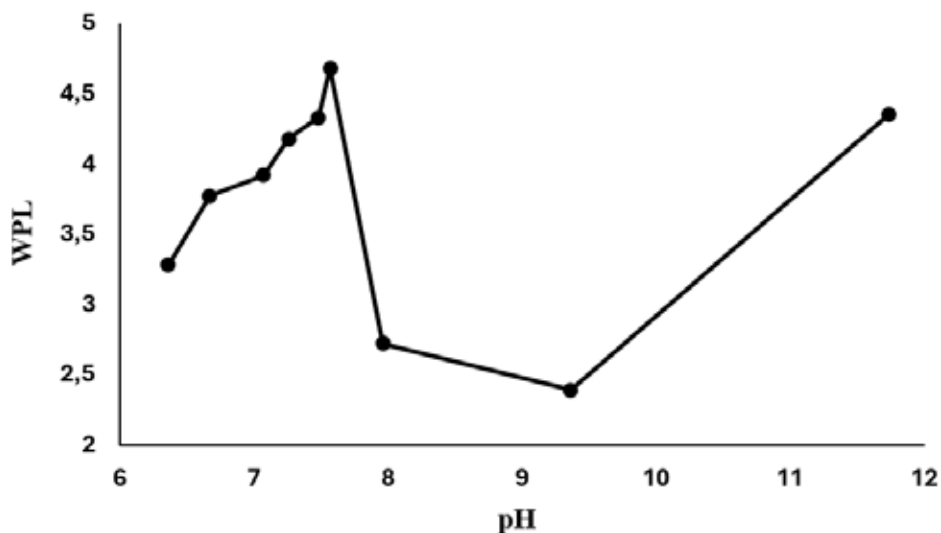


Рис. 4. Залежність параметра WPL (середнє значення за 6 елементами) від водневого показника стоків

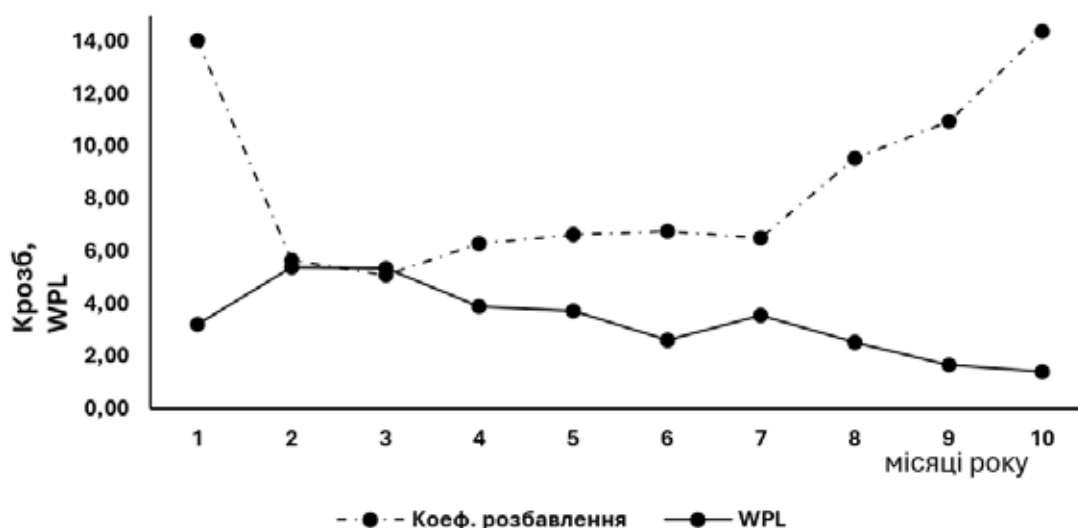


Рис. 5. Залежність параметра WPL (середнє значення за 6 елементами) від коефіцієнта розбавлення стоків

хрому (III), фторидів, ортофосфатів, загального заліза та міді. Результати експериментального дослідження показали зниження ефективності осадження іонів металів (хрому, нікелю, заліза, міді) на 10–15% при більш високих рН середовища.

Таким чином, результати дослідів показали недостатню ефективність очищення стічних вод трубного виробництва за вищенаведеними забруднювачами ($WPL > 1$). Це обумовлено тим, що ефективне знешкодження кожного з цих забруднювачів відбувається при різних значеннях рН. Тому, при реалізації очищення стічних вод, що мають такий склад, постає питання жорсткого контролю та регулювання рН середовища під час ведення процесу їх нейтралізації, а також підбір більш ефективного коагулянту процесу.

Отже, при реалізації запропонованого способу очищення стічних вод трубного виробництва не було досягнуто значення показника $WPL = 1$. Для зниження кінцевої концентрації основних забруднювачів було запропоновано такі води перед скиданням попередньо розбавляти технічною водою.

В результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень були встановлені витрати технічної води для розбавлення таких стоків за різними місяцями року (рис. 5). Одержані дані, свідчать о зменшенні вмісту шкідливих речовин в стоках, які скидаються у відкриту водойму, до нормативних значень при значеннях коефіцієнта розбавлення таких стоків в межах від 9 до 14.

Оскільки під час експлуатації ставка-шламонакопичувача відбувається постійне осадження зважених

частинок забруднюючих речовин (комплексів нерозчинних солей, гідроксидів), то при певному їх накопиченні відбувається замулювання дна залишками рослинності, ґрунту, шламом. Тому для підтримки ставка в такому технічному стані, який забезпечував би максимальне (проектне) очищення стічних вод і не призводив би до винесення осажденного осаду назад у стічні води потоком цієї води, необхідно передбачити роботи з поглиблення (очищення) дна до проектних позначок. Для транспортування шламу зі ставка рекомендовано використовувати меліоративний земснаряд.

Ще один вид відходів, який збирається у ставку-шламонакопичувачі зі стічних вод трубного виробництва є відпрацьовані нафтопродукти (рис. 3). Для уловлення нафтопродуктів необхідно облаштувати ставок-шламонакопичувач загороджувальним пристроєм з нафтосорбуючим боном, скімером та майданчиком для обслуговування. Зібрані нафтопродукти від скімера за допомогою гнучкого трубопроводу необхідно відводити

в накопичувальну ємність і далі по мірі накопичування вивозити на утилізацію.

Висновки. Отже, запропонована технологія (режими роботи) нейтралізації ВТР і ПСКС дозволяє знизити концентрації забруднюючих речовин, що містяться в стоках трубного виробництва, до гранично допустимих значень до випуску у відкриту водойму. Визначено, що:

- у відпрацьованих травильних розчинах та промивних водах перевищення нормативів по деяким речовинам відбувається у декілька разів;
- максимально ефективно осадження металів (хром, нікель, залізо, мідь) відбувається в реакції нейтралізації при рН 7,8–9,6;
- оптимальний коефіцієнт розбавлення стоків становить 9–14 одиниць;
- для зменшення коефіцієнта розбавлення стічних вод, а отже і зменшення використання свіжої технічної води, необхідно провести додаткові лабораторні дослідження впливу різних видів коагулянтів на ефективність очищення стоків.

Література

1. Большанина С. Б., Гурець Г.М., Балабуха Д.С., Міляева Д.В. Очищення стічних вод гальванічних виробництв сорбційними методами. *Екологічна безпека*. 2014. Вип. 1. С. 114-118.
2. Виробництво систем очистки стічних вод та їх повторне використання. URL: <https://ete.net.ua/ochyshhennya-stichnyh-vod-galvanichnogo-v/> (дата звернення: 20.10.2024).
3. Сакалова Г.В. Очищення стічних вод від іонів хрому природними сорбентами. Технологічні аспекти. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2018. № 6(2). С. 103-114.
4. Regel-Rosocka M. A review on methods of regeneration of spent pickling solutions from steel processing. *Journal of Hazardous Materials*. 2009. 177(1-3): 57-69. doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.12.043.
5. Devi A., Singhal ., Gupta R., Panzade . A study on treatment methods of spent pickling liquor generated by pickling process of steel. *International Journal of Environmental Research and Development*. 2014. 11(1): 1-15. doi: 10.1007/s10098-014-0726-7.
6. Wang, H., Li, C., Zhang, Y., & Wang, S. Treatment of spent pickling solutions by diffusion dialysis using anion-exchange membrane Neosepta-AFN. *Membranes*. 2023. 13(1): 9. URL: <https://doi.org/10.3390/membranes13010009>.
7. Liu, F., Zhang, Y., & Tang, Q. Efficient recycling and utilization strategy for steel spent pickling solution. *Coatings*. 2024. 14(7): 784. URL: <https://doi.org/10.3390/coatings14070784>.
8. Манідіна Є. А., Кожемякін Г. Б., Поляков К. К. Технологія переробки сірчаноокислих відпрацьованих травильних розчинів з одержанням товарного продукту. *Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України* : матеріали І Всеукр. наук.-практ. конф. здобувачів вищ. освіти, аспірантів та молодих вчен., м. Запоріжжя, 19–21 жовт. 2021 р. Запоріжжя, 2021. С. 495-496.
9. Манідіна Є. А., Белоконь К. В., Воденнікова О. С., Рижков В. Г., Троїцька О. О. Утилізація соляноокислих відпрацьованих травильних розчинів прокатного виробництва. *Вісник Криворізького національного університету* : збірник наукових праць. 2021. № 52. С. 35-39.
10. Епоян С.М., Пашкова С.П., Дерка Н.В. Нейтралізація і стабілізація сірчаноокислих стічних вод промислових підприємств. *Науковий вісник будівництва*. Т. 86, № 4, 2016. С. 242-245.
11. Айрапетян Т.С. Водне господарство промислових підприємств : навчальний посібник. Харків : Харківська національна академія міського господарства, 2010. 280 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІН МОРФОЛОГІЧНОГО СКЛАДУ ПАПЕРОВОЇ ФРАКЦІЇ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ¹

Тихомирова Т.С., Титаренко А.І., Пітак Р.О.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

вул. Кирпичова, 2, 61002, м. Харків

tetiana.tykhomyrova@khpi.edu.ua

У роботі систематизовані та проаналізовані дані п'ятирічного дослідження складу паперової фракції твердих побутових відходів, які утворюються у місцях проживання родин. Аналіз проводився починаючи з 2019 року, який був обраний як еталонний рік, коли життя людей не було пов'язано з дією форс мажорних факторів. Дослідження проводились у родинях різного складу – з дітьми шкільного віку, без дітей, з членами родин, які мають хронічні захворювання тощо для того, щоб виділити чинники, які впливають на кількісний та якісний склад паперових відходів, яку утворюються безпосередньо у родинях. Участь у дослідженні взяли 100 родин з різних регіонів України, які надавали данні щодо змін у їх складі, способу життя, переміщення.

Проведені дослідження дозволили виділити п'ять категорій паперових та змішаних паперово-картонні відходів, які утворюються у родинях у значній кількості. Вперше доведено критично малий вміст газет у складі паперових відходів, що утворюються безпосередньо у місцях постійного проживання родин.

Аналіз отриманих даних дозволив виділити наявність дітей у родинях як ключовий чинник складу родин, що впливає на кількість паперових відходів у вигляді зошитів, чернеток офісного паперу, кольорового паперу. Діти також опосередковано впливають на частоту використання картонного пакування поштових операторів, особливо ця тенденція проявилась у період пандемії коронавірусу та у перший рік повномасштабного вторгнення.

Серед зовнішніх чинників, які впливали на кількість утворених паперових відходів певних категорій, таких як пакування харчових продуктів, картонне пакування поштових операторів та паперові відходи, які утворюються під час навчання, головними у період з 2019 по 2023 рік були пандемія коронавірусу та повномасштабне вторгнення. Пандемія призвела до переходу на дистанційне навчання та неможливості купувати предмети одягу та непродовольчі товари у звичайних магазинах. Повномасштабне вторгнення головним чином вплинуло на збільшення кількості картонного пакування поштових операторів як однієї з категорій паперової фракції твердих побутових відходів, що утворюються у родинях.

Отримані у дослідженні дані можуть бути використані при регіональному плануванні сталого поведіння з твердими побутовими відходами, а саме для розробки системи окремого збору відходів, в тому числі паперових. *Ключові слова:* макулатура, паперова фракція, морфологічний склад, стале поведіння з відходами, тверді побутові відходи.

Morphological composition of paper fraction from household solid waste changes studying. Tykhomyrova T., Tytarenko A., Pitak R.

Data from a five-year study of the solid household waste paper fraction composition that generated in families' residence are systematized and analyzed in this work. The analysis was conducted starting from 2019, which was chosen as a reference year when people's lives were not under force majeure factors. The studies were conducted in different families – with school-age children, without children, with family members who have chronic diseases, etc. in order to identify factors that affect the quantitative and qualitative composition of paper waste generated directly in families. 100 families from different regions of Ukraine participated in the studies, who provided data on changes in their composition, lifestyle and movement.

The conducted studies allowed us to identify five categories of paper and mixed paper-cardboard waste generated in families in significant quantities. For the first time, the critically low newspapers content in paper waste generated directly in families' places of permanent residence was proven.

Data analysis allowed us to highlight the presence of children in families as a key factor in family composition, which affects the paper waste amount such notebooks, drafts office paper, colored paper. Children also indirectly affect the frequency of postal operators' cardboard packaging using, this trend was especially evident during the coronavirus pandemic and in the first year of a full-scale invasion.

Among the external factors that influenced the generated certain categories paper waste amount, such as food packaging, postal operators cardboard packaging and paper waste generated during studying, the main ones in the period from 2019 to 2023 were the coronavirus pandemic and a full-scale invasion. The pandemic led to the transition to distance learning and the inability to buy clothing and non-food goods in regular stores. The full-scale invasion mainly affected the increase in the amount of postal operators' cardboard packaging as one of municipal solid waste categories generated in families.

The data obtained in the study can be used in regional planning for sustainable municipal solid waste management, namely a system for separate waste collection development, including paper. *Key words:* waste paper, paper fraction, morphological composition, sustainable waste management, solid household waste.

¹ Збір даних щодо морфологічного склад та кількісної оцінки кожної категорії паперової фракції твердого побутового сміття у різних типах родин України виконувались, в тому числі, студентами кафедри хімічна техніка та промислової екології НТУ «ХПІ» в якості складової наукової роботи студентів у період з 2019/2020 навч. рік по 2023/2024 навч. рік.

Постановка проблеми. Дані щодо морфологічного складу твердого побутового сміття є необхідними для формування комплексного сталого підходу до управління відходами у населених пунктах. Кількісний та якісний склад кожної фракції твердого побутового сміття дозволяє розробляти ефективні системи для їх збору, переробки, вторинного використання з урахуванням регіональних та локальних особливостей, типу населеного пункту, численності населення, зміни способу життя та інших факторів.

Актуальність дослідження. Паперова фракція твердих побутових відходів, до якої входять папір та картон, яку також називають макулатура, є однією з тих фракцій, що підлягає вторинному використанню по всій території України. Паперова фракція має добре налагоджену систему збору, сортування, зменшення об'єму та трансферу до місця переробки. Актуальні дані щодо морфологічного складу паперової фракції твердого побутового сміття дозволяють адаптувати існуючі системи збору, в першу чергу від населення, з метою збільшення кількості цього виду сміття, яке в майбутньому потрапить на переробку, а не опиниться в загальній масі сміття на полігонах з метою захоронення.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Тема дослідження відповідає Національній стратегії управління відходами в Україні до 2030 року (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р) [1, с. 3], а також бюджетній тематиці кафедри хімічна техніка та промислова екологія НТУ «ХП» «Розробка наукових основ управління та утилізації твердих відходів» (номер держреєстрації 0124U001841). Необхідність сталого поводження з всіма видами відходів, створення інструментів для запобігання зменшення обсягів утворених відходів закріплена у Національній доповіді «Цілі сталого розвитку: Україна» [2, с. 94].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для розробки регіональних планів управління відходами необхідно було детально дослідити морфологічний склад твердих побутових відходів (ТПВ). Такі дослідження проводились вітчизняними науковцями у різні роки та стосувались різних рівнів накопичення ТПВ. Так, у [3, с. 314] досліджено сезонні зміни у морфологічному складі ТПВ на прикладі м. Житомир, у [4, с. 1617] досліджено морфологічний склад ТПВ у Вінницькій області. На морфологічний склад ТПВ в цілому та окремих його фракцій впливає багато факторів, серед яких й місце утворення, на чому наголошують автор дослідження [5, с. 286] наводячи данні щодо відмінностей у морфологічному складі відходів, які утворюють у адміністративних невикористаних приміщеннях, у комерційних невикористаних приміщеннях та у житлових багатоповерхових будинках.

Морфологічний склад ТПВ також впливає на процеси, які відбуваються у тілі полігону, в тому

числі на структуру мікробіоценозів [6, с. 205], саме тому вивчення морфологічного складу ТПВ є важливим науковим завданням. Проте, як зазначають автори дослідження [7, с. 112] необхідним елементом будь-яких досліджень морфологічного складу ТПВ є вимога репрезентативності результатів досліджень, без чого складно та іноді навіть неможливо порівнювати дослідження окремих науковців між собою.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Маловивченим є конкретний морфологічний склад паперової фракції ТПВ, які утворюють у родин, аналіз динаміки змін в залежності від зовнішніх факторів, які впливають на спосіб життя родин.

Новизна. Вперше досліджено морфологічний склад паперової фракції ТПВ, які утворюються у родин різного типу та проаналізовано вплив способу життя родин на такий склад з використанням даних п'ятирічних досліджень.

методологічне або загальнонаукове значення. У даній роботі використовували метод натурного експерименту та ваговий метод з використанням електронних аналітичних ваг ТМ AXIS моделі ANZ160C.

Викладення основного матеріалу. Паперова фракція ТПВ, яка утворюється в індивідуальних домогосподарствах, містить як власно паперові відходи, так й картон. При аналізі морфологічного складу ТПВ [4, с. 1617; 5, с. 286] загальноприйнятим є відокремлення паперові та картонної фракції. Проте населення у 90% випадків не розділяє саме паперову та картонну фракцію при накопиченні в квартирах чи приватних будинках, окрім великоформатних картонних коробок та залишків пакування великогабаритної побутової техніки, які не накопичуються, а виносяться на смітник. Зі смітників цей тип відходів швидко потрапляє у пункти збору макулатури завдяки або робітникам комунальних служб, або громадянам, для яких збір макулатури та іншої вторинної сировини є основним джерелом доходу. Проведені дослідження щодо морфологічного складу паперові фракції ТПВ, які утворюються в індивідуальних домогосподарствах, дозволили зробити висновок, основна паперова фракція може бути класифікована як макулатура марка МС-7Б-2 [8], окрім категорії «картонне пакування поштових служб», яке класифікується як макулатура марки МС-11В [8].

На першому етапі дослідження усі утворені в родин паперові відходи були класифіковані на окремі групи, найменування груп та середня вага одного елемента наведена у табл. 1, а зовнішній вигляд – на рис. 1.

На другому етапі було досліджено динаміку змін у кількості кожної групи паперових відходів в загальній масі відходів. Загальна маса утворених відходів – 2 кг на місяць, дані щодо складу та кількості (мас.%) усереднені за рік (табл. 2).

Таблиця 1

Морфологічний склад паперової фракції ТПВ, що утворюється в індивідуальних домогосподарствах

Найменування категорії відходів	Коротка назва	Стислий опис	Середня вага одного елемента, грам
Пакування ліків	ПЛ	– картонне пакування лікарських засобів, в т.ч зубних паст – інструкції до лікарських засобів	4 – 15 1 – 2
Пакування харчових продуктів	ХП	пакування чаю, деяких кондитерських виробів, макаронних виробів та каш	15 – 25
Паперові відходи навчання	ВН	– використанні зошити – папір офісний, папір кольоровий	20 – 175 10 – 12
Пакування непродовольчих товарів	НТ	– елементи пакування одягу – пакування дрібних побутових приладів – пакування засобів гігієни	2 – 15 10 – 20 10 – 28
Картонні коробки поштових служб	КП	картонні коробки, які використовують Укрпошта та приватні поштові служби для транспортування посилок	150 – 400
Газети	Г	газети та рекламні листівки	10 – 45



а



б



в



г

Рис. 1. Зовнішній вигляд окремих складових паперових відходів, які утворюються в індивідуальних домогосподарствах

а – паперові та картонні відходи з-під лікарських засобів ; б – картонне пакування з-під харчових продуктів; в – паперові відходи, які утворюються під час навчання, в тому числі школярів, г – картонні відходи пакування непродовольчих товарів

Таблиця 2

Динаміка змін кількості кожної категорії паперових відходів

Найменування категорії відходів	Масові %, по роках				
	2019	2020	2021	2022	2023
ПЛ	10	13	15	13	12
ХП	13	15	15	14	12
ВН	34	28	25	15	20
НТ		18		14	17
КП	25	26	27	44	39
Г			<0,5%		

Аналіз даних таблиці 2 свідчить, що найбільші зміни у 2019–2023 роках стосувались таких категорій, як відходи навчання, для яких спостерігається тенденція до зменшення на 14%, якщо порівнювати 2019 та 2023 роки та картонне пакування, для яких

навпаки спостерігається тенденція до росту на 14% якщо порівнювати 2019 та 2023 роки. Збільшення на 2% кількості відходів пакування харчових продуктів у 2020 р. порівняно з 2019 р. автори роботи пов'язують з незначним збільшенням частки замовлень гото-

вої їжі, яке спостерігалось навесні 2020 р. у період найсуворіших карантинних обмежень. У наступні роки масова частка цієї категорії відходів майже не змінюється, що пов'язано з відсутністю на ринку принципово нових товарів у паперовому чи картонному пакуванні при збереженні традиційних товарів, які пакуються у картонні коробки – наприклад, чаю та готових сніданків типу кукурудзяних пластівців.

Для пошуку чинників, які впливають на зміни кількості певних категорій паперових відходів було проведено більш детально дослідження складу родин та способу їх життя.

Так, було визначено, що ключовим чинником збільшення кількості відходів пакування ліків у 2020 та 2021 роках була пандемія коронавірусу, а середня кількість таких типів відходів більша у родинах, де є діти або члени родини мають хронічні захворювання й потребують постійного медикаментозного супроводу (рис. 2а), тоді як пора року не має ключового впливу на кількість утворених відходів цієї категорії, оскільки по сезонах змінюються типи захворювань, а не кількість придбаних ліків (рис. 2б). Згідно проведених опитувань, 47% покупців ліків не читають паперову інструкцію, а 54% не використовують вторинне паперове чи картонне пакування при тривалому зберіганні ліків.

45% опитаних потенційно готові залишати інструкцію та картонне пакування безпосередньо в аптеках за наявності там спеціальних накопичувачів.

Для паперових відходів навчання головним чинником їх утворення є наявність дітей шкільного віку у родинах (рис. 3а), а також формат навчання – очне з відвідуванням школи наживо, дистанційний чи змішаний (рис. 3б). Наприклад, при введенні карантинних обмежень на відвідування шкіл у березні 2020 року й переходу на дистанційний формат навчання (онлайн) частина зошитів- так звані другий номер з кожного предмету- залишились у школах без потрапляння в загальний обсяг ВН, які утворились вдома. Це призвело до зменшення на 6% кількості утворених відходів цієї категорії у родинах у 2020 р. порівняно з 2019 р. (табл. 2).

У 2021 році переважна більшість школярів навчалась у змішаному форматі, оскільки в залежності від епідеміологічної ситуації у регіоні та в кожній окремій школі класи могли навчатися у дистанційному форматі до двох тижнів, потім знов відновлювалось очне навчання до наступного випадку захворювання на коронавірус. Вчителі вимушені були адаптувати проміжні контрольні заходи, певні види домашніх завдань під дистанційне навчання й поступово заміняли паперове рукописне виконання завдань

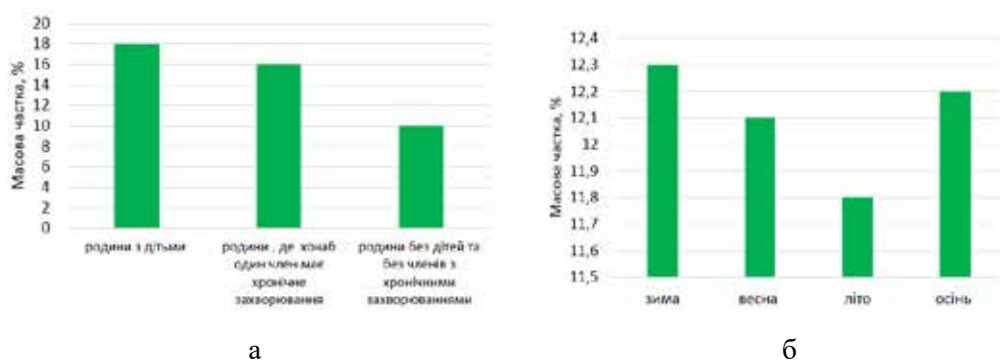


Рис. 2. Масова частка відходів пакування ліків в залежності від різних чинників

а – зміна кількості ПЛ в залежності від складу родини; б – сезонні коливання кількості ПЛ

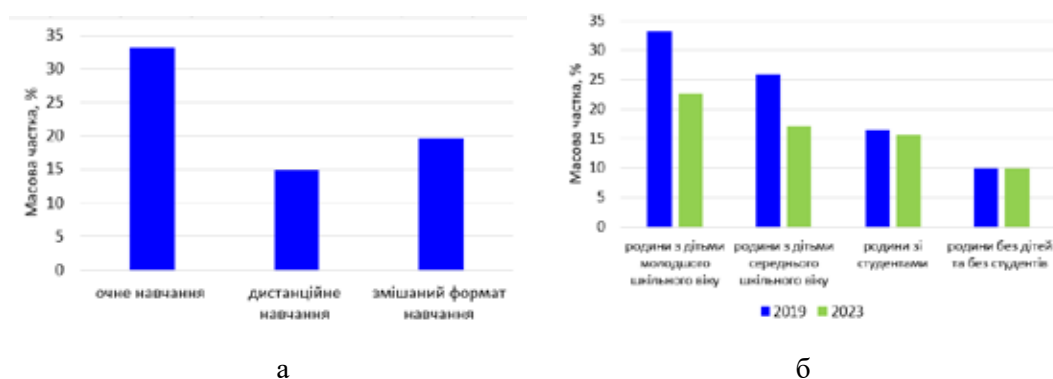


Рис. 3. Масова частка відходів навчання в залежності від різних чинників

а – кількість ВН в залежності від формату навчання у школі; б – кількість ВН в залежності від складу родин

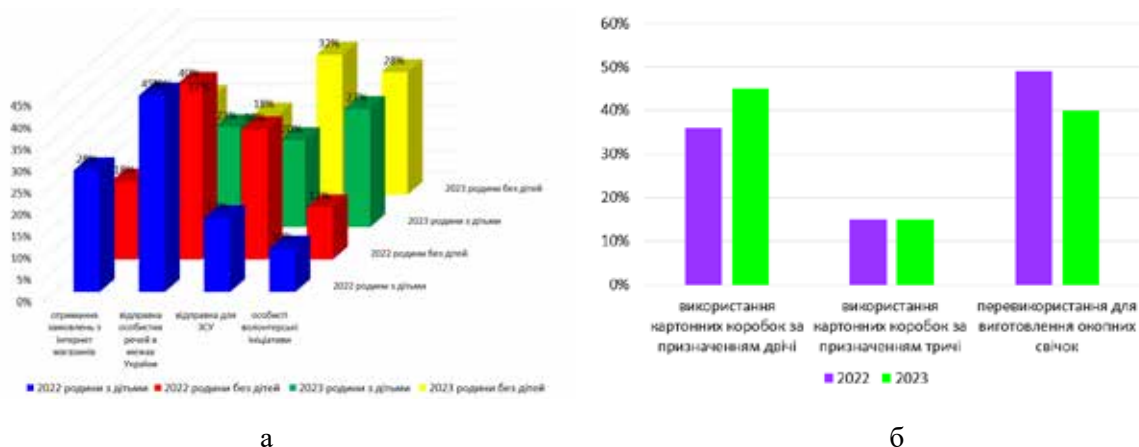


Рис. 4. Використання картонного пакування поштових операторів у 2022 та 2023 роках

а – причини використання поштових послуг; б – вторинне використання поштових картонних коробок

з наступним фотографуванням та розміщенням на онлайн платформах для навчання на тестові завдання з використанням таких платформ як «На урок», «Всеосвіта», «Classtime» тощо. Навіть у родинях, де є діти молодшого шкільного віку, для яких письмове виконання завдань з української та іноземної мови, математики є пріоритетним, спостерігається зменшення паперових відходів навчання на 10,5% у 2023 р. порівняно з 2019 р. Одним з чинників такої тенденції є наявність комплексу дійсно цікавих, різноманітних завдань та тренажерів на інтернет ресурсах, що дозволяє вчителю, навіть при відновленні очного навчання в безпечних регіонах України, частину домашніх завдань задавати для виконання на дистанційних платформах, особливо з таких предметів як «Я досліджую світ» та «Читання».

Збройний конфлікт в Україні став головним чинником збільшення картонних коробок, які використовуються для поштових відправлень. Згідно проведених досліджень (рис. 4а), саме у 2022 році найчастіше та найбільше здійснювали передачу поштою особистих речей у різні регіони України та отримання замовлень з інтернет магазинів. У 2023 році збільшилась частка відправлень у картонному пакуванні на фронт та в якості особистих волонтерських ініціатив, наприклад передача предметів одягу чи посуду людям, які втратили майно внаслідок військових дій (рис. 4а). Як в 2022, так й в 2023 році найчастіше пересилають особисті речі та купують речі в інтернет магазинах родин з дітьми, що на думку авторів напряму пов'язано з великою кількістю одягу у дітей та необхідністю оновлювати гардероб з-за швидкого росту дітей [9, с. 71]. Значна частина картонного пакування поштових служб вико-

ристовується декілька разів за прямим призначенням або для виготовлення онопних свічок (виключно так званий гофрокартон) (рис. 4б). Збільшення відсотка вторинного використання майже на 10% у 2023 році поштових коробок пов'язано, на думку авторів, з підвищенням цін поштовими операторами на послуги з їх пакування.

Головні висновки: Пандемія коронавірусу та збройний конфлікт в Україні є головними чинниками кількісних змін у морфологічному складі паперової фракції ТПВ, які утворюються безпосередньо у родинях. Наявність дітей шкільного віку, не залежно від форми навчання у закладах освіти, є головним чинником збільшеної кількості паперових відходів категорії «відходи навчання», при чому серед нього переважають шкільні зошити та зошити з друкованою основною. Позитивною тенденцією є зменшення кількості цієї категорії відходів, навіть при поверненні до очної форми навчання. Діти у родинях також сприяють збільшенню кількості відходів пакування ліків та частково вплинули на збільшення кількості використання картонних коробок поштових операторів під час збройного конфлікту.

Перспективи використання результатів дослідження. Стале поводження з ТПВ та окремими його фракціями базується на принципах зменшення кількості утворених відходів та розробці системи зручного та ефективного їх роздільного збору з метою подальшого вторинного використання. Отримані у роботі дані можуть бути використані при розробці системи роздільного збору ТПВ в окремих громадах з урахуванням необхідності встановлення накопичувачів для макулатури безпосередньо в місці її утворення, наприклад в аптеках чи навчальних закладах.

Література

1. Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р. *Офіційний вісник України*. 2017. № 94. Ст. 2859. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#Text>

2. Національна доповідь «Цілі сталого розвитку: Україна» / Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/natsionalna-dopovid-csr-Ukrainy.pdf> (дата звернення: 10.12.2024)
3. Коцюба І. Г., Стріха В. А., Давидова І. В. Дослідження сезонного морфологічного складу твердих побутових відходів м. Житомира. *Вісник НУВГП. Технічні науки : зб. наук. праць*. Рівне : НУВГП, 2016. Вип. 4(76). С. 312–319.
4. Ранський А. П., Коріненко Б.В. Морфологічний склад твердих побутових відходів та можливість їх переробки в умовах низькотемпературного піролізу *XLVIII науково-технічна конференція підрозділів ВНТУ*: збірник доповідей Вінниця: ВНТУ, 2019. С. 1616–1620. <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-ebmd/all-ebmd-2019/paper/view/6798>.
5. Золотар Л.В. Методи визначення об'єму та структури побутових відходів для житлових територій. *Містобудування та територіальне планування*. 2012. Вип. 45. С. 283–295.
6. Кравченко О.В., Сатін І.В., Шевченко Л.В., Панченко О.С. Вплив морфологічного складу твердих побутових відходів на видову структуру мікробіоценозів, що формуються в тілах полігонів. *Innovative Biosystems and Bioengineering : international scientific journal*. 2017. Vol. 2. No. 3. Pp. 203–209. <https://doi.org/10.20535/ibb.2018.2.3.146100>
7. Сатін І.О., Панченко О.С. Удосконалення методології дослідження морфологічного складу побутових відходів з урахуванням стратифікації. *Екологічна безпека та природокористування*. 2021. № 4 (40). С. 110–120. DOI:10.32347/2411-4049.2021.4.110-120
8. ДСТУ 3500:2019 Макулатура паперова та картонна. [Чинний від 07-01-2020], Київ, 2020. 14с. (Національний стандарт України).
9. Тихомирова Т.С., Крючкова В.В. Дослідження екологічних наслідків споживання текстильних виробів з магазинів типу «секонд-хенд». *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2023. № 6 (143). С. 68–74. DOI: 10.32782/1995-0519.2023.6.8

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У СФЕРІ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ

УДК 504.064:528.8:911.2(282.247.32)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.6-57.27>

ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ АНАЛІЗУ АНТРОПОГЕННИХ ЗМІН В БАСЕЙНІ РІЧКИ СЕРЕТ

Паланичко О.В., Волянюк К.М.

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
вул. Коцюбинського, 2, 58000, м. Чернівці
o.palanychko@chnu.edu.ua, volianiuk.kostiantyn@chnu.edu.ua

Розкрито результати дослідження змін природних та антропогенних умов формування басейну річки Серет. Проаналізовано вплив природних та антропогенних чинників на басейн річки. Описано існуючі методичні підходи та попередні дослідження науковців в басейні річки Серет. Для аналізу застосовано дані ДЗЗ та сучасні ГІС-технології. Досліджено особливості деформації русла та змін в басейні річки під впливом природних та антропогенних чинників. Визначено основні з них, які найбільше впливають. З аналізу дослідження умов розвитку руслових процесів річки Серет за період з 1861 по 2020 роки випливає, що русло річки є найбільш динамічним елементом рельєфу річкової долини. Зміни в руслі річки спостерігаються як поступові, так і дуже активні, що призводить до значних змін у рельєфі басейну. За результатами досліджень, проведених з використанням топографічних карт 1861 року та космоснімків високої роздільної здатності за 2005 і 2020 роки, було виявлено суттєві зміни природних та антропогенних умов в басейні річки Серет. Виявлено вздовж русла річки значний антропогенний вплив, що проявляється у спрямленні русла, побудові різних інженерних споруд, розростання площі міст, вирубуванні лісових насаджень та розорюванні в басейні річки. За допомогою відповідного програмного забезпечення Google Earth Engine встановлено, що з 2005 по 2020 роки площа вирубаних лісів у прибережних зонах річки склала 6,47 га. Таким чином, результати дослідження підкреслюють важливість комплексного підходу до управління водними ресурсами річки Серет, де необхідно враховувати як природні зміни, так і антропогенний вплив на басейн, для забезпечення сталого розвитку регіону. Використання сучасних технологій дистанційного зондування Землі та геоінформаційних систем відкриває нові горизонти для вивчення та моніторингу змін природних екосистем, що є дуже важливим у контексті охорони довкілля та сталого управління природними ресурсами. Отримані в ході досліджень результати дозволяють розробити ефективні стратегії управління для збереження даної екосистеми для майбутніх поколінь. *Ключові слова:* річка, Серет, русло, заплава, деформації, антропогенний вплив, урбанізація, знеліснення, дистанційне зондування Землі, сучасні технології.

Application of modern technologies for the analysis of anthropogenic changes in the Seret river basin. Palanychko O., Volianuk K.

The article reveals the results of the study of changes in the natural and anthropogenic conditions of the formation of the Seret River basin. The impact of natural and anthropogenic factors on the river basin is analyzed. The existing methodical approaches and preliminary studies of scientists in the Seret river basin are described. The satellite images and modern GIS technologies were used for the analysis. The peculiarities of the deformation of the channel and changes in the river basin under the influence of natural and anthropogenic factors were studied. The main ones that have the greatest impact have been identified. From the analysis of the study of the conditions of the development of channel processes of the Seret River for the period from 1861 to 2020, it follows that the river channel is the most dynamic element of the relief of the river valley. Changes in the course of the river are observed both gradually and very actively, which leads to significant changes in the topography of the basin. According to the results of research conducted using topographic maps of 1861 and high-resolution space photographs for 2005 and 2020, significant changes in natural and anthropogenic conditions in the Seret River basin were revealed. A significant anthropogenic influence was revealed along the channel, manifested in the straightening of the channel, the construction of various engineering structures, the expansion of the urban area, the felling of forest plantations and plowing in the river basin. Using Google Earth Engine we calculated that from 2005 to 2020, the area of cut down forests in the coastal zones of the river amounted to 6.47 hectares. Thus, the results of the study emphasize the importance of an integrated approach to water resources management of the Seret River, where it is necessary to take into account both natural changes and anthropogenic impact on the basin, to ensure the sustainable development of the region. The use of modern technologies of remote sensing of the Earth and geoinformation systems opens new horizons for studying and monitoring changes in natural ecosystems, which is very important in the context of environmental protection and sustainable management of natural resources. The results obtained during the research make it possible to develop effective management strategies to preserve this ecosystem for future generations. *Key words:* river, Seret, channel, flood, deformations, anthropogenic influence, urbanization, deforestation, remote sensing of the Earth, modern technologies.

Постановка проблеми. Зростання антропогенного навантаження на річкові системи є однією з найбільш актуальних проблем сьогодення. Сучасні гідрологічні дослідження, що стосуються вивчення малих рівнинних водотоків, мають важливе практичне значення. Басейн річки Серет, рівнинної

притоки річки Дністер, зазнає активного впливу людської діяльності, зокрема інтенсивного сільськогосподарського використання, урбанізації, промислових викидів, будівництва гідротехнічних споруд тощо. На жаль, це все призводить до порушення водного балансу, деградації природних екосистем, погіршення якості води та втрати біорізноманіття.

Актуальність дослідження. Відомо, що безперервна течія річок свідчить про добрий гідроекологічний стан та збереження річкових екосистем. У минулому більшість досліджень були спрямовані на проєктування та будівництво гідротехнічних споруд. В наш час увага зміщується на відновлення річок та їхніх екосистем, що є важливим для сталого розвитку країни та адаптації до кліматичних змін. Використання нових підходів, сучасних методів моніторингу та врахування досвіду країн Європейського Союзу є ключовим напрямом у цьому процесі. Варто зазначити, що саме сучасні методи моніторингу забезпечують високу точність і ефективність досліджень. Саме геоінформаційні системи (ГІС), дистанційне зондування Землі (ДЗЗ), супутниковий моніторинг і математичне моделювання дозволяють виявити та оцінити масштаби антропогенного впливу, динаміку змін у гідроекологічному стані річки та прогнозувати можливі наслідки. Застосування сучасних методів моніторингу є важливим кроком для збереження гідроекологічного стану річки Серет та інтеграції України у європейські стандарти управління водними ресурсами.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження річкових басейнів відіграє ключову роль у вивченні водних екосистем, а наявні знання у цій сфері слугують важливою основою для подальших наукових розвідок. З часом інтерес до річкових басейнів постійно зростає, а аналіз попередніх робіт демонструє широкий спектр актуальних питань – від якості води до впливу кліматичних змін на гідрологічні процеси. Різноманіття наукових підходів до вивчення річкових басейнів є необхідним для розуміння їх динаміки та екологічних взаємозв'язків. Отже, ретельне дослідження попередніх напрацювань є важливим для визначення пріоритетів науки та розробки ефективних стратегій управління водними ресурсами.

Мета дослідження полягає у науковому обґрунтуванні впровадження сучасних методів моніторингу для вивчення та мінімізації негативного впливу антропогенної діяльності на гідроекологічний стан басейну річки Серет. **Основні завдання:** провести аналіз основних джерел антропогенного навантаження у басейні річки Серет, визначити стан водних ресурсів за допомогою ГІС-технологій та дистанційного зондування Землі, оцінити вплив антропогенних факторів на гідроекологічний стан басейну річки та розробити рекомендації для відновлення та збереження водних екосистем річки Серет.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивчення басейну річки Серет є невід'ємною частиною сучасних наукових досліджень. Відомо, що перші узагальнюючі праці стосовно природних умов басейну річки Дністер, гідрографічної мережі, зокрема і Подільської його частини, з'явилися ще в середині XIX сторіччя. В основному це були монографії та енциклопедичні видання [1]. Геолого-геоморфологічна характеристика досліджуваного басейну річки Серет висвітлена у роботі Костюк О. [2]. Геоекологічні аспекти річки розкрито у праці Стецько Н.П. [3]. Ряд праць присвячених гідроекологічному стану Серету, а саме аналізу вмісту важких металів та гідрохімічних показників річки [4], впливу об'єктів малої гідроенергетики на якість води у річці [5,6]. В межах міжнародного проєкту «Громадська діяльність для ідеального навколишнього середовища в Західній Україні» у 2017 році [7] було здійснено дослідження якісного стану води у верхній течії досліджуваної річки. Також науковцями досліджувалися питання зарегульованості стоку річки [8], антропогенне навантаження на басейн [9-12], вивчено регіональні та басейнові особливості поширення малих і великих водосховищ [13]. Аналіз проведених досліджень басейну річки Серет свідчить про значні наукові зусилля, спрямовані на вивчення різноманітних аспектів цього водного об'єкта. Такий багатогранний підхід дозволяє не лише дослідити фізико-хімічні характеристики басейну, але й глибше зрозуміти його екологічні взаємозв'язки, створюючи цінну основу для подальших наукових робіт. Водночас, незважаючи на значну кількість наукових публікацій, дослідження здебільшого охоплюють окремі ділянки річки Серет, залишаючи інші території недостатньо вивченими.

Наукова новизна дослідження полягає у застосуванні комплексного підходу до моніторингу та аналізу гідроекологічного стану басейну річки з використанням інноваційних технологій. Практичне значення полягає у можливості впровадження отриманих результатів для оптимізації управління водними ресурсами регіону, розробки природоохоронних заходів для відновлення річкових екосистем, планування стійкого розвитку територій у басейні річки Серет.

Методологічне або загальнонаукове значення. Аналіз природних та антропогенних змін у басейні річки Серет ілюструє складність та динамічність цього екологічного середовища. Детальний аналіз допомагає виявляти довготривалі змін рельєфу, русла річки та прилеглих територій за допомогою сучасних методів дистанційного зондування землі з різноманітних супутників Sentinel-2, Landsat 1-5 MSS L1 та Landsat 8-9, та з використанням різного програмного забезпечення. Порівняння картографічних даних різних років дозволило оцінити не лише загальну тенденцію зміщення, а й визначити найбільш динамічні зони річкової системи. У ході

аналізу було виявлено похибки, пов'язані з прив'язкою старих карт до сучасних космоснімків, це було пов'язано із низькою деталізацією старих топографічних карт. Однак ці помилки вдалося мінімізувати завдяки використанню точних методів геоприв'язки та обробки зображень. Отримані дані є достатньо точними для правильної оцінки руслових процесів.

Для аналізу природних та антропогенних змін в басейні річки Серет були використані наступні методи наукових досліджень: порівняльний, картографічний та метод прогнозування. Для моніторингу впливу антропогенної діяльності на сучасний гідроекологічний стан басейну річки Серет ми використали топографічні карти масштабу 1:150 000 Імперії Габсбургів 1861 року (Galicia and Bucovina (1861–1864) – Second military survey of the Habsburg Empire) та космоснімки високої роздільної здатності за 2005 та 2020 роки отримані супутниками: Sentinel-2, Landsat 1-5 MSS L1 та Landsat 8-9 (зокрема використано EO Browser та Copernicus Browser). Для обробки космоснімків та карт застосовано програми ArcGIS Online, Quantum GIS та Google Earth Engine. Ці програми призначені для географічної візуалізації, картографії, дистанційного зондування та професійних застосувань. Вони дозволяють, за допомогою відповідних інструментів, вивчати географічні об'єкти, аналізувати зміни природних умов. Для проведення власних досліджень за основу нами були використані розроблені методики [16,17]. Відповідні методики дали можливість аналізувати зміни природних та антропогенних умов у басейні, також було здійснено тематичне картографування досліджуваних територій. Використовуючи Google Earth Engine ми порівняли та проаналізували інтенсивність та критичність знеліснення за вибрані роки.

Виклад основного матеріалу. Однією із найбільших приток Дністра в межах Тернопільської області є річка Серет (рис. 1). Річка має довжину 248 км, площа басейну 3900 км² (майже третина області). У верхній течії до м. Тернопіль долина річки широка й заболочена, а русло помірно звивисте. Нижче за течією від Тернополя долина звужується, а після села Буцнів стає звислою з крутими, переважно залісненими схилами. Варто зазначити, що геоморфологічна структура басейну річки Серет неоднорідна. На півночі басейну переважають м'які форми рельєфу, а на півдні, у нижній частині басейну, спостерігаються глибокі долини, що впливає на збільшення швидкості течії та форму врізання русла.

Антропогенний вплив на басейні рівнинних річок має значний вплив на їх гідрологічний режим, якість води, біорізноманіття та стійкість екосистем. Річка Серет є рівнинною, в басейні активно ведеться господарська діяльність. Для аналізу змін природних та антропогенних умов в басейні річки Серет було розроблено три ключові завдання, а саме: вивчити умови розвитку руслових процесів річки Серет; проаналізувати основні аспекти антропогенного наван-



Рис. 1. Басейн річки Серет

таження на басейн річки; оцінити ступінь урбанізації прибережних територій річки Серет.

Русла річок є найбільш динамічними елементами рельєфу річкових долин, які постійно змінюються з різною інтенсивністю. Ці процеси значно впливають на формування рельєфу річок. Знання закономірностей руслових деформацій є ключовим для прогнозування їхнього розвитку та оцінки можливих негативних наслідків, зокрема впливу на господарські об'єкти, екологічний стан річки та умови водокористування.

Варто зазначити, що дослідження динаміки русел рівнинних річок залишаються недостатньо поширеними в науковій практиці. Для аналізу руслових процесів річки Серет було використано програму Quantum GIS, що дозволило провести тематичне картографування території (рис. 2). Для відображення змін русла на топографічних картах і космічних знімках його контури були позначені різними кольорами, залежно від року: жовтим – 1861 рік, синім – 2005 рік, червоним – 2020 рік.

Антропогенний вплив на річки найбільш помітний у господарському освоєнні їхніх басейнів і регулюванні стоку. Аналіз знімків території за період з 1861 по 2020 рік свідчить про значну зміну форми русла річки Серет, що проявляється у спрямленні її русел уздовж всього потоку. Природні горизонтальні деформації включають переміщення русла в межах смуги руслоформування, зміну конфігурації та розмірів звивин, а також відновлення природного меандрування на ділянках, де русла раніше були спрямлені.

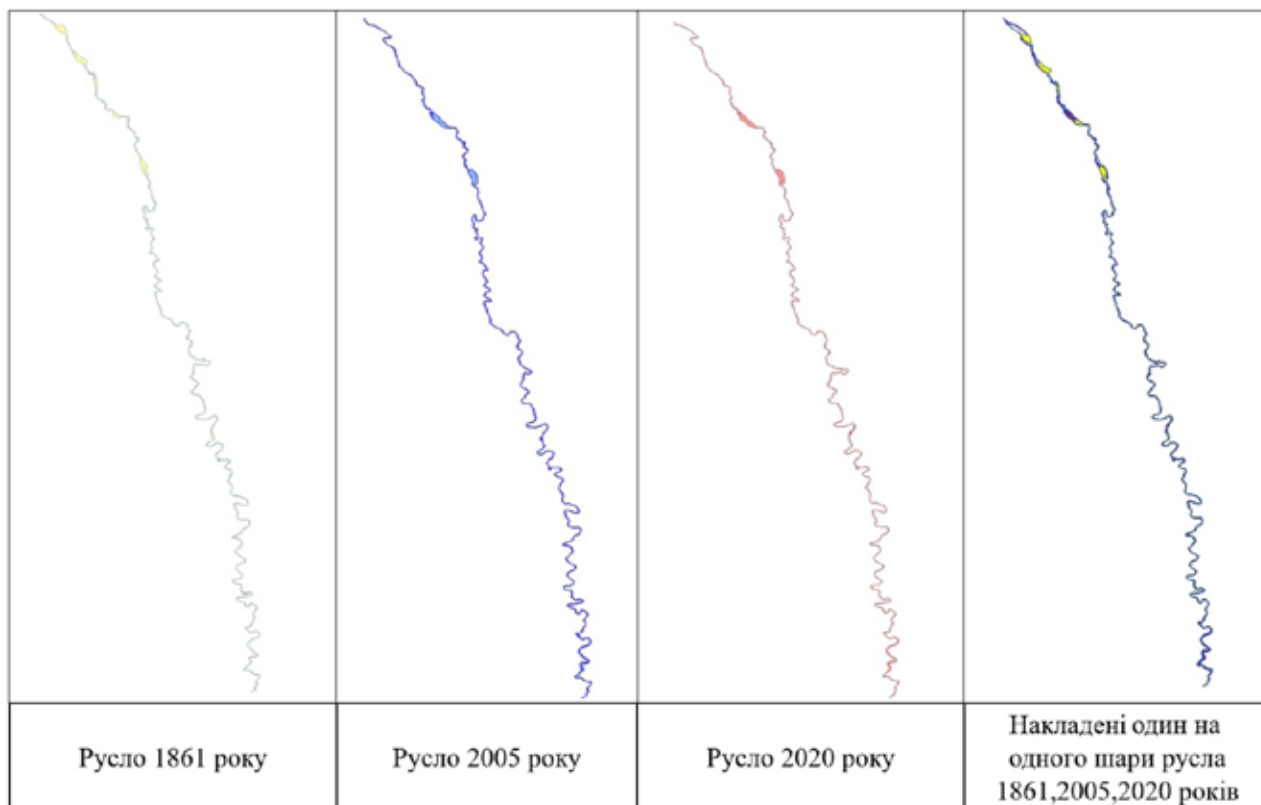


Рис. 2. Відображення русла річки Серет на топографічних картах та космознімках за 1861, 2005 і 2020 роки

Для детального аналізу динаміки русла було обрано шістнадцять ключових ділянок із найбільш вираженими змінами: Залізці, с. Кобзарівська, с. Івачів-Горішній, м. Тернопіль, с. Острів, с. Буцнів, с. Микулинці, с. Малів, с. Біла, м. Чортків, с. Росохач, с. Олексинці, с. Більче-Золоте, с. Касперівці, с. Щитівці та с. Городок.

Варто виділити три найбільш змінені ділянки, а саме у селі Буцнів, місті Тернопіль та Чортків. На знімках (рис. 3) жовтим кольором позначались території русла 1861 року, синім територію 2005 року, червоним територію 2020 року. Також додатково на знімках зеленим кольором позначались різноманітні інженерні споруди, заштрихованими кольорами позначались острови в руслі відповідно (жовтим – 1861, синім – 2005, червоним – 2020). Будівництво численних інженерних споруд в межах смуги руслоформування річки Серет також призводять до змін (рис. 4). В ході дослідження виявлено, що за період з 1861 по 2020 рік було побудовано 23 мости різного призначення.

Відомо, що Поділля, де протікає Серет, має високий рівень господарського освоєння (розораність 62%, лісистість 14,6%) та багато штучних водойм. Варто зазначити, що в басейні річки Серет розміщено 8 водосховищ із загальною площею водного плеса 2100 га. та повним об'ємом 57,4 млн. м³. Також у руслі річки є 8 малих гідроелектростанцій, всі руслового типу, із загальним виробленням електроенер-

гії 21,57 МВт. Вони розташовані в селах Горішній Івачів, Мишковиці, Долина, дві в селі Більче-Золоте, Скородинцях, Каперівцях та у місті Чортків [6]. В басейні річки Серет налічується 216 ставків загальною площею 1213 га. Ставки в основному використовуються для потреб сільського господарства та аквакультури. За проаналізованою інформацією стан більшості ставків у Тернопільській області незадовільний.

Процеси урбанізації територій з кожним роком набирають все більшого темпу. Вплив урбанізації на водні об'єкти визначається розвитком транспортної інфраструктури, масштабами забудови, створенням індустріальних парків та змінами у характері землекористування. Серед негативних наслідків урбанізації слід виділити збільшення поверхневого стоку, ерозію ґрунтів, зростання ризику повеней тощо. Багато з цих проблем пов'язані з вирубкою лісів. У межах нашого дослідження проаналізовано ступінь знеліснення прибережних територій річки Серет. Встановлено, що з 2005 по 2020 рік площа знеліснених прибережних зон зросла на 6,47 гектарів. Найбільші втрати лісових площ зафіксовано в таких населених пунктах: Залізці – 0,62 га, Чернихів – 0,29 га, Лучка – 0,38 га, Різдваїни – 1,01 га, Буданів – 0,74 га, Скородинці – 1,75 га, Монастирок – 1,50 га (рис. 5). Для оцінки збільшення площ урбанізованих територій було обрано міста Чортків і Тернопіль, розташовані в басейні річки Серет (рис. 6). Карти із

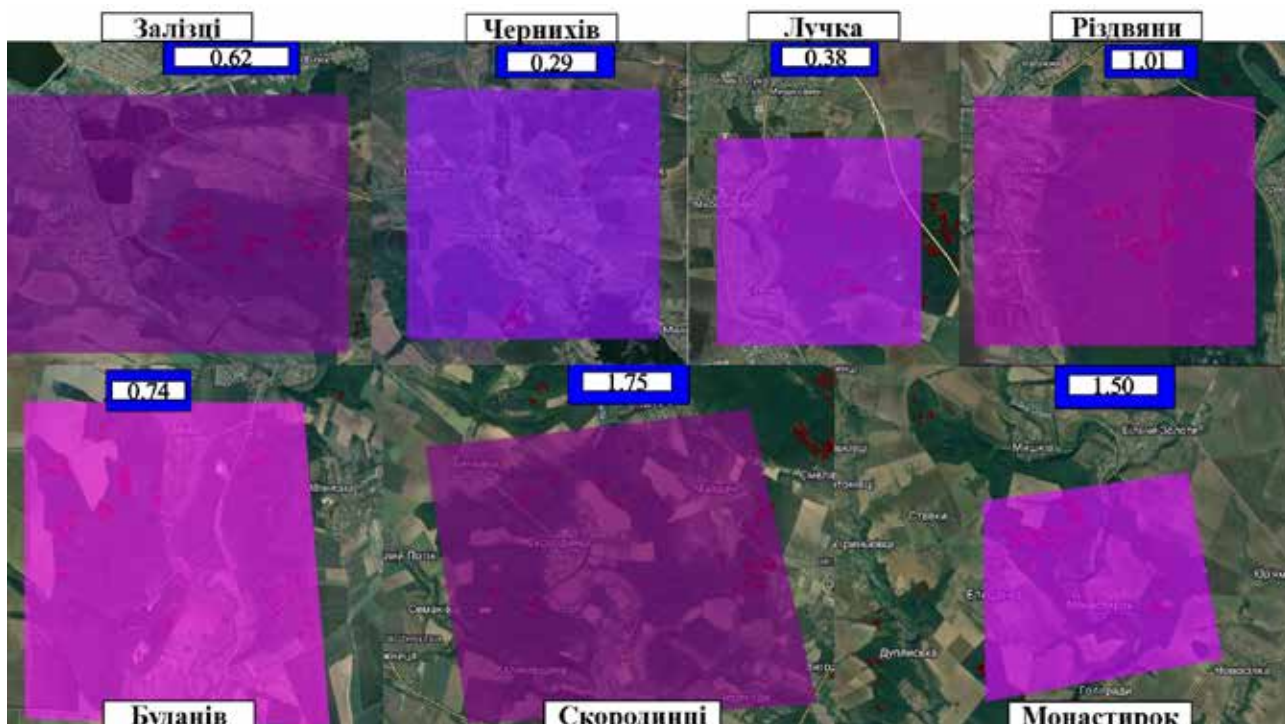


Рис. 5. Приклади площ найбільш знеліснених ділянок в окремих локаціях в басейні річки Серет

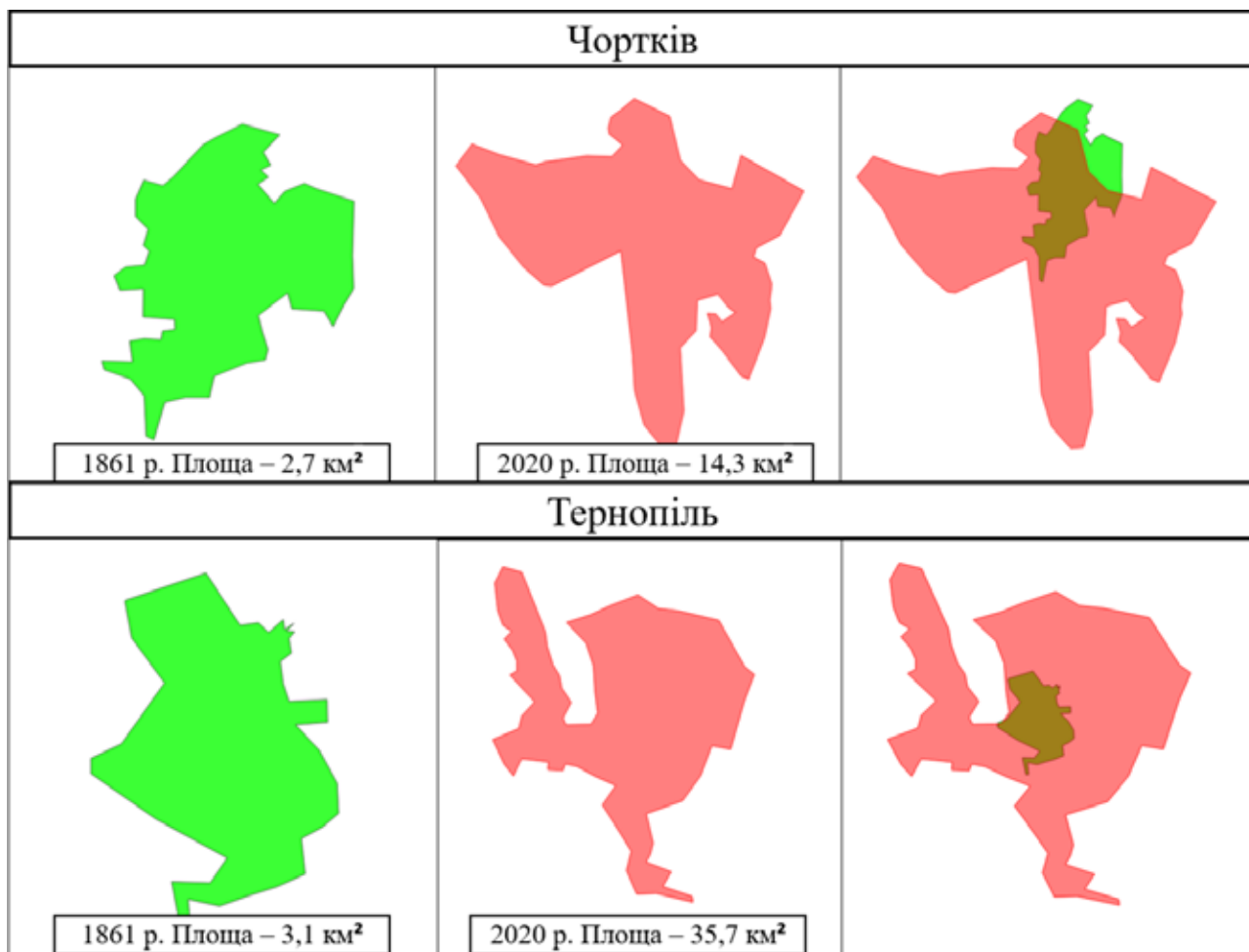


Рис. 6. Порівняння площ міст Чортків та Тернопіль

позначенням територій зеленим кольором (1861 рік) і червоним кольором (2020 рік) були створені за допомогою програми Quantum GIS. Аналіз показав, що за період з 1861 по 2020 рік площа міста Чортків зросла на 11,6 км², а площа міста Тернопіль – на 32,6 км².

Висновки. Проведене дослідження показало, що за аналізований період у басейні річки Серет відбулися значні зміни природного та антропогенного характеру. У зв'язку з цим виникає нагальна необхідність здійснення заходів із ревіталізації річки. Зокрема, слід обмежити господарське використання прибережних зон, оскільки надмірне освоєння

земель поблизу водойм сприяє посиленню ерозійних процесів і негативно впливає на гідрологічний стан річки.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані результати можуть слугувати основою для проведення комплексного аналізу штучних водойм і інженерних споруд у басейні річки Серет. У разі, якщо окремі об'єкти не мають важливого практичного значення, доцільно розглянути їх часткове або повне усунення. Подальші заходи мають бути спрямовані на відновлення змінених ділянок річки до умов, максимально наближених до природних.

Література

1. Słownik geograficzny Królestwa Polskiego i innych krajów słowiańskich / pod red. F. Sulimierskiego, B. Chlebowskiego, J. Krzywickiego i W. Walewskiego. T. II, Warszawa. 1881. 943 s.
2. Костюк О. Геолого-геоморфологічні особливості басейну річки Серет. *Вісник Київського національного університету ім. Т. Шевченка. Серія: Географія*. 2013. № 1(61). С. 61-63.
3. Стецько Н.П. Геокологічні дослідження верхньої течії річки Серет. *Наукові записки ТНПУ ім. В. Гнатюка. Серія: Географія*. 2018. № 2. С. 180-185.
4. Гуменюк Г.Б., Страшнюк Д.В., Дробик Н.М. Вміст важких металів і характеристика гідрохімічних показників у воді річки Серет поблизу Малашівського сміттєзвалища. *Наукові записки ТНПУ ім. В. Гнатюка. Серія: біологія*. 2015. № 1(62). С. 84-88.
5. Морозовська У., Пилипович О. Гідроекологічний аналіз річки Серет. *Проблеми геоморфології і палеографії Українських Карпат та прилеглих територій* : матеріали 12-й наук.-практ. сем. за міжн. уч., 25 листопада 2021 р. Львів: Львівський національний університет імені Івана Франка, 2021. С. 97-100.
6. Пилипович О., Морозовська У. Вплив об'єктів малої гідроенергетики на якість води у річці Серет (лівої притоки Дністра). *Географічна освіта і наука: виклики і поступ* : матеріали міжн. наук.-практ. конф., присві 140-річчю гео. у Львівському університеті., 18-20 травня 2023 р. Львів: Львівський національний університет імені Івана Франка, 2023. С. 118-122.
7. Чеболда І., Каплун І., Кузик І. Українсько-німецький проект «Громадська діяльність для ідеального навколишнього середовища в Західній Україні». *Наукові записки ТНПУ ім. В. Гнатюка. Серія: Географія*. 2017. № 2 (випуск 43). С. 190-196.
8. Кузик І.Р., Таранова Н.Б. Оцінка зарегульованості стоку річки Серет. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 2023. Вип. 70. С. 50-58.
9. Царик В.Л., Царик Л.П., Позняк І.Б. Екологічна небезпека зарегульованих водойм (на матеріалах Тернопільського ставу). *Наукові записки ТНПУ Серія: Географія*. 2017. № 2. С. 140-144.
10. Царик Л.П. Еколого-географічний аналіз і оцінювання території: теорія та практика: монографія. Тернопіль: Навчальна книга «Богдан», 2006. 256 с
11. Царик П., Вітенко І. Геокологічна ситуація долини річки Гнізна. *Наукові записки ТНПУ ім. В. Гнатюка. Серія: Географія*. 2007. № 1. С. 191-197.
12. Царик П., Вітенко І., Царик В. Річково-басейнові системи малих річок Західного Поділля в умовах антропогенних навантажень: порівняльний аналіз. *Наукові записки ТНПУ ім. В. Гнатюка. Серія: Географія*. 2022. № 2. С. 129-137. DOI: <https://doi.org/10.25128/2519-4577.22.2.17>
13. Гребінь В.В., Хільчевський В.К., Сташук В.А., Чунарьов О.В., Ярошевич О.С. Водний фонд України. Штучні водойми. Водосховища і ставки. За ред. В.К. Хільчевського, В.В. Гребеня Київ. Інтерпрес, 2014. 163 с.
14. Капуста Т.Я., Сивий М.Я., Бицюра Л.О. Аналіз стану вивченості річок басейну Дністра в межах Тернопільщини. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 2022. Вип. 66. С. 68-80.
15. Любінська Л., Любінський О., Касіяник І. Особливості сільськогосподарського землекористування в басейні річки Серет (на матеріалах Тернопільської області). *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Географія*. Тернопіль, 2018. Вип. 45. С. 192-198.
16. Бабійчук С.М., Гордієнко О.В., Томченко О.В., Коблюк Н.С., Голод В.І., Кучма Т.Л., Юрків Л.Я., Пікуль С.Т. Основи дистанційного зондування землі. Частина 3. Обробка та аналіз супутникових знімків на платформі Google Earth Engine. *Робочий зошит*. Київ: Національний центр «Мала академія наук України», 2023. С. 116-124.
17. Бабійчук С.М., Юрків Л.Я., Томченко О.В., Кучма Т.Л., Коблюк Н.С., Гордієнко О.В. Основи дистанційного зондування землі. Частина 1. Історія та практичне застосування. *Робочий зошит. 2-ге видання, доповнене і перероблене*. Київ: Національний центр «Мала академія наук України», 2023. С. 72-76.

УДК 504:574:630*43:004.91

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.6-57.28>

ДОСВІД МОНІТОРИНГУ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ НА КОНТИНЕНТАХ ЗАСОБАМИ ГІС

Сараненко І.І.

Херсонський державний університет
вул. Шевченка, 14, 76018, м. Івано-Франківськ
saranenkoinna@gmail.com

У статті аналізується динаміка поширення лісових пожеж на континентах та їх наслідки для навколишнього середовища, висвітлені перспективи використання інструментів геоінформаційних систем (ГІС) та технологій штучного інтелекту (ШІ) щодо прогнозування та запобігання їх виникненню.

Робота розглядає глобальні та регіональні аспекти проблеми, зокрема залежність масштабу пожеж від кліматичних та екологічних чинників. На основі даних NASA fire map, Global Forest Watch та ArcGIS Living Atlas та інших джерел виконаний моніторинг лісових пожеж у Північній та Південній Америці, Євразії, Австралії та Африці.

У період з червня по серпень 2024 року реєструвалися лісові пожежі, кліматичні умови та забруднення атмосфери за наступними показниками: кількість сповіщень; площа, га; вигорілих зелених насаджень, га; середня швидкість вітру; температура, °C; вологість повітря, %; опади, мм; CO, ppm; SO₂, мг/м³; маса пилу, мг/м³. Зафіксовано понад 61 тис. лісових пожеж, які знищили 154 млн. га землі та 23 млн. га лісових насаджень. Визначено, що найбільший вплив зазнали Африка та Південна Америка з найбільшою кількістю сповіщень (54283) й високим вмістом у повітрі чадного газу (230,5–404,1 ppm) і діоксиду сірки (4,2–2,9 мг/м³). Пошкоджено 123069410,1 га червоних фералітних, червоно-жовтих, коричневих і сіро-коричневих ґрунтів, 2555209,7 га постраждалих екваторіальних, тропічних і субтропічних лісів.

Особливу увагу приділено інноваційним методам боротьби з лісовими пожежами, які базуються на технологіях ШІ. Вони дозволяють здійснювати моніторинг територій, прогнозувати ризик виникнення пожеж, оптимізувати розподіл ресурсів і сприяти відновленню екосистем. Наприклад, система Alert California AI успішно використовує дані з камер і супутників для виявлення пожеж на ранніх стадіях.

Результати досліджень можуть бути використані для розробки регіональних планів протидії лісовим пожежам, удосконалення законодавчої бази, впровадження освітніх програм, створення інтегрованої системи управління з використанням ШІ, що сприятиме підвищенню ефективності природоохоронних заходів і адаптації до кліматичних змін. *Ключові слова:* лісові пожежі, континенти, геоінформаційні системи, моніторинг, забруднення повітря, кліматичні зміни, штучний інтелект, прогнозування, ефективне управління.

Experience of monitoring forest fires on continents by GIS means. Saranenko I.

The article analyzes the dynamics of the spread of forest fires on the continents and their consequences for the environment, highlights the prospects of using tools of geographic information systems (GIS) and technologies of artificial intelligence (AI) to forecast and prevent their occurrence.

The work considers global and regional aspects of the problem, in particular the dependence of the scale of fires on climatic and environmental factors. Based on data from NASA fire map, Global Forest Watch and ArcGIS Living Atlas and other sources, monitoring of forest fires in North and South America, Eurasia, Australia and Africa was carried out.

In the period from June to August 2024, forest fires, climatic conditions and atmospheric pollution were registered according to the following indicators: the number of notifications; area, ha; burnt green plantations, ha; average wind speed; temperature, °C; air humidity, %; precipitation, mm; CO, ppm; SO₂, mg/m³; mass of dust, mg/m³. More than 61,000 were recorded. forest fires that destroyed 154 million ha of land and 23 mln. ha of forest plantations. It was determined that Africa and South America were the most affected, with the largest number of notifications (54,283) and high levels of carbon monoxide (230.5–404.1 ppm) and sulfur dioxide (4.2–2.9 mg/m³) in the air. 123069410.1 hectares of red feralitic, red-yellow, brown and gray-brown soils were damaged, 2555209.7 hectares of equatorial, tropical and subtropical forests were damaged.

Special attention is paid to innovative methods of fighting forest fires, which are based on AI technologies. They allow you to monitor areas, predict the risk of fires, optimize the allocation of resources and promote the restoration of ecosystems. For example, the Alert California AI system successfully uses data from cameras and satellites to detect fires in the early stages.

Research results can be used to develop regional plans to combat forest fires, improve the legislative framework, implement educational programs, create an integrated management system using AI, which will contribute to increasing the effectiveness of environmental protection measures and adaptation to climate change. *Key words:* forest fires, continents, geoinformation systems, monitoring, air pollution, climate change, artificial intelligence, forecasting, effective management.

Постановка проблеми. Лісові пожежі є природним явищем, яке відіграє значну роль у функціонуванні екосистем, але їхня інтенсивність і частота значно зросли через антропогенні чинники та кліматичні зміни. Виникають серйозні екологічні, економічні та соціальні загрози, такі як втрата біоріз-

номаніття, деградація ґрунтів, забруднення повітря та глобальне потепління. Геоінформаційні системи (ГІС) забезпечують нові можливості для просторового аналізу, прогнозування та управління лісовими пожежами, тому що традиційні методи моніторингу пожеж обмежені в масштабності та оперативності.

Головною метою статті є аналіз динаміки розповсюдження лісових пожеж на континентах, їх впливу на якість повітря та огляд сучасних методів попередження і вивчення. Для досягнення поставленої мети виконані наступні завдання:

- аналіз даних з NASA fire map та додаткових джерел інформації щодо визначення динаміки та причин виникнення лісових пожеж;
- аналіз показників щоденного моніторингу;
- огляд сучасних методів на основі штучного інтелекту, які вже зараз допомагають людству відстежувати та боротися з пожежами.

Актуальність дослідження. У зв'язку із зростанням площ, охоплених пожежами та їх катастрофічними наслідками, дослідження механізмів виникнення і поширення пожеж та методів їхнього попередження є важливим для стійкості екосистем. Величезне значення має врахування регіональних особливостей кожного континенту, що впливає на характер пожеж і стратегії боротьби з ними.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Стаття спрямована на систематизацію знань про лісові пожежі як глобальну проблему, аналіз їхніх наслідків для різних континентів та пошук інноваційних підходів до їх запобігання. Дослідження сприяє підвищенню ефективності природоохоронних заходів і адаптації до змін клімату.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Будь-яка неконтрольована лісова пожежа є екологічним лихом та завдає шкоди всім сферам. Найчастіше вони виникають внаслідок діяльності людини через порушення пожежної безпеки, правил користування вогнем і вибухонебезпечними предметами [2]. Важливим показником є глобальне потепління. За даними Міжурядової групи експертів зі змін клімату (МГЕЗК) температура на планеті підвищилася на 1,5 °C порівняно з доіндустріальним періодом суспільства. За розрахунковими оцінками, діяльність людини є причиною глобального потепління приблизно вище на 1,0 °C з діапазоном від 0,8 °C до 1,2 °C. У період між 2030–2052 роками глобальне потепління може досягти 1,5 °C [3].

Згідно з даними NASA, лідером за виникненням пожеж у світі є регіони екваторіальної Африки. Також вогнем охоплені Північна і Південна Америка, Євразія, Африка, Австралія, Мадагаскар та острови Індонезії, а також Південна Америка з обох боків екватору [4, 5].

Перебіг лісових пожеж особливо ускладнений в країнах з великими просторами та малою щільністю населення (Австралія, Канада, США). Часто розвинені країни не в змозі їх вчасно зупинити, що завдає шкоди великій кількості гектарів лісових насаджень, нерідко перекидаються на населені пункти.

З використанням супутників стало відомо, що лише у бореальних лісах планети у 80-х роках минулого століття щорічно горіло близько 8 млн га

[5]. У 90-ті роки порівняно з 80-ми кількість лісових пожеж в Західній Європі зростає практично на 40%. У США та Канаді щорічно реєструють понад 150 тис. лісових пожеж [6]. Серед європейських країн за періоди 2000–2007 рр. та 2010–2019 рр. найбільше пожеж зафіксовано в Португалії та Іспанії (210–156 тис. і 19362 тис. – 11860 тис. випадків відповідно). Не менш напружена ситуація у Польщі, Франції, Італії, Швейцарії, де зареєстровано від 7188 до 3865 тис. випадків пожеж із загальною площею від 63 тис. га до 12 тис. га [6].

Для боротьби з пожежами використовуються системи моніторингу, наприклад, супутникові дані, проте ефективність таких заходів залежить від міжнародного співробітництва та місцевих ресурсів.

Спільний підхід до оцінювання пожежних ризиків для усіх країн Європи почав формуватися на початку двадцятих років XXI століття (San-Miguel-Ayanz et al. 2017, 2018) та визначив ризик пожежі як поєднання небезпеки й вразливості ділянок об'єктів історико-культурної спадщини, ідентифікованих цінностей для збереження, економічних чи соціальних ресурсів, що можуть бути локалізовані на території. Перед початком такої розбудови відбувалося широке обговорення національних підходів до оцінювання пожежних ризиків (проведено 36–43 зустрічі експертів з лісових пожеж впродовж 2017–2022 років). Авторами розробки є науковці JRC та EFFIS (Jacome Felix Oom D., Pfeiffer H., Branco A., Ferrari D., Grecchi R., Artes Vivancos T., Durrant T., Boca R., Maianti P., Liberta G. And San-Miguel-Ayanz J.) [1].

Сучасні дослідження висвітлюють зв'язок лісових пожеж із глобальним потеплінням (IPCC, 2021), вплив пожеж на вуглецевий баланс (Christopher Williams, Huan Gu, 2024), а також інноваційні методи прогнозування і контролю (Smith & Zhang, 2022).

Серед українських вчених стан охорони лісів від пожеж досліджував Зибцев С.В. (2000), динаміку ландшафтних пожеж та еколого-економічні наслідки їх виникнення вивчав Буц Ю.В. (2013), вплив лісових пожеж на стан водних екосистем визначали Рибалова О.В., Коробкіна К.М. (2018). Серед закордонних вчених відомі: Nagajvoti P.C., Lee K.D. and Sreekanth T.V.M. (2010), Niassy S. And Diarra K. (2012), Chris Dickman (2020).

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Попри значний прогрес у вивченні лісових пожеж, залишаються невирішеними питання щодо інтеграції регіональних даних у глобальні моделі, вдосконалення систем раннього сповіщення та економічної оцінки наслідків лісових пожеж для біорізноманіття та місцевих громад.

Новизна. У даній роботі проведений порівняльний аналіз впливу лісових пожеж на різних континентах та запропонований універсальний підхід до управління пожежами з урахуванням місцевих екологічних і соціальних умов.

Методологічне або загальнонаукове значення. Результати дослідження можуть бути використані для створення моделей, що враховують регіональні особливості та розробки стратегій адаптації екосистем до кліматичних змін. Це сприяє гармонізації міжнародної співпраці в галузі природоохоронної діяльності.

Викладення основного матеріалу. У період з червня по серпень 2024 року проведені щоденні спостереження за наступними показниками: кількість сповіщень про лісові пожежі; площа, га; швидкість вітру, м/с; вологість повітря,%; температура, °C; опади, мм; вміст CO, ppm; SO₂, мг/м³ (табл. 1). Визначені основні пошкоджені типи ґрунтів та видовий склад лісових насаджень (табл. 2).

Для визначення динаміки виникнення лісових пожеж застосовані такі ресурси як NASA fire map, Global Forest Watch та ArcGIS Living Atlas; проаналізовано Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa; кліматичні показники визначали на Windy.com; забруднення повітря на Waqi.info [4–7, 15]. Обробку результатів виконано у Microsoft Excel.

У результаті проведеного аналізу виявлено, що у період спостереження інтенсивність лісових пожеж висока. Вони супроводжуються значними викидами чадного газу та діоксиду сірки при високій температурі повітря. Вигорають величезні площі лісів та ґрунтів. Найбільша кількість сповіщень за період спостережень пролунала в Африці (329150,0) та Південній Америці (21368,0) з охопленням площі, га:

Таблиця 1

Показники моніторингу лісових пожеж на континентах

Показники моніторингу	Північна Америка	Південна Америка	Євразія	Австралія	Африка
Сумарні показники					
Кількість сповіщень	454,0	21 368,0	1710,0	4908,0	32 915,0
Площа, га	2084 028,3	85926 553,7	16353 280,1	12971 483,3	37142 856,4
Вигоріло зелених насаджень, га	8 847,1	2546 077,7	4830 495,6	6725 529,7	9132 549,3
Опади, мм	220,8	276,0	970,0	102,9	220,8
Середні показники					
Швидкість вітру, м/с	8,0	6,0	7,0	8,0	7,0
Вологість повітря, %	60,0	64,4	49,1	56,0	46,6
Температура, °C	+29,0	+25,0	+31,0	+24,0	+27,3
Вміст CO, ppm	169,3	404,1	169,6	93,1	230,5
Вміст SO ₂ , mg/m ³	3,4	2,9	3,4	0,7	4,2
Маса пилу, мг/м ³	4,0	4,0	58,6	0,5	0,5

Таблиця 2

Пошкоджені ґрунти та лісові насадження

Континент	Основні типи пошкоджених ґрунтів	Види рослин та лісових насаджень, що вигоріли
Північна Америка	жовтоземи, червоноземи, бурі лісові, червоно-жовті, каштанові, чорноземи	рослини зони вологих лісів: білий дуб, магнолія, болотний кипарис, чорний горіх, рододендрон; вічнозелених лісів: ялиці, юка, лимонне дерево
Південна Америка	червоні фералітні, червоно-жовті, коричневі і сіро коричневі	рослини екваторіальних лісів: пальми, гевеї, деревоподібні папороти, рослини субекваторіального поясу: злакові культури пшениці, кукурудзи та рослини тропічного поясу, чагарникові рослини та злаки
Євразія	червоні фералітні, коричневі і сіро коричневі, чорноземи степів і лісостепів, бурі лісові, сірі лісові.	лісові насадження ялини, дубу, ялиці, липи, модрина, зони мішаних та субтропічних лісів
Австралія	червоні фералітні ґрунти вологих лісів і високотравних саван, червоно-бурі саван, пустельні	лісові насадження акації австралійської, евкالیптів, деревоподібні папороти, кокосові пальми, банани, мангри
Африка	червоно-жовті фералітні вічнозелених лісів, червоні фералітні – ґрунти вологих лісів і саван, коричнево-червоні фералітні твердолистяних лісів, червоно-бурі ґрунти	види рослин та лісових насаджень акації зонтичної, мангрові зарості, олійні пальми, бананові дерева

37142 856,4 та 85926 553,7; вигорілих лісових насаджень, га: 9132 549,3 та 2546 077,7. Вміст чадного газу перевищував нормативні значення в десятки разів, ppm: 230,5 та 404,1. Близько 62% викидів CO₂ від лісових пожеж припадає на савану В Африці зафіксований високий вміст вміст SO₂, mg/m³ – 4,19; в Євразії концентрація пилу сягала – 58,6 мг/м³.

Потрібно зазначити, що лісові пожежі на сьогодні є джерелами CO та парникових газів, які постійно поповнюються.

Серед типів пошкоджених ґрунтів переважають червоні фералітні, червоно-жовті, коричневі і сіро-коричневі; серед вигорілих рослин – екваторіальні ліси: пальми, геветі, деревоподібні папороті; субекваторіальні: культури пшениці, кукурудзи та рослини тропічного поясу.

Визначено, що лісові пожежі різняться за масштабами і причинами в залежності від континенту. У Північній Америці значний вплив антропогенних чинників та часте виникнення пожеж у лісах помірного поясу. У Південній Америці лісові пожежі часто виникають у басейні Амазонки через вирубку лісів. В Австралії природний характер пожеж пов'язаний з особливостями клімату та рослинності. В Африці найбільший відсоток територій, охоплених пожежами, внаслідок наявності саванних екосистем. У Європі збільшення кількості пожеж у південних регіонах пов'язано зі зміною клімату. В Азії пожежі виникають внаслідок аграрної діяльності та неконтрольованих підпалів.

Штучний інтелект (ШІ) є відносно новою технологією широкого застосування цифрових технологій, зокрема, алгоритмів обробки великих масивів даних для удосконалення процесів забезпечення різних аспектів життєдіяльності суспільства. Тому застосування цієї технології досі не стандартизовано, немає чіткого визначення терміну «штучний інтелект», триває вивчення можливостей його застосування у різних сферах [8].

Специфікою надання послуг ШІ для аналізу причин та наслідків лісових пожеж є обробка великої кількості інформації й прогнозування погодних умов, температури та можливість вистежування вогнища і процеси після пожеж, що відкриває широкий спектр можливостей у аналізі причин виникнення та їх екологічних наслідків (рис. 1).

1. Моніторинг території. Системи штучного інтелекту аналізують дані з супутників, дронів або датчиків, щоб виявити можливі пожежі на ранніх стадіях [8, 9]. Як приклад, каліфорнійські вогнеборці розмістили на території лісів спеціальні камери, що слідкують і фіксують пожежі та одразу передають сигнал до відповідних служб. Програма має назву Alert California AI, яка була створена в партнерстві з Каліфорнійським університетом у Сан-Дієго. Система отримує дані з 1032 камер, які обертаються на 360 градусів [10].

2. Прогнозування ризику пожеж. Штучний інтелект використовує для аналізу кліматичні дані, рельєф місцевості, історію пожеж, супутникові знімки, тип рослинності та інших чинників для прогнозування ризику виникнення пожеж у певних районах. Отримані дані піддаються попередній обробці, а потім штучний інтелект використовує алгоритми машинного навчання для аналізу даних та вибору ознак, які найбільше впливають на ризик пожеж. Це може охоплювати виявлення кореляцій між різними параметрами. Після чого на отриманих даних будується модель прогнозування ризику пожежі. Це може бути класифікаційна модель, яка прогнозує ймовірність виникнення пожежі у певному районі або регресійна, що моделює потенційний розмір та поширення пожежі. Отриману модель потрібно протестувати, щоб оцінити її точність. У разі відповідності вимогам, вона може бути застосована для прогнозування ризику пожеж на нових даних [11].



Рис. 1. Схема ефективного управління лісовими пожежами

У світі вже існує досвід використання технологій штучного інтелекту для попередження та ліквідації пожеж.

1. Прогностичні моделі поведінки пожежі. Деякі наукові групи та компанії розробляють прогностичні моделі, які використовують штучний інтелект для прогнозування поведінки лісових пожеж у різних умовах. Наприклад, компанія Simtable використовує ігрові технології та штучний інтелект для моделювання розвитку пожеж та розробки стратегій ліквідації.

2. Системи моніторингу та раннього виявлення пожеж. Кілька компаній та наукових установ розробляють системи, які використовують штучний інтелект для аналізу даних з супутників, дронів та інших джерел. Наприклад, NASA спільно з іншими організаціями розробляє систему FUEGO (Fire Urgency Estimator in Geosynchronous Orbit) [12], яка використовує дані з супутників для виявлення лісових пожеж у реальному часі.

3. Системи керування пожежними ресурсами. Деякі рятувальні служби використовують системи штучного інтелекту для оптимізації розподілу ресурсів під час боротьби з лісовими пожежами. Наприклад, у місті Мельбурн (Австралія) введена система комп'ютерного моделювання, яка допомагає вогнеборцям приймати рішення щодо того, як краще розмішувати свої сили та ресурси [13, 14].

Головні висновки. За допомогою сучасних засобів ГІС проведений моніторинг виникнення лісових пожеж на континентах світу та визначені деякі показники щодо пожеж, клімату, забруднення повітря. Встановлено, що за період з червня по серпень 2024 року сумарно: кількість сповіщень склала – 61355; пожежами знищено площі землі – 154478202,0 га, зелених насаджень – 23243499,4 га. Найбільше шкоди лісові пожежі завдали Африці та Південній Америці, де спостерігався високий вміст чадного газу (230,5 та 404,1 ppm) і двоокису сірки (4,2 та 2,9 mg/m³), велике значення маси пилу спостерігалось в Євразії – 58,6 мг/м³, у тому числі внаслідок лісових пожеж.

Лісові пожежі є глобальною проблемою, яка вимагає комплексного підходу. Необхідно зосередити увагу на запобіганні виникненню небезпечних явищ, їх ефективному управлінню та вдосконаленню систем моніторингу, розробити світову ефективну систему управління пожежами з використанням технологій ШІ, яка б аналізувала поточну ситуацію, прогнозувала можливі наслідки, допомагала в ліквідації, супроводжувала відновлення екосистеми.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані результати можуть бути використані для розробки регіональних планів протидії лісовим пожежам, зокрема вдосконалення законодавчої бази та впровадження освітніх програм з екологічної безпеки.

Література

1. Kira M. Hoffman Conservation of Earth's biodiversity is embedded in Indigenous fire stewardship: Research article 2021 P. 45. URL: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2105073118> (дата звернення: 09.09.2024).
2. Лісові пожежі як екологічна проблема. *Karbon*: веб-сайт. URL: <https://karbon-cns.com.ua/uk/liisovii-pozhezhi-yak-ekologichniya-problema.html> (дата звернення: 03.09.2024).
2. Intergovernmental Panel on Climate Change. *IPCC*: веб-сайт. URL: <https://www.ipcc.ch/> (дата звернення: 03.09.2024).
3. NASA fire map URL: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/#d:2024-05-15;@47.4,0.0,2.7z> (дата звернення: 04.09.2024).
4. 5. Waqi.info. URL: <https://waqi.info/#/c/3.764/8.243/2z> (дата звернення: 05.09.2024).
5. Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2022. *JRC Publications Repository*: веб-сайт. URL: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC135226> (дата звернення: 07.09.2024).
6. ArcGIS Living Atlas. URL: <https://livingatlas.arcgis.com/en/home/> (дата звернення: 07.09.2024).
7. Штучний інтелект: *Дія. Освіта*. веб-сайт. URL: <https://osvita.dia.gov.ua/courses/artificial-intelligence> (дата звернення: 09.09.2024).
8. 9. Виявлення і моніторинг потенційно небезпечних пожеж на території України за даними супутникового сканування/ А.В. Орещенко, В.І. Осадчий, М.В. Савенець, В.О. Балабух: Вісник НАН України. 2020. № 11. С. 33-44. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/173800> (дата звернення: 09.09.2024).
9. У Каліфорнії почали застосовувати ШІ для виявлення потенційних пожеж. *UAINFO*: веб-сайт. URL: <https://ksu24.kspu.edu/s/JiX6p> (дата звернення: 10.05.2024).
10. Моніторинг і оцінка: базові поняття. *Основи здоров'язбережної компетентності. Курс підготовки вчителів*: веб-сайт. URL: <http://multycourse.com.ua/ua/page/21/45> (дата звернення: 10.10.2024).
11. FUEGO Fire Urgency Estimator in Geostationary Orbit. URL: <https://fuego.ssl.berkeley.edu/> (дата звернення: 11.05.2024).
12. Вчені розповіли як штучний інтелект допоможе уникнути екологічної катастрофи. *Noworries*: веб-сайт. URL: <https://ksu24.kspu.edu/s/xAAAH> (дата звернення: 13.10.2024).
13. Масштабні лісові пожежі у світі: статистика та причини загоряння. *UNN*: веб-сайт URL: <https://ksu24.kspu.edu/s/oCWRw> (дата звернення: 14.10.2024).
14. Global forest watch/ URL: <https://ksu24.kspu.edu/s/txiVA> (дата звернення: 15.10.2024).

ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ ОЗОНОМ: СТАРІ ПРОБЛЕМИ І НОВА ГІПОТЕЗА

Яковлев І.О.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ
yigor858@gmail.com

Дослідження окреслює проблеми забруднення водних ресурсів України, висвітлює методи знезараження води, серед яких озонування є одним з найбільш ефективних, хоча й має певні недоліки. Загальновідомо, що якість води – важливий фактор для забезпечення благополуччя людини та належного навколишнього середовища. Чиста вода необхідна для підтримки життя, здоров'я та добробуту людей. Однак сучасні методи очищення води часто не здатні повною мірою видалити всі забруднюючі речовини та мікроорганізми, які можуть бути присутніми у воді. З огляду на це існує велика потреба в розробленні нових ефективніших методів очищення води. Один з них – озонування води для знищення мікроорганізмів та інших забруднювачів. Традиційні технології озонування стикаються з проблемами, зокрема, це низька розчинність озону, утворення токсичних побічних продуктів та високі енергетичні витрати. У зв'язку з цим, виникає необхідність використання нових технологічних рішень. Запропонований новий метод озонування, заснований на принципі «не озон у воду, а воду в озон», має потенціал значно підвищити ефективність знезараження, зменшити витрати на енергію та знизити ризик утворення небезпечних відходів. Такий підхід дозволяє повторне використання стічних вод, що є актуальним завданням для багатьох країн, у тому числі і для України. Дослідження засвідчує – новий метод, що використовує озоновий реактор зворотньо-зустрічної дії, забезпечує глибоке очищення води від забруднень. Результати випробувань показали його високу ефективність у порівнянні з традиційними методами. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на оптимізацію технології та її впровадження в муніципальні системи водопостачання та обробки стічних вод, що має значний соціальний та екологічний ефект. Новий метод озонування може допомогти ефективно очистити стічні води, зменшити забруднення води та поліпшити стан навколишнього середовища.

Ключові слова: забруднення води, знезараження, озонування, екологічно чисті технології, озоновий реактор.

Ozone disinfection of water: old problems and a new hypothesis. Yakovlev I.

It is widely acknowledged that water quality plays a pivotal role in safeguarding human and environmental well-being. Clean water is a vital necessity for the sustenance of human life, health, and well-being. However, the current suite of water treatment methods is frequently unable to completely remove all contaminants and microorganisms that may be present in water. In this regard, there is a significant need for the development of new, effective methods of water purification. One such method is water ozonation, which is employed to destroy microorganisms and other pollutants. This article presents a study of the issue of water pollution, with a particular focus on the efficacy of water disinfection methods, including ozonation, which is regarded as one of the most effective, but which also has certain drawbacks. Conventional ozonation techniques encounter challenges such as low ozone solubility, the generation of toxic by-products, and elevated energy expenditures. In light of these considerations, the development of novel technological solutions is imperative. The proposed new method of ozonation, based on the principle of “not ozone to water, but water to ozone,” has the potential to significantly enhance the efficiency of disinfection, reduce energy costs, and mitigate the risk of hazardous waste generation. This approach may also facilitate the reuse of wastewater, which is an urgent task for many countries, including Ukraine. The study validates the efficacy of the novel method, which employs a reverse-action ozone reactor, in achieving comprehensive water purification from contaminants. The test outcomes substantiate its superior performance in comparison to conventional techniques. Further investigation could be directed towards the optimization of the technology and its integration into municipal water supply and wastewater treatment systems, which would have a substantial social and environmental impact. The innovative ozonation approach can facilitate the effective treatment of wastewater, reduce water pollution, and enhance the environment. *Key words:* water pollution, disinfection, ozonation, environmentally friendly technologies, ozone reactor.

Постановка проблеми. Проблема знезараження води є актуальною та глобальною проблемою, особливо в умовах зростання населення, промислового розвитку, урбанізації та воєнних дій. Одним із визнаних ефективних методів знезараження води є озонування, яке, попри свою ефективність, має низку суттєвих недоліків, які потребують усунення для підвищення якості води.

Ефективність озону як окислювача і дезінфікуючого засобу стала поштовхом до впровадження його в водоочищення вже більш ніж століття. Останнім часом озонування викликало інтерес до інших застосувань, включаючи очищення стічних вод,

де озон використовується для зменшення мікрозабруднювачів. Як і у випадку з іншими окислювачами, утворення побічних продуктів дезінфекції під час озонування неминуче. Побічними продуктами дезінфекції, що утворюються в процесі озонування, можуть бути альдегіди, кетони, карбонові кислоти, нітрозаміни та бромат. Залежно від водної матриці та якості, склад побічних продуктів може змінюватися. В свою чергу, в залежності від цілей очищення та властивостей води, можуть застосовуватися різні стратегії пом'якшення наслідків, щоб перешкодити утворенню критичних побічних продуктів.

Всебічне механістичне розуміння реакцій озонування має вирішальне значення для точного прогнозування шляхів реакції та ідентифікації продуктів окислення. Нинішній брак таких знань обмежує потенціал для оптимізації процесу озонування і зменшення його неефективності, що підкреслює необхідність нових досліджень і розробок.

Актуальність дослідження. Зростаюча потреба у використанні екологічно чистих методів знезараження води зумовлює необхідність подальшого вдосконалення існуючих технологій. Озонування води є перспективним методом, проте потребує нових підходів для подолання наявних труднощів.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Це дослідження спрямоване на вирішення важливої наукової та практичної проблеми, пов'язаної із удосконаленням методів знезараження води. Запропонований новий метод озонування має потенціал для значного покращення процесу знезараження, забезпечуючи високу ефективність при зменшенні негативних побічних ефектів.

Запропонований авторами новий метод озонування безпосередньо пов'язаний з вирішенням важливої науково-практичної проблеми в галузі водопідготовки. Традиційні методи озонування мають суттєві недоліки, такі як низька розчинність озону у воді, утворення токсичних побічних продуктів, високі енерговитрати та вартість обладнання. Ці проблеми обмежують їх ефективність і безпеку в масштабах, необхідних для забезпечення якості води.

Пропонований метод, заснований на принципі «озон до води, а не вода до озону» є інноваційним до процесу обробки води озоном. Застосування даного методу підвищує ефективність дезінфекції, зменшує витрати енергії та знижує ризик утворення небезпечних відходів. Якщо цей метод буде впроваджено на практиці, це стане важливим кроком вперед у розвитку екологічно чистих технологій, які відповідають сучасним вимогам охорони навколишнього середовища.

Крім того, новий метод допоможе вирішити проблему повторного використання стічних вод, що є актуальним питанням у багатьох країнах світу, в тому числі і в Україні. Це, в свою чергу, зменшить забруднення поверхневих вод та забезпечить сталість водопостачання.

Таким чином, дослідження автора не тільки відповідає на існуючі виклики в галузі водопідготовки, але й відкриває нові перспективи для досліджень і практичних застосувань, що мають значний соціальний та екологічний вплив.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останні дослідження свідчать, що впровадження озону у сферу водопідготовки можна віднести до перших десятиліть 20-го століття. Тим не менш, застосування хлорування у водопідготовці залишалося домінуючим підходом протягом декількох десяти-

тиліть 20-го століття. Одним з основних факторів, що сприяють використанню хлору для очищення води, є його здатність утворювати досить тривалий залишковий дезінфікуючий засіб, який перешкоджає розмноженню мікробів у воді. Однак, виявлення галогенованих побічних продуктів дезінфекції в хлорованій воді та подальші дослідження їхньої токсичності викликали занепокоєння щодо ризиків для здоров'я, пов'язаних із впливом хлорування. Це призвело до підвищення інтересу до дезінфікуючих засобів, в тому числі озону, як альтернативи хлору [1].

Дослідження Soham Joshi та Anita Kumari підтверджують ефективність озонування, як методу знезараження стічних вод, оскільки озон ефективніше, ніж хлор, знищує віруси та бактерії. Крім того, процес озонування вимагає короткого контактного часу (приблизно від 10 до 30 хвилин), озон швидко розкладається, відсутні шкідливі залишки. Також після озонування не відбувається відростання мікроорганізмів за винятком тих, які захищені частинками в потоці стічних вод. Крім того, озон виробляється на місці, і, таким чином, існує менше проблем безпеки, пов'язаних із транспортуванням і обробкою [2].

Підтверджуючи високу ефективність озону у знищенні вірусів, бактерій та інших патогенних організмів роботи Іванько О.М. та інших авторів підкреслюють, що озонування є одним з найбільш ефективних методів, здатних забезпечити глибоке очищення води [3].

Дослідження щодо оцінки результативності використання озону для очищення води для знищення мікроорганізмів та інших забруднювачів у воді виконали такі автори як М. Martinelli та ін. Вони провели серію експериментальних досліджень для оцінки антимікробного впливу озонування на воду у боротьбі із такими мікроорганізмами як *E. coli*, *S. aureus*, *P. aeruginosa*, *S. faecalis* і *Legionella pneumophila* (*L. pneumophila*). Результати цих досліджень свідчать про ефективність очищення води за допомогою озонування. Зокрема, після 20 хвилин обробки озоном було зафіксоване значне скорочення *S. aureus* і *S. faecalis*. *L. pneumophila*. Озон мав меншу дію на *P. aeruginosa* та, на *E. coli*, хоча останній мікроорганізм вважається одним із найбільш чутливих до озону бактерій. Проте досягнута ефективність очищення за цим методом залежить від концентрації та тривалості контакту з озоном [4].

Озон стає популярним дезінфікуючим засобом для питної води, як через його доведену ефективність у знищенні мікробів, так і через те, що він не залишає похідних і будь-яких залишків [5].

Dan Niu та ін. у своїй роботі відзначають, що процес озонування є ефективним для дезінфекції питної води, окислення органічних речовин разом із мікробозабруднювачами та видалення запаху та кольору при обробці води. Інші переваги озону в обробці води включають покращення коагуляції, відстоювання

та фільтрації. Одним із висновків є те, що в процесі озонування передозування не є економічним, а також може призвести до небажаних проблем зі здоров'ям через високий рівень побічних продуктів дезінфекції. Тоді як недостатнє дозування не може гарантувати видалення з'єднань водної матриці і, таким чином, проводити ненадійну дезінфекцію [6].

Розчинність озону у воді набагато вища, ніж розчинність кисню, що свідчить про те, що його можна надійно застосовувати для очищення води та стічних вод [7]. Оскільки інтерес до повторного використання води та екологічного захисту водних шляхів зростає, озонування все частіше включається в передові процеси очищення стічних вод для окислення мікробруднівачів озonom і гідроксильними радикалами. Однак, під час озонування вод, що містять бром, окислення бромідів озonom призводить до утворення броматів, що є проблемою для здоров'я людини та довкілля [8].

Els Schuman та ін. також вважають, що озонування є однією з придатних технологій для видалення мікробруднівачів зі стічних вод. Однак, окрім значного покращення якості води після озонування, також можуть утворюватися продукти окислення, деякі з яких можуть мати потенційно негативний вплив на якість поверхневих вод або на джерела питної води [9].

Аналіз останніх публікацій свідчить про високу ефективність озону для очищення води, що робить його переважним методом порівняно з традиційним хлоруванням. Незважаючи на численні переваги, процес озонування супроводжується ризиками утворення небезпечних побічних продуктів окислення, що може негативно впливати на якість води. В умовах зростаючого інтересу до повторного використання води та охорони водних ресурсів, озонування набуває значення як ефективна технологія для видалення мікробруднівачів зі стічних вод. Однак, необхідно враховувати потенційні ризики, пов'язані з окисленням бромідів, що може призводити до утворення броматів.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Аналіз наявного практичного досвіду знезараження стічних вод показує, що в даний час інтенсивно розробляються екологічно безпечні методи знезараження стічних вод як альтернатива хлорному знезараженню. Водночас, технології та обладнання, які використовують для знезараження стічних вод, не завжди забезпечують необхідний ступінь її очищення та знезараження і мають побічні наслідки для навколишнього середовища.

Це підкреслює важливість подальших досліджень у цій галузі, спрямованих на вдосконалення існуючих технологій та розробку нових, більш ефективних і безпечних методів очищення.

Новизна. Пропонується робоча гіпотеза у якій автор припускає, що зміна способу озонування води, зі способу «озон у воду» на спосіб «воду в озон»,

позбавить технологію знезараження води «принципових труднощів» [3], які властиві технології барботування води озonom.

Новий метод подачі дрібно диспергованої води у порожнину реактора, з високою концентрацією озону і подальше проходження води через повітряно-озонове середовище [10] дозволяє отримати на виході очищену воду, у якій відсутні недоліки та «принципові труднощі» [3] традиційного методу озонування води барботуванням.

Методологічне або загальнонаукове значення. Дослідження є важливим з методологічної точки зору, оскільки представляє новий підхід до озонування води. Цей підхід може послужити основою для подальших наукових і прикладних досліджень у галузі екологічно чистих технологій очищення води.

Викладення основного матеріалу. На сьогодні, в системах знезараження стічних вод у більшості випадків застосовують озонування способом барботування, що є доволі технічно складним і для його реалізації необхідне виконання ряду послідовних технологічних операцій, таких як: очищення повітря, його охолодження та сушіння, змішування озono-повітряної суміші з водою, шляхом подачі озону у сміть з водою, яка обробляється, відведення та деструкція залишкової озono-повітряної суміші, виведення їх у атмосферу. Крім того, необхідно багато допоміжних процесів та устаткування [3]. Що значно здорощує даний метод знезараження стічних вод через потребу великогабаритного і дороговартісного обладнання, матеріалів і сервісного обслуговування.

Натомість, прикладом реалізації нового методу, у якому відсутні допоміжні процеси і великогабаритне устаткування, що працює саме у новий спосіб [10], є установка знезараження води на базі озонного реактора зворотно-зустрічної дії (ОРЗЗД) [10].

Установка (ОРЗЗД) містить насос подачі брудної води (1), блок форсунок (2), генератор озону (3), озонний реактор зворотно-зустрічної дії (4) вода, яка підлягає очищенню, подається насосом (1) до блоку форсунок (2) і розпилюється вертикально у порожнині реактора (4). У свою чергу у порожнину реактора (4), від генератора озону (3), примусово, вертикально вниз, назустріч водно-озонній суміші подається озono-повітряна суміш, за рахунок чого досягається процес інтенсивної зворотно-зустрічної циркуляції дрібно диспергованої водно-озонової та озono-повітряної сумішей (рис. 1).

Важливо, що новий метод озонування дозволяє обробити (пропустити через реактор) на порядок більшу кількість води, при менших енергетичних затратах.

Більш того, знезараження води відбувається у проточному режимі і не потребує великогабаритного і дороговартісного обладнання – багатокубових ємностей, так само, як і деструкторів для утилізації

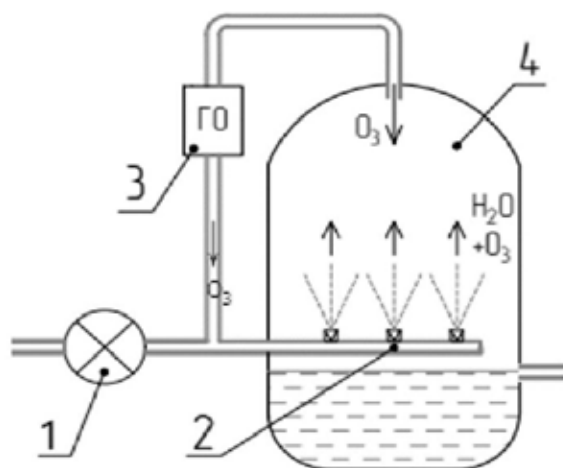


Рис. 1. Схема озонного реактора зворотньо-зустрічної дії (ОРЗЗД)

надлишкового озону, а також, приборів контролю озону у повітрі.

У рамках проведених мікробіологічних і хіміко-аналітичних випробувань нового методу, на стічних водах закритого плавального басейну, виявлена його здатність здійснювати глибоке очищення води від зважених часток, розчинених сполук хлору, органічних сполук, практично повністю вдалося усунути кольоровість, мутність води і сторонні запахи.

Також, підтвердилися припущення автора, що у процесі обробки води новим методом не утворюються токсичні і канцерогенні речовини, у очищеній воді відсутній залишковий озон, рН води знаходився у межах 7,5 одиниць.

Вартий уваги і той факт, що у приміщенні басейну концентрація озону у повітрі відповідало нормам ГДК, без додаткового застосування деструкторів озону.

Згідно протоколів випробувань ДП «Київського обласного центру контролю та профілактики хвороб МОЗ», які здійснювалися протягом 12 місяців, вода, очищена через озонний реактор (ОРЗЗД), у чаші плавального басейну повністю відповідала санітарним вимогам ДСанПіН.

Створення нового інноваційного обладнання, а саме озонного реактора зворотньо-зустрічної дії (ОРЗЗД) зокрема дозволило на практиці перевірити теоретичні припущення висунуті у робочій гіпотезі: новий метод озонування, а саме проходження дрібно диспергованої води через повітрянно-озонову суміш у ємності реактора, дозволяє отримати кращі показники знезараження води і усунути проблеми (недоліки) традиційного методу барботування води озonom.

Висновки. Проведенні науково-практичні дослідження і отриманні результати дозволяють автору висунути робочу гіпотезу: новий метод озонування, а саме проходження диспергованої води через повітрянно-озонову суміш у ємності реактора, дозволяє отримати кращі показники знезараження води і усунути проблеми (принципові труднощі [3]) традиційного методу барботування води озonom.

Науково-практичні дослідження підтвердили ефективність нового методу озонування, який дозволяє досягти кращих показників знезараження води у порівнянні з традиційним методом барботування. Новий підхід дозволяє усунути основні недоліки існуючих технологій і забезпечує гарантований антимікробний бар'єр.

Запропонований метод озонування має потенціал для широкого впровадження у системах водопостачання та обробки стічних вод. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на оптимізацію технології та розширення її застосування для різних типів води.

Література

- Manasfi T. Ozonation in drinking water treatment: an overview of general and practical aspects, mechanisms, kinetics, and byproduct formation. *Comprehensive Analytical Chemistry. Elsevier*. 2021. № 92. P. 85-116. <https://doi.org/10.1016/bs.coac.2021.02.003>.
- Joshi S., Kumari A. Ozonation and its Application in Wastewater Treatment. *International Journal For Multidisciplinary Research*. 2023. № 5. <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2023.v05i06.8814>
- Іванько О.М., Бабієнко В.В., Кримець Г.В. Знезараження стічних вод – сучасний погляд на проблему. *Актуальні проблеми транспортної медицини*. 2013. № 2(32). С. 54-63.
- Martinelli M., Giovannangeli F., Rotunno S., Trombetta C.M., Montomoli E. Water and air ozone treatment as an alternative sanitizing technology. *J Prev Med Hyg*. 2017. № 58(1):E48-E52. PMID: 28515631; PMCID: PMC5432778.
- Remondino M., Valdenassi L. Different Uses of Ozone: Environmental and Corporate Sustainability. Literature Review and Case Study. *Sustainability*. 2018. № 10(12):4783. <https://doi.org/10.3390/su10124783>.
- Niu D., Wang X., Chen X., Ding L., Yang J., Jiang F. Optimized dosage control of the ozonation process in drinking water treatment. *Measurement and Control*. 2021. № 54(5-6):692-700. <https://doi.org/10.1177/00202940211007164>.
- Wei Chaohai, Zhang Fengzhen, Hu Yun, Feng Chunhua Wu Haizhen. Ozonation in water treatment: the generation, basic properties of ozone and its practical application. *Chemical Engineering*. № 33(1). 2017. P. 49-89. <https://doi.org/10.1515/revce-2016-0008>.
- Morrison C. M., Hogard S., Pearce R., Mohan A., Dickenson E.R.V., Urs von Gunten, Wert E. C. Critical Review on Bromate Formation during Ozonation and Control Options for Its Minimization. *Environmental Science & Technology*. 2023. № 57 (47), 18393-18409. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c00538>.
- Schuman E., Bisschops I., Riedijk X., Wilt A. Literature study on oxidation products. 2022. URL: <http://surl.li/aeFuoh/> (дата звернення 13.11.2024).
- Спосіб очищення та знезараження води озонуванням: пат. 155164 Україна: МПК6 C02F1/78, № u202302714; заявл. 05.06.23; опубл. 24.01.24, Бюл. № 4/2024.

БІОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

УДК 579.67:641.4:53.096

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.6-57.30>

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ЗБЕРІГАННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ НА ДИНАМІКУ МІКРОБІОТИ

Крупей К.С.¹, Рильський О.Ф.², Семененко Т.Д.^{1,2}

¹Запорізький державний медико-фармацевтичний університет
пр. Маяковського, 26, 69000, м. Запоріжжя

²Запорізький національний університет
вул. Університетська, 66, 69600, м. Запоріжжя

krupeyznu@gmail.com, rylsky@ukr.net, semenenko.t.d@zsmu.edu.ua

В умовах нестабільного електропостачання в Україні забезпечення безпеки харчових продуктів стає особливо важливим завданням. Температура зберігання є одним із ключових чинників, що впливає на мікробіологічну стабільність м'ясної та молочної продукції. У цьому дослідженні автори дослідили вплив різних температурних режимів (холодильна й морозильна камери, кімнатне зберігання) на кількісний склад мікробіоти свіжого м'яса (куряче філе, свинина, яловичина), молока (свіже та пастеризоване) і твердого сиру.

У свіжому фабричному курячому філе (контроль) виявлено 2610 КУО/г бактерій, що у 2 рази більше ніж у яловичині і у 4,5 рази більше ніж у свинині.

При зберіганні в холодильнику протягом 3-х діб кількість бактерій у курячому філе та яловичині зросла у 15 разів, а у свинині – у 38 разів. У морозильній камері кількість мікроорганізмів у курячому філе та свинині була майже у 2 рази меншою ніж у зразках із холодильника. У яловичині, навпаки, їх стало у 1,2 рази більше.

У свіжому молоці містилося у 31 раз більше бактерій ніж в пастеризованому. Після 3-х діб зберігання на верхній полиці у холодильнику бактеріальне обсіменіння зросло у 1,5 рази для свіжого молока і в 9,2 рази для пастеризованого, тоді як на нижній полиці – у 2,2 і 3,3 рази, відповідно.

У твердому сирі, що зберігали за кімнатної температури, через 3 доби мікробна контамінація зросла у 4,6 рази (зразок № 1) і 2,3 рази (зразок № 2) порівняно з контролем. У холодильнику зміни були менш вираженими, що вказує на уповільнення розмноження мікроорганізмів.

Для забезпечення безпеки харчових продуктів в умовах частих відключень електроенергії рекомендуємо вживати комплексних заходів для зниження ризику їх мікробіологічного псування. У холодильнику слід підтримувати стабільно низьку температуру, не відкриваючи двері без необхідності, щоб зберегти внутрішній холод у разі відключення живлення. Важливо уникати встановлення холодильників поблизу джерел теплового випромінювання (батареї, духовки, обігрівачі), адже це сприяє підвищенню температури всередині пристрою і навантажує компресор. Влітку необхідно виставляти режим роботи холодильника на нижчі температури для створення додаткового запасу холоду.

Отримані результати підкреслюють актуальність розробки безпечних підходів до зберігання продуктів у контексті нестабільних умов енергопостачання та потенційних ризиків харчових отруєнь. *Ключові слова:* мікробіота, харчові продукти, температура, екологічний чинник, нестабільне електропостачання.

Influence of food storage temperature on microbiota dynamics. Krupiei K., Rylsky O., Semenenko T.

Due to the unstable electricity supply in Ukraine, ensuring food safety has become an especially important task. Storage temperature is a key factor affecting the microbiological stability of meat and dairy products. This study examines the effect of different temperature regimes (refrigerator, freezer, and room temperature) on the microbiota composition of fresh meat (chicken, pork, beef), milk (fresh and pasteurized), and hard cheese.

In fresh factory chicken fillet (control), 2610 CFU/g of bacteria were found, which is twice as many as in beef and 4.5 times more than in pork. When stored in the refrigerator for 3 days, the number of bacteria in chicken and beef increased 15 times, while in pork it increased 38 times. In the freezer, the number of microorganisms in chicken and pork was nearly half of that in the refrigerated samples. In beef, however, it increased by 1.2 times.

Fresh milk contained 31 times more bacteria than pasteurized milk. After 3 days of storage on the top shelf in the refrigerator, bacterial contamination increased by 1.5 times for fresh milk and 9.2 times for pasteurized milk, while on the bottom shelf it increased by 2.2 and 3.3 times, respectively.

In hard cheese stored at room temperature, microbial contamination increased by 4.6 times (sample No 1) and 2.3 times (sample No 2) after three days. In the refrigerator, the changes were less pronounced, indicating a slowdown in microorganism growth.

To ensure the safety of food products during frequent power outages, we recommend implementing comprehensive measures to minimize the risk of microbial spoilage. It is essential to maintain a consistently low temperature in the refrigerator and to avoid opening the door unnecessarily to preserve internal cooling in case of power loss. Refrigerators should not be placed near heat sources such as radiators, ovens, or heaters, as this increases the internal temperature and places additional strain on the compressor. During summer, it is advisable to set the refrigerator to lower temperatures to create a reserve of cold. For products requiring thawing, safe methods like cold water or a microwave should be employed immediately before cooking. Refreezing products after thawing is inadvisable, as it significantly increases microbial growth.

The results highlight the importance of developing safe food storage practices in the context of unstable energy supply conditions and potential food poisoning risks. *Key words:* microbiota, food, temperature, environmental factor, unstable power supply.

Постановка проблеми. Зберігання харчових продуктів за умов порушення стабільного енергопостачання є актуальною проблемою в Україні, де через регулярні відключення електроенергії у зв'язку з постійними обстрілами енергоінфраструктури російськими військами, виникають труднощі із дотриманням температурного режиму в холодильній та морозильній камерах. Це призводить до активного розмноження мікроорганізмів в продуктах, що не лише зменшує термін їх придатності, але й підвищує ризик харчових отруєнь. На жаль, ступінь впливу різних температурних умов зберігання продуктів на якісний і кількісний склад бактерій залишається недостатньо вивченим.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю оцінки впливу температурних умов зберігання продуктів на мікробіоту в умовах нестабільного енергопостачання в Україні, що є важливим аспектом забезпечення харчової безпеки.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження впливу температурних умов зберігання на зміну мікробіоти харчових продуктів є суттєвою складовою у розв'язання як наукових, так і практичних завдань, що дозволить поглибити розуміння процесів мікробіологічного псування. Це сприятиме також мінімізації ризиків харчових отруєнь та покращенню санітарно-гігієнічних умов під час збереження продуктів у холодильній та морозильній камерах.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Мікрофлору харчових продуктів (сучасний термін – мікробіота) поділяють на специфічну і неспецифічну. Специфічна мікробіота – це сукупність мікроорганізмів, які визначають характерні властивості продуктів, зокрема їхній смак, текстуру, аромат і харчову цінність. Наприклад, молочнокислі бактерії, що входять до складу кисломолочних продуктів і квашених овочів, сприяють ферментаційним процесам, формуючи особливий смак і властивості. Неспецифічна мікробіота харчових продуктів, до якої належать сапрофіти, патогенні та умовно-патогенні мікроорганізми, формується зазвичай з мікробіоти довкілля. Часто вона містить мікроорганізми, що можуть спричинити псування продуктів. Ступінь мікробної контамінації залежить від умов заготівлі, транспортування, зберігання та обробки продукту, а також від дотримання санітарних норм [1].

Мікроорганізми, такі як *Salmonella*, *Shigella*, *Escherichia coli*, *Campylobacter*, *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes*, *Clostridium perfringens*, а також *Staphylococcus aureus*, *Cl. botulinum*, можуть викликати харчові отруєння та бактеріальні токсикози, відповідно. Свіже молоко, наприклад, може містити *Mycobacterium bovis*, *Brucella*, *Coxiella burnetti*, *Proteus*, патогенні стрептококи і стафілококи, вірус кліщового енцефаліту, і навіть ротавірус, які потрапляють від інфікованих тварин.

Ротавірусна інфекція є основною причиною тяжких гастроентеритів у дітей до п'яти років, спричиняючи осмотичну діарею через мальабсорбцію вуглеводів та дицукридазну недостатність [2]. М'ясо також піддається забрудненню бактеріями під час обробки та зберігання, включаючи *Cl. perfringens*, *B. cereus*, *E. coli*, *Streptococcus faecalis*, *Campylobacter* тощо [1, 3, 4].

Температура зберігання є ключовим фактором у забезпеченні мікробіологічної безпеки харчових продуктів. Невідповідний температурний режим створює сприятливі умови для розмноження безлічі небезпечних мікроорганізмів. Оптимальні температури для зростання патогенних мікроорганізмів зазвичай знаходяться в межах «зони небезпеки» – від +5 °C до +60 °C. Зберігання продуктів при температурі нижче +5 °C або вище +60 °C значно уповільнює або зупиняє їх розмноження. Тому швидке охолодження і дотримання низькотемпературного режиму зберігання м'яса та молочних продуктів мінімізує ризик зростання інфекційних агентів. Так само безпечним є швидке розморожування м'яса (методом холодної води або у мікрохвильовій печі) [5].

Мета. Дослідити вплив температурних умов зберігання харчових продуктів на динаміку мікробіоти та оцінити ризики мікробіологічного забруднення в умовах нестабільного енергопостачання.

Об'єкт дослідження – мікробіота харчових продуктів (м'яса, молока, сиру) при різних температурах зберігання.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття, полягає в недостатньому вивченні впливу температури зберігання на мікробіоту м'ясних і молочних продуктів та відсутні конкретних рекомендацій щодо безпечного їх збереження за умов частих відключень електроенергії.

Новизна. Вперше вивчено зміни в кількісному складі мікроорганізмів у м'ясі, молоці та сирах при певних температурах зберігання (у різних частинах холодильника та в морозильній камері).

Методологічне або загальнонаукове значення. Методологічне значення дослідження полягає в застосуванні стандартних мікробіологічних методів для оцінки змін у складі мікробіоти харчових продуктів при різних умовах зберігання. Результати дослідження розширюють знання про вплив температурних режимів на мікробіологічне забруднення продуктів, що дозволяє точніше оцінювати ризики харчових отруєнь та визначати найбільш ефективні умови для збереження їх якості. Це має важливе значення для забезпечення продовольчої безпеки та оптимізації умов зберігання продуктів у ситуаціях нестабільного енергопостачання.

Матеріали та методи дослідження. Інформація про молочні продукти, які обрали для дослідження, представлена в таблиці 1.

Характеристика досліджених молочних продуктів

Продукт	Характеристика
Свіже молоко (№ 1)	Молоко коров'яче свіже (засівання зразка здійснювали через 4 години після доїння).
Пастеризоване молоко (№ 2)	Молоко коров'яче питне пастеризоване з масовою часткою жиру 2,5 %. Примітка: 8 днів до закінчення терміну придатності.
Сир № 1	Сир твердий сичужний, нарізаний, з молока коров'ячого пастеризованого, з масовою часткою жиру не менше 44 %. Примітка: 2 місяці до закінчення терміну придатності.
Сир № 2	Сир твердий «голландський брусковий» з молока коров'ячого незбираного та знежиреного. Масова частка жиру – близько 45 %. Примітка: 3 місяці до закінчення терміну придатності.

Примітка: фабричне філе курчат-бройлерів (напівфабрикат, натуральне, охолоджене, фасоване та запаковане в захисному середовищі) досліджували за 4 дні до закінчення терміну придатності.

Всі контрольні зразки харчових продуктів зберігали 2 години за температури (t) 4 °С перед засіванням. Дослід проводили в 3-х кратній повторності. Після засівання контрольних зразків, дослідні проби на 3 доби поміщали у різні частини холодильної камери (м'ясо – на середню полицю (t була 5 °С) та морозильну камеру (t = -16 °С), молоко та сир – на нижню та верхню полиці (t складала 5,5 та 4 °С, відповідно). Також один зразок кожного продукту зберігали за кімнатної температури (20 °С). На 3-ю добу проводили аналогічні дослідження, як і з контролем. Проби м'яса з морозильної камери розморожували протягом 3-х годин за кімнатної температури.

Дослідження мікробіоти м'яса. З середньої частини кожної проби свіжого м'яса (куряче філе (фабричне), свинина та яловичина) стерильними ножицями і скальпелем відрізували 1 г і поміщали у стерильні бюкси. Далі вміст переносили до стерильної ступки і розтирали за допомогою товчачика. Потім додавали до гомогенату 10 мл автоклавованого фізіологічного розчину та ретельно перемішували. Після цього 0,2 мл отриманої суспензії вносили у чашку Петрі і додавали 10–12 мл розплавленого та охолодженого до 45 °С м'ясопептонного агару (далі – МПА). Обережно розподіляли суміш по дну чашки і залишали охолоджуватися. Після охолодження чашку перевертали і поміщали в термостат при температурі 37 °С на 24 години. Кількість мікроорганізмів визначали у 1 г (1 мл) досліджуваного зразка шляхом перерахунку колонієутворюючих одиниць (далі – КУО), що виростили, з урахуванням відповідного розведення та об'єму матеріалу, який засівали глибинним методом. Для мікроскопічного аналізу з середньої частини м'яса (контролю та дослідних зразків) робили мазки-відбитки з подальшим забарвленням метиленовим синім [3, 4, 6].

Дослідження мікробіоти молока. Молоко також розводили 1:10 та засівали по 0,2 мл/чашку (глибинним методом) з подальшим перерахуванням КУО на 1 мл [6, 7]. Всі зразки молока засівали додатково поверхневим методом без попереднього розведення (одноразовою інокуляційною петлею на 10 мкл).

Мікробіоту сиру досліджували методом відбитків. Контрольний та досліджувані зразки поміщали у профламований металевий лоток, прикладали стерильний трафарет розміром 5×5 см, вирізали шматок сиру та поміщали на 3–5 секунд на поверхню МПА. Чашки інкубували разом з іншими зразками харчових продуктів протягом доби в термостаті за температурі 37 °С. На наступну добу підраховували кількість колоній, що виростили на місці відбитку сиру, та проводили перерахунок на 1 см² [6, 7].

Виклад основного матеріалу. Температура зберігання є ключовим чинником, який визначає характер та інтенсивність мікробіологічних процесів у харчових продуктах. Куряче філе (контроль) було найбільш збагачене на мікроорганізми (2610 КУО/г) (див. рис. 1, 2).

Наявність помірної кількості бактерій у свіжому м'ясі є нормою і не викликає занепокоєння при дотриманні належних умов подальшого зберігання. У свіжій яловичині мікроорганізмів було вдвічі менше, а свинина виявилася майже без обсіменіння – бактерій було в 4,5 рази менше ніж у курячому філе. У контрольних мазках-відбитках м'яса домінували палички та подекуди коки. В курячому філе поодинокі зустрічалися бактерії, які мали вигляд крил чайки, що характерно для морфології кампілобактерій.

При зберіганні дослідних зразків у холодильній і морозильній камерах протягом 3-х діб відбулися суттєві відмінності в кількісному та якісному складі мікроорганізмів. В холодильнику у всіх зразках бактерії почали інтенсивно розмножуватися. У курячому філе та яловичині їх стало у 15 разів більше порівняно з контролем, у свинині – у 38 разів. Проте в морозильній камері у курячому філе та свинині їх було майже у 2 рази менше проти зразка, який зберігали в холодильнику. Цікавим виявилися дослідження температури зберігання яловичини, у морозильній камері порівняно з холодильником бактерій стало у 1,2 рази більше. Значне зростання кількості мікроорганізмів у зразках з морозильної камери (порівняно з контролем) можна пояснити

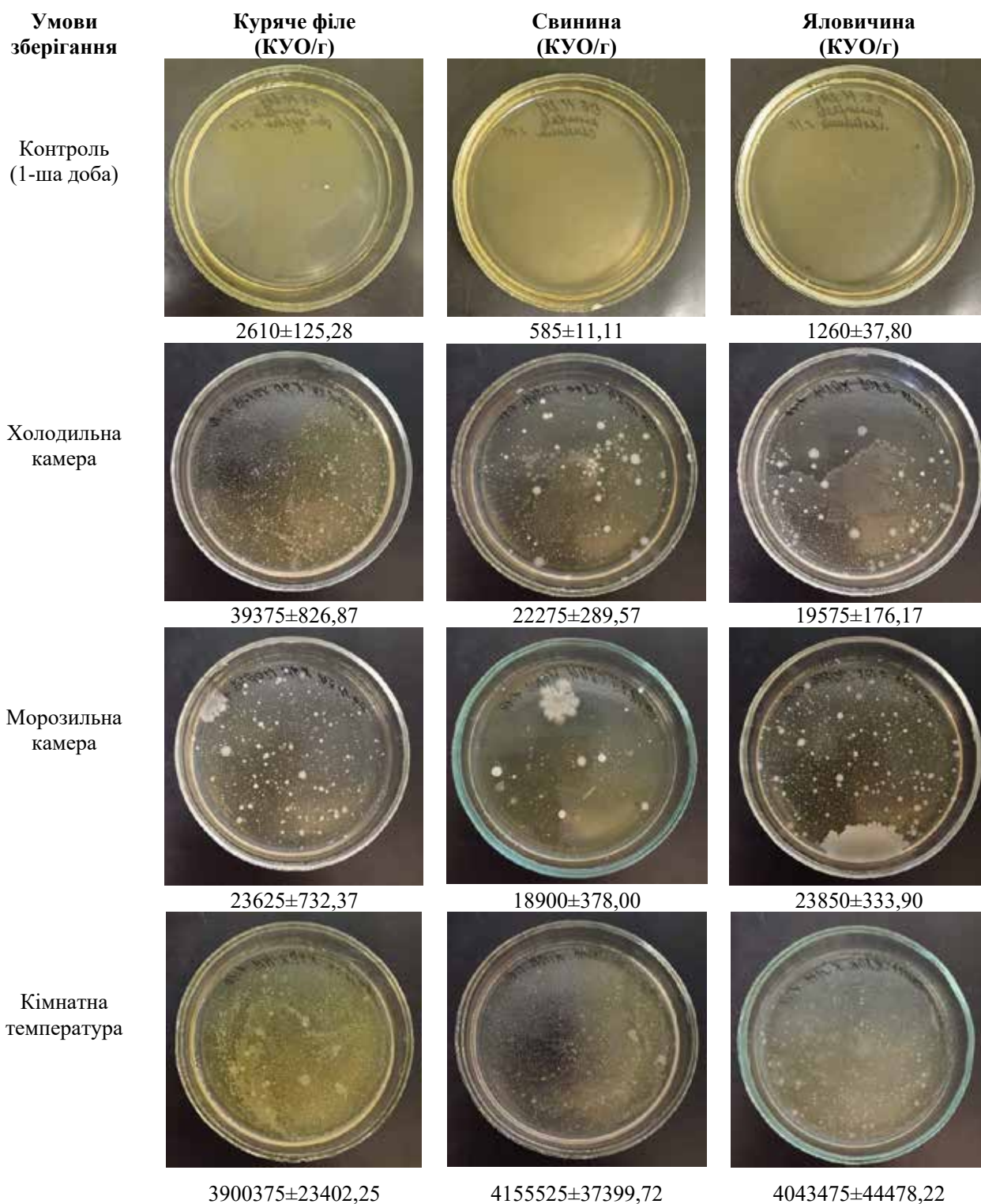


Рис. 1. Вплив температури зберігання м'яса на динаміку мікробіоти

тим, що протягом дослідження всі проби перебували в лабораторії близько 2-х годин. Крім того, бактерії накопичилися під час розморожування за кімнатної температури. Морозильна камера не стерилізує

продукти, і більшість мікроорганізмів виживають за низьких температур, продовжуючи свій розвиток і розмноження під час неправильного розморожування. З огляду на це, рекомендуємо розморожувати

продукти безпечним і швидким способом – у холодній воді або в мікрохвильовій печі безпосередньо перед приготуванням.

За кімнатної температури на 3-ю добу активно йшли процеси гниття і кількість бактерій обчислювалася млн в 1 г м'яса. При мікроскопії мазків-відбитків домінувала кокова мікробіота. Подібна тенденція інтенсифікації розмноження бактерій за різних температур була відмічена й у дослідях з молочними продуктами (див. рис. 3, 4).

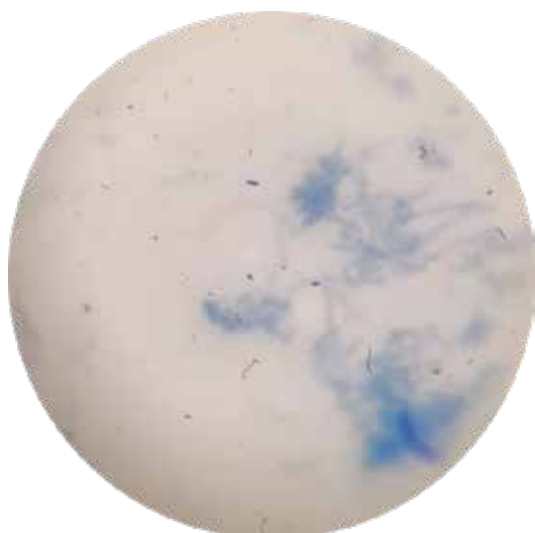
Свіже молоко було майже в 31 раз більш збагачене бактеріями ніж пастеризоване. За кімнатної температури свіже молоко скисало швидше, в ньому домінували лактобактерії та стрептококи, а в пастеризованому – дріжджі. На рис. 3 в останньому стовпчику представлені результати засівання молока поверхневим методом (КУО не підраховували).

При зберіганні свіжого молока на верхній полиці у холодильнику кількість бактерій порівняно з контр-

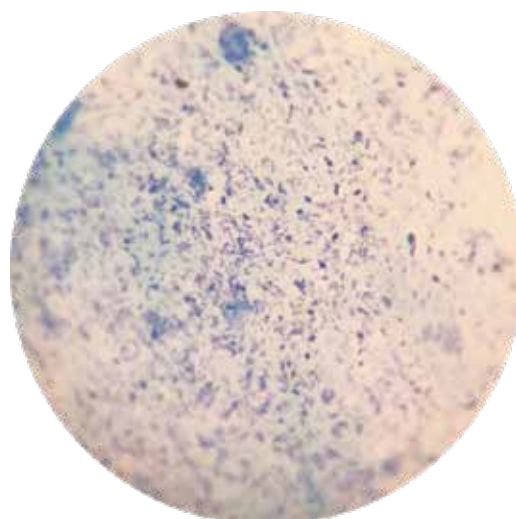
олем збільшилася у 1,5 раза, а на нижній – у 2,2 раза, що вказує на нижчу температуру у верхній частині холодильника (під морозильною камерою).

При зберіганні пастеризованого молока на верхній полиці бактерій було у 9,2 раза більше порівняно з контролем, а на нижній – у 3,3 раза. У зразку, що зберігали ближче до морозильної камери, домінували палички та коки, а у 2-му зразку переважала дріжджова мікробіота, проте за органолептичними властивостями проби не відрізнялися від контролю (колір, запах, смак).

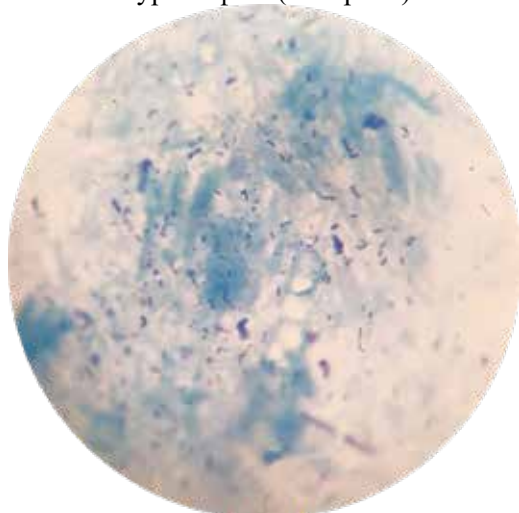
При зберіганні сиру у різних частинах холодильника протягом 3-х діб суттєвих відмінностей не було (інтенсифікація розмноження бактерій, переважно бацилярних форм, відбувалася помірно) (див. рис. 4). Кількість мікроорганізмів значно збільшилася порівняно з контролем при зберіганні цього молочного продукту за кімнатної температури (у 4,6 та 2,3 раза для сиру № 1 та № 2, відповідно).



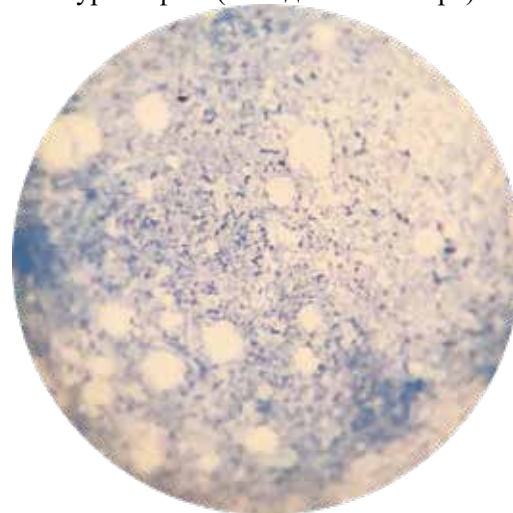
Куряче філе (контроль)



Куряче філе (холодильна камера)



Куряче філе (морозильна камера)



Куряче філе (кімнатна температура)

Рис. 2. Мікробіота курячого філе (мазки-відбитки)

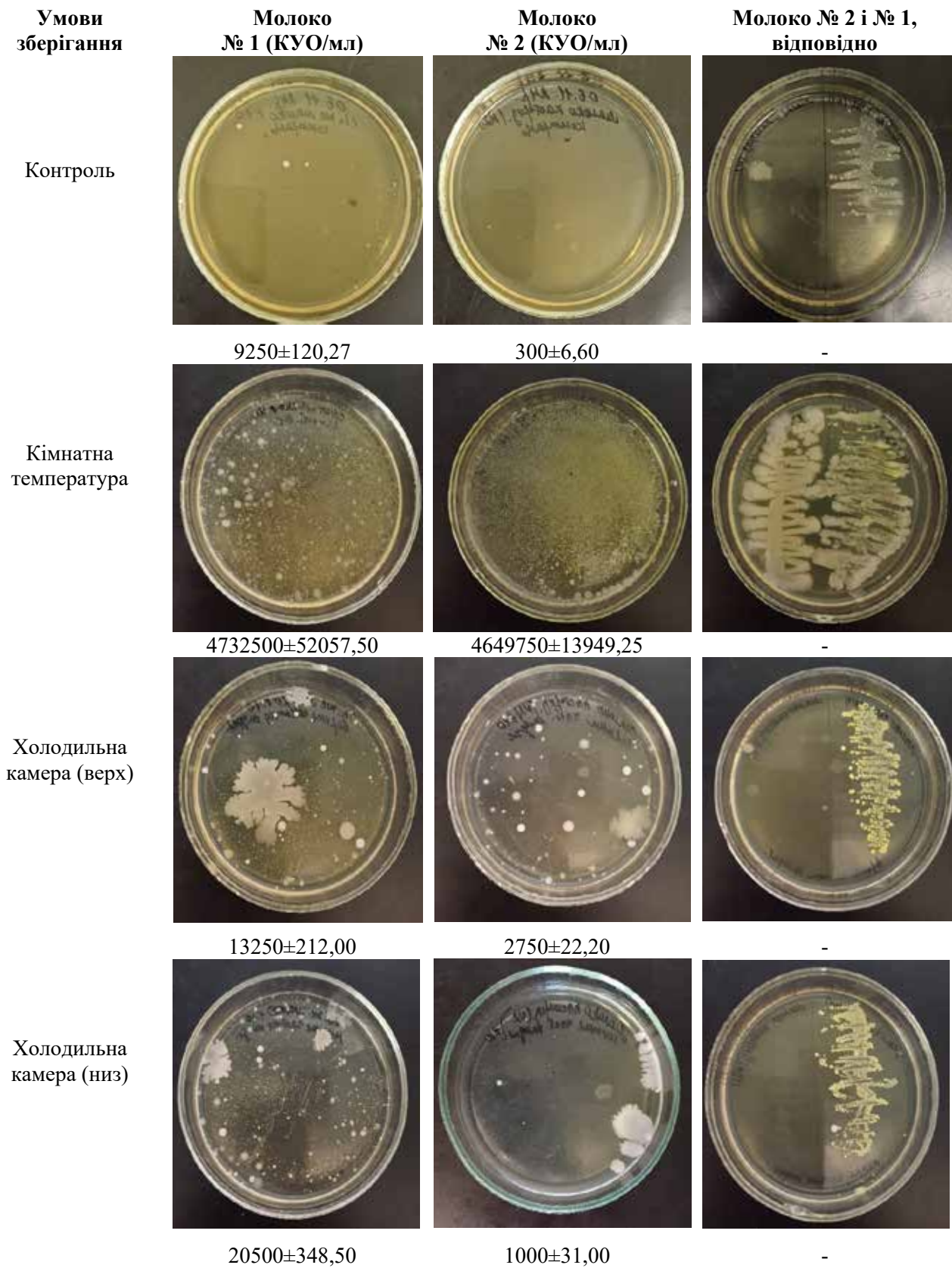


Рис. 3. Вплив температури зберігання молока на динаміку мікробіоти

Умови зберігання

Сир № 1 (КУО/см²)

Сир № 2 (КУО/см²)

Контроль

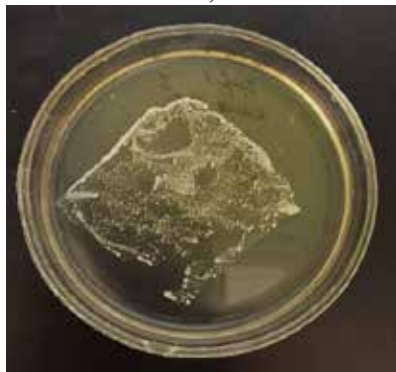


6±0,12

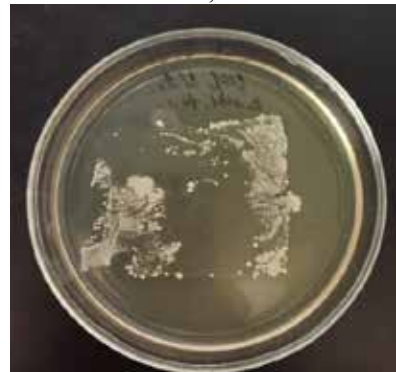


9±0,10

Кімнатна температура



28±0,36



21±0,18

Холодильна камера (верх)



15±0,63

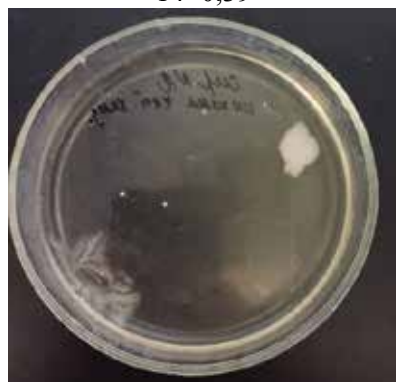


14±0,39

Холодильна камера (низ)



17±0,84



14±0,44

Рис. 4. Вплив температури зберігання сиру на динаміку мікробіоти

Головні висновки. Дослідження підтвердили, що температура зберігання є ключовим чинником, який впливає на мікробіологічні процеси у харчових продуктах. У контрольних зразках м'яса виявлена помірна кількість мікроорганізмів, які потрапляють в сирий продукт зазвичай двома шляхами – під час життя тварини та після забою. Зберігання у холодильнику протягом 3-х діб сприяло значній інтенсифікації розмноження бактерій, тоді як у морозильній камері кількість мікроорганізмів була меншою. За кімнатної температури мікробіологічне обсіменіння значно зростало, провокуючи процеси гниття. У молоці динаміка росту бактерій залежала від типу зразка (свіже та пастеризоване молоко) і розташування у холодильнику, а мікробіота сиру майже не змінювалася за різних температур зберігання у холодильнику.

Перспективою подальших досліджень є вивчення впливу температурних чинників на динаміку мікробіоти інших харчових продуктів, зокрема з урахуванням підвищення температури в холодильних та морозильних камерах під час

стабілізаційних або аварійних відключень електроенергії.

Перспективи використання результатів дослідження. За результатами дослідження автори розробили навчальний відеофільм для студентів медичних і біологічних факультетів закладів вищої освіти [Режим доступу: <https://youtu.be/1yG4RRSfgvc>] і перелік рекомендацій по безпечному зберіганню харчових продуктів у випадку нестабільного енергопостачання, які висвітлені в науковій програмі «Екофактор» на телеканалі МТМ [Режим доступу: <https://youtu.be/HUY9AV8j6Mg?si=lvuPloHjvrY4O7po>]. Отримані результати можуть бути використані в галузі продовольчої безпеки, а також для вдосконалення стандартів зберігання продуктів у побутових та комерційних умовах. Вони також можуть стати основою для подальших наукових досліджень, спрямованих на удосконалення методів збереження якості харчових продуктів та зниження ризиків харчових отруєнь. Крім того, результати будуть корисними для органів контролю за безпечністю продуктів, підприємств харчової промисловості та споживачів.

Література

1. Wang H., Kong B., Chen Q. Meat and Meat Products: Explorations of Microbiota, Flavor, and Quality. *Foods*. 2024. Vol. 13, No 23. ID 3900. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13233900>
2. Usachova O.V., Vorobiova N.V., Silina E.A., Matvieieva T.B. The role of carbohydrate malabsorption syndrome in the pathogenesis of rotavirus diarrhea (a literature review). *Zaporozhye Medical Journal*. 2024. Vol. 26, No 4. P. 325-330. DOI: <https://doi.org/10.14739/2310-1210.2024.4.302524>
3. Про затвердження Правил передзайного ветеринарного огляду тварин і ветеринарно-санітарної експертизи м'яса та м'ясних продуктів : Наказ Міністерства аграрної політики України від 07.06.2002 р. № 28 (зі змінами).
4. ДСТУ 8381:2015. М'ясо та м'ясні продукти. Організація та методи мікробіологічних досліджень. На заміну ГОСТ 21237-75 ; чинний від 2015-08-21. Вид. офіц. Київ : Інститут продовольчих ресурсів Національної академії аграрних наук (ІПР НААН), 2015. 49 с.
5. Temperature and Time Requirements for Food. Controlling growth of foodborne pathogens. Minnesota Department of Health & Minnesota Department of Agriculture. URL: <https://www.health.mn.gov/communities/environment/food/docs/fs/timetempfs.pdf> (дата звернення: 17.12.2024).
6. Кот С.П., Кириченко В.А. Санітарна мікробіологія : методичні рекомендації до практичних занять та самостійної роботи студентів зі спеціальностей 7.18010001 та 8.18010001 – «Якість, стандартизація та сертифікація» (затверджено комісією факультету ТВПШТСБ Миколаївського національного аграрного університету від 26.11.2015 р., протокол № 3). Миколаїв : МНАУ, 2015. 59 с.
7. Коваленко Н.І., Замазій Т.М. Санітарна мікробіологія : методичні вказівки з дисципліни «Мікробіологія, вірусологія та імунологія» для студентів-магістрів II–III курсів за спеціальністю «Медицина», «Стоматологія» освітньо-кваліфікаційного рівня – «Магістр» (затверджено Вченою радою ХНМУ від 25.02.2021 р., протокол № 3). Харків : ХНМУ, 2021. 48 с.

ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

УДК 504.3.054

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.6-57.31>

ВПРОВАДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ МЕТОДІВ ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ВИКИДІВ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ СИТУАЦІЇ У МІСТІ ЗАПОРІЖЖЯ

Гордієнко Д.Р., Тарабан Є.В., Белоконь К.В.

Запорізький національний університет

вул. Університетська, 66, 69600, м. Запоріжжя

denys.hordiienko@gmail.com, reshka166@gmail.com, kv.belokon@gmail.com

Забруднення атмосферного повітря є однією з серйозних причин, що можуть призводити до різних захворювань людини. Основну роль у забрудненні атмосферного повітря міста Запоріжжя відіграють промислові підприємства. Багаторічний моніторинг якості атмосферного повітря свідчить про стабільно високе його забруднення як на межі санітарно-захисних зон, так і в житлових районах. Основною причиною забруднення атмосферного повітря міста Запоріжжя залишаються застарілі технології та устаткування, на базі яких функціонують підприємства, і які не можуть забезпечити дотримання сучасних гігієнічних нормативів. Найбільшим забруднювачем повітряного басейну міста Запоріжжя є підприємство з повним металургійним циклом, який розпочинається в агломераційному цеху. У процесі агломерації в атмосферу викидається велика кількість технологічних газів, що містять пил, оксиди азоту, оксиди вуглецю та діоксид сірки. Тому для забезпечення високої якості атмосферного повітря у місті Запоріжжя необхідно впроваджувати нові методи та обладнання для очищення газів від пилу.

У статті запропоновано та обґрунтовано наступну схему очищення: газ із колектора надходить на першу ступінь очищення, де проходить через шість циклонів марки СЦН-50. Потім газ потрапляє на другу ступінь очищення – рукавний фільтр ФРІР-3800. Середній рівень уловлювання агломераційного пилу в циклоні СЦН-50 становить 91,56%, що знижує концентрацію пилу в газі до 0,675 г/м³. Рукавний фільтр працює з рукавами із оксалонітної тканини, термостійкість якої становить 180...220°C. При ефективності рукавного фільтру 98% залишкова запиленість дорівнює 0,014 г/м³. За результатами розрахунку газовідвідного тракту системи газоочищення, опір якого склав 12976 Па, вибрано два паралельно розміщених димотягів ДЦ-25×2.

Впровадження такої схеми очищення призведе до значного зменшення концентрації пилу в атмосферному повітрі міста Запоріжжя, що, в свою чергу, покращить стан здоров'я його населення, знизить ризик виникнення респіраторних та інших захворювань, пов'язаних із забрудненням повітря. *Ключові слова:* агломераційне виробництво, забруднення атмосферного повітря, здоров'я населення, рукавний фільтр, циклон, пил.

The introduction of effective methods for industrial emission cleaning to improve the environmental situation in the city of Zaporizhzhia. Hordiienko D., Taraban Ye., Belokon K.

Atmospheric air pollution is one of the serious causes that can lead to various human diseases. The main role in air pollution in the city of Zaporizhzhia is played by industrial enterprises. Long-term monitoring of atmospheric air quality indicates consistently high air pollution both at the border of sanitary protection zones and in residential areas. The main cause of air pollution in the city of Zaporizhzhia remains outdated technologies and equipment, based on which enterprises operate and are unable to ensure compliance with modern hygienic standards. The largest air polluter in the city of Zaporizhzhia is an enterprise with a full metallurgical cycle, which begins with the sintering shop. During the agglomeration process, a large amount of industrial gases containing dust, nitrogen oxides, carbon oxides and sulfur dioxide are released into the atmosphere. Therefore, to ensure high quality of atmospheric air in the city of Zaporizhzhia, it is necessary to implement new methods and equipment for dust removal from gases.

The article proposes and justifies the following purification scheme: gas from the collector enters the first stage of purification, where it passes through six cyclones of the SCN-50 brand. Then the gas enters the second stage of purification – the bag filter with pulse regeneration FRIR-3800. The average level of sintering dust collection in the SCN-50 cyclone is 91.56%, which reduces the dust concentration in the gas to 0.675 g/m³. The bag filter works with bags made of oxalon fabric, the heat resistance of which is 180...220°C. With a bag filter efficiency of 98%, the residual dust content is 0.014 g/m³. Based on the results of calculating the gas exhaust tract of the gas purification system with the resistance of 12976 Pa, two parallel smoke exhausters DC-25×2 were selected.

The introduction of such a cleaning scheme will lead to a significant reduction in the concentration of dust in the atmospheric air of the Zaporizhzhia city, which, in turn, will improve the health of its population and reduce the risk of respiratory and other diseases associated with air pollution. *Key words:* sintering production, air pollution, public health, bag filter, cyclone, dust.

Постановка проблеми. Проведені моніторингові та епідеміологічні дослідження в багатьох країнах світу доводять, що численні ефекти для здоров'я людини, в т. ч. захворювання і смерті від респіраторної і серцево-судинної патології, викликаються саме забрудненням атмосферного повітря речови-

нами у вигляді твердих зважених частиць (PM10) [1]. Зважені частинці завдають значних незворотніх збитків у вигляді скорочення тривалості життя за рахунок додаткових випадків смерті. Гострий вплив PM10 за 24 години призводить до підвищення добової смертності від 0,5 до 1,6% на кожні 10 мкг/м³, а при збільшенні середньодобової концентрації PM10 на 10 мкг/м³, частота патологічних симптомів з боку органів дихання підвищується на 2,4% [2].

Агломераційне виробництво є складним процесом, під час якого утворюються значні об'єми пилогазових викидів, що негативно впливають на стан здоров'я населення та довкілля. Внаслідок інтенсифікації процесу спікання агломерату та збільшення продуктивності агломераційних машин, об'єми таких викидів зростають, що вимагає розробки високоефективних очисних систем [3].

Високі рівні запилення можуть спричинити респіраторні захворювання, такі як астма та хронічне обструктивне захворювання легень, а також інші проблеми зі здоров'ям, включаючи погіршення психічного здоров'я.

Основною проблемою, що розглядається у статті, є необхідність розробки та впровадження ефективного обладнання для очищення пилогазових викидів агломераційних машин, щоб мінімізувати їхній негативний вплив на навколишнє середовище та здоров'я людей, забезпечуючи стійке виробництво високоякісного агломерату.

Актуальність дослідження. Процес агломерації залізних руд супроводжується великими викидами технологічних газів в атмосферу, що містять агломераційний пил, оксиди азоту та вуглецю, а при агломерації сірчистих руд – діоксид сірки. Основними джерелами пилогазових викидів в агломераційному цеху є технологічне обладнання, таке як агломераційні машини, охолоджувачі повернення агломерату, обпалювальні печі та численні аспіраційні системи, які встановлені на дробарках, гуркотах та транспортерах.

Навколишнє середовище також забруднюється зовнішніми джерелами пилу, такими як розвантажувальні та вантажні пристрої початкових матеріалів. До організованих викидів агломераційного цеху належать аспіраційні викиди відділень дроблення коксу і вапняку, технологічні викиди від печей випалення вапняку та від спекального відділення агломашин. Організація таких викидів полягає в організованому відборі забрудненого повітря або газу з місць їх утворення та подальшому очищенні у газоочисних апаратах. Після очищення умовно чисті газу викидаються в атмосферу за допомогою димотягів через димар.

Процес спікання агломерату супроводжується значним виділенням газів та вигоранням вуглецю і сірки, що містяться в шихті. Питомий вихід газів від агломераційної машини залежить від газопроникності шихти, вмісту в ній палива та величини

підсосу повітря. При отриманні 1 тонни агломерату вихід агломераційних газів становить 2,5-4,0 тис. м³ із вмістом пилу від 5 до 60 г/м³. Таким чином, у процесі спікання шихти від однієї агломашини АКМ1-75 після колектора на газоочищення надходить 262500 м³/год технологічних газів з запиленістю 8 г/м³ при температурі 150°C.

Негативний вплив пилу на здоров'я мешканців міста, де розташоване металургійне підприємство, є серйозною проблемою. Тому актуальним є розробка високоефективного очисного обладнання для мінімізації пилогазових викидів та зменшення їхнього негативного впливу на довкілля і здоров'я людей.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Розглянуто кілька варіантів очищення газів від агломераційних машин на діючих металургійних комбінатах. Для очищення агломераційних газів застосовують труби Вентурі. Після колектора газ поступає в блок з чотирьох низьконапірних (до 2 кПа) труб Вентурі, в яких здійснюється коагуляція пилу. Питома витрата води на зрошування труб Вентурі склала 0,3-0,5 л/м³ під тиском $(2,9-3,9) \times 10^5$ Па. Очищення газу від крапель води проходить в інерційному каплевловлювачі та встановлених за ним відцентрових циклонах.

У другому варіанті газу після горизонтального колектора проходять очищення в сухому інерційному пиловловлювачі діаметром 4500 мм з гідротранспортом уловленого пилу. Потім газу надходять у скрубери МП-ВТІ із зрошуваними гартами.

Третій варіант передбачає, що газу після горизонтального колектора надходять в короб брудного газу. Звідти вони розподіляються по п'яти паралельно працюючих низьконапірних трубах Вентурі з круглим перетином і діаметром 1050 мм, де відбувається коагуляція пилу. Очищення газу від крапель води проходить у бункері шламовідділювачу та у встановлених за ним відцентрових скруберах діаметром 4000 мм.

У четвертому варіанті газу після горизонтального колектора надходять двома паралельними потоками у циклоні ЦН діаметром 4200 мм з гідротранспортом пилу. Потім газу надходять у скрубери СКЦ діаметром 4000 мм із зрошуваними гартами, призначеними для відділення краплинної вологи та скоагульованих частинок пилу з газового потоку. Для транспортування газів використовують ексгаустер Д-6500.

Очищені аглогази надходять в димовий боров, а потім у димар. Шлам від бункерів труб Вентурі та скруберів надходить у «мигалки», які забезпечують гідравлічний затвор, і зливається в лоток, звідки самопливом надходить у шламову насосну і по загальному шламопроводу прямує на оборотний цикл аглофабрики.

Попри це, зазначені методи очищення не відповідають сучасним нормативним вимогам, що зумов-

лює необхідність розробки нових, більш ефективних схем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Автори публікації [4] розглядають екологічний вплив металургійної промисловості в Україні на навколишнє середовище, зокрема на атмосферне повітря, та пропонує шляхи зменшення цього впливу. Автори підкреслюють, що металургійні підприємства є значними джерелами забруднення, яке негативно позначається не тільки на навколишнє середовище, але й на здоров'ї населення, що проживають поблизу цих підприємств. Викиди шкідливих газів, таких як CO, SO₂, NO, та пил, спричиняють погіршення стану повітря і можуть призводити до серйозних захворювань серед населення, зокрема респіраторних і серцево-судинних хвороб.

Для вирішення цієї проблеми автори пропонують впровадження комплексного моніторингу викидів металургійних підприємств. Це включає вдосконалення системи контролю забруднення повітря та впровадження більш ефективних технологій очищення викидів, а також посилення екологічної звітності та оперативного реагування на порушення. Пропонується також модернізація виробничих процесів, що дозволить зменшити викиди шкідливих речовин та поліпшити стан екосистем в районах розташування таких підприємств.

Отже, для забезпечення екологічної безпеки та покращення якості повітря необхідно розвивати моніторинг та контроль за викидами металургійних виробництв. Впровадження комплексних заходів, таких як модернізація технологій та покращення систем очищення, може значно знизити рівень забруднення та покращити здоров'я населення в промислових регіонах [4].

Зменшення пилогазових викидів агломераційного виробництва для зменшення техногенного навантаження на атмосферне повітря може відбуватися на різних етапах агломераційного виробництва.

Войтенко Ю.В. та Левицька О.Г. проаналізували основні джерела пилогазових викидів в умовах агломераційного виробництва, ідентифікували небезпеку та обрали пріоритетні фактори при визначенні ризику за допомогою методики визначення ризику захворюваності, пов'язаної із шкідливою дією факторів навколишнього природного середовища, дослідили залежність зниження захворюваності населення внаслідок зменшення вносу пилу в процесах агломерації залізної руди. На основі проаналізованих даних було встановлено зв'язок між техногенним забрудненням атмосферного повітря та збільшенням рівня захворювань легень. Авторками розроблена та впроваджена технологія обробки аглошихти перед спіканням розчинами поверхнево-активних речовин з метою поліпшення грудкування і зниження викидів пилу з шару аглоштити, що спікається. В процесі експериментальних досліджень були визначені оптимальні параметри і режими обробки аглошихти роз-

чинами поверхнево-активних речовин. Встановлено, що впровадження розробленої технології дозволяє зменшити концентрацію пилу у викидах агломераційних газів в декілька разів, у тому числі знизити концентрацію дрібнодисперсного пилу (до 20 мкм) в аглогазах після мультициклону. Зменшення викиду пилу з агломераційними газами внаслідок обробки агломераційної шихти перед спіканням розчинами поверхнево-активних речовин призведе до зниження захворюваності населення в селітебній зоні поблизу агломераційної фабрики [5, 6].

Руденко М.Р., Кашцев М.А., Нагорний М.Є. та ін. у своєму дослідженні пропонують підвищити якість спікання агломераційної шихти на основі закономірностей розподілу шихти в системі бункер-живильник-завантажувальний пристрій, методів підвищення сегрегації з розподіленням гранулометричного складу і вуглецю твердого палива, збереження газопроникності шару, зниження викидів оксиду вуглецю. Для досягнення високої якості, автори визначили обсяги викидів забруднюючих газів від зон спікання агломашин аглофабрики; визначили вплив сегрегації при удосконаленні системи завантаження шихти (яка включає проміжний бункер – барабанний живильник – завантажувальний лоток) на насипну вагу шихти пошарово і викид оксиду вуглецю від зон спікання. У результаті відбулось зменшення викидів у атмосферне повітря за досліджуваний період [7].

Аналіз останніх досліджень свідчить про важливість інтеграції інноваційних технологій і підходів у виробничі процеси металургійних підприємств для зменшення екологічних ризиків. Застосування методів моніторингу, вдосконалення технологій очищення повітря, а також оптимізація виробничих процесів є важливими кроками до зниження техногенного навантаження на атмосферу і покращення здоров'я людей, що проживають поблизу таких підприємств. Крім того, публікації вказують на наявність певних прогалів у теоретичних моделях та практичних рекомендаціях, що створює простір для подальших досліджень і глибшого аналізу.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Недоліком мокрих пиловловлювачів, які використовуються на металургійних підприємствах, є необхідність створення водно-шламового господарства і захисту апаратів від залипання, абразивного зносу і корозії. Відкладення на стінках газоходів, апаратів і димотягів виникають в результаті взаємодії активного вапняку з ангідридом сірки та оксидом вуглецю, що входять до складу агломераційних газів, і утворюють нерозчинні у воді сульфат та карбонат кальцію. Ці речовини руйнують футерівку корпусів апаратів, приводять до заростання газоходів і викликають дебаланс і вихід з ладу димотягу [8].

Висока енергоємність мокрого очищення газів і труднощі утилізації уловленого у вигляді шламу

пилу роблять доцільним застосування сухих високоефективних апаратів, горизонтальних електрофільтрів та рукавних фільтрів, які знайшли широке застосування як за кордоном, так і у вітчизняній практиці. Експлуатація систем очищення газів із застосуванням сухих горизонтальних електрофільтрів та рукавних фільтрів дозволила отримати необхідний ступінь очищення від пилу (залишкова запиленість газів складає близько $0,1 \text{ г/м}^3$), що свідчить про перспективність будівництва таких систем.

Новизна. У цій статті пропонується схема сухого очищення пилогазових викидів агломераційного виробництва, яку можна впровадити га металургійних комплексах. Переваги проєктного варіанту очищення агломераційних газів включають: відсутність шламового господарства, що спрощує експлуатацію системи; малий опір газового тракту, що підвищує ефективність процесу очищення; висока ефективність очищення газів від пилу, що забезпечує відповідність нормативним вимогам; енергетичні витрати нижчі, ніж при експлуатації мокрого очищення, що знижує загальні витрати на очищення; отримання пилу у вигляді, зручному для підготовки до повернення у виробництво, що сприяє економічній ефективності процесу.

Розробка та впровадження такої системи є важливим кроком до підвищення екологічної та економічної ефективності агломераційного виробництва.

Методологічне або загальнонаукове значення.

З розглянутих вище методів очищення технологічних газів агломераційних машин, які існують на даний час, можна зробити висновок, що кожен з них має свої переваги, за допомогою яких намагалися досягти максимального ступеня очищення відхідних газів від пилу. Проте кожен з них мають і певні недоліки: одні вимагають великих витрат електроенергії, інші мають складне конструктивне виконання або призводять до сильної корозії устаткування і т.д.

Викладення основного матеріалу. На основі аналізу схем очистки пропонується очищення технологічних газів агломераційних машин у рукавному (тканинному) фільтрі з попереднім грубим очищенням в циклонах. Схема газового тракту представлена на рисунку 1.

По цій схемі запилений газовий потік через вакуум-камери поступає в загальний горизонтальний колектор, що має бункери, і розташований збоку агломашини паралельно її осі. З колектора газ поступає на першу ступінь очищення – в циклони СЦН-50, а потім на другу ступінь очищення – рукавний фільтр. Після грубого і тонкого очищення аглогازی за допомогою ексагустера через димар викидаються в атмосферу.

Для розрахунків газовий тракт було поділено на 10 ділянок, для кожної з яких було визначено дов-

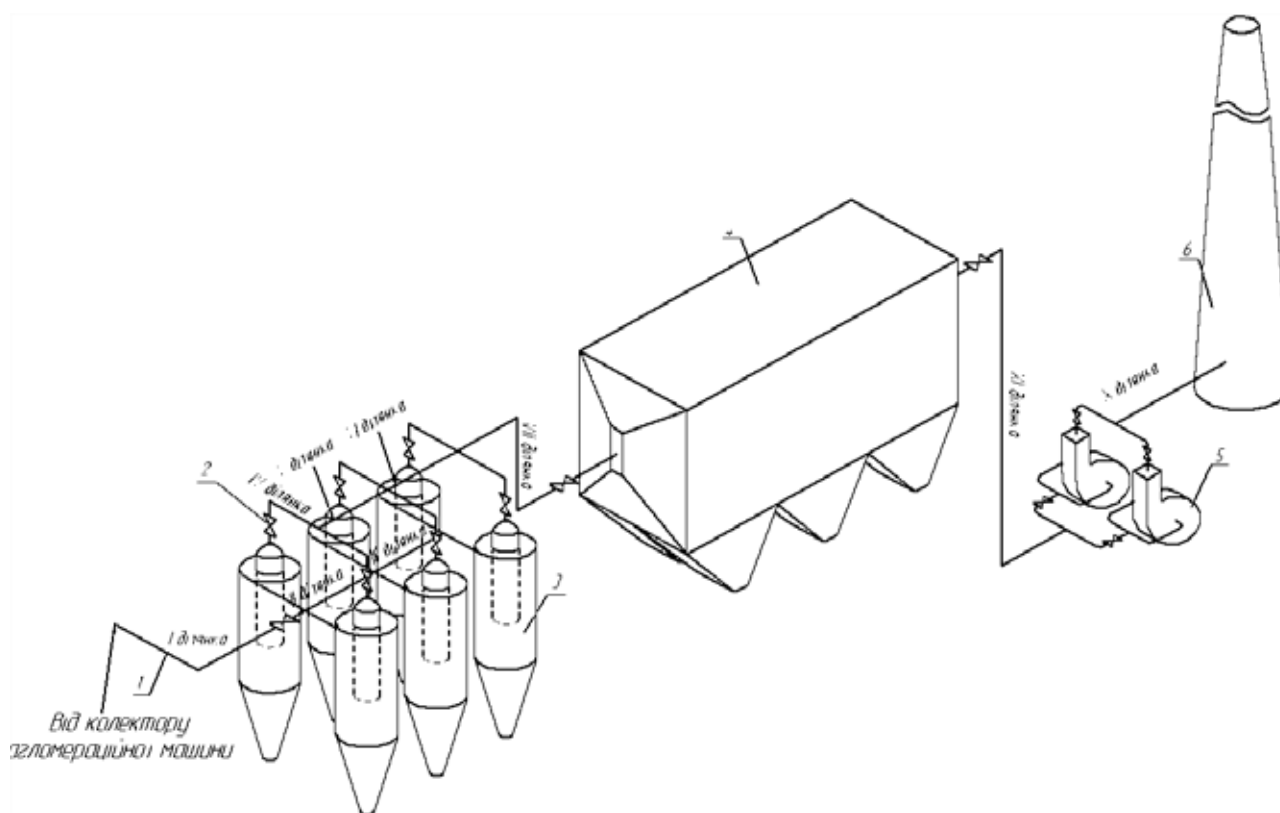


Рис. 1. Схема газового тракту очищення агломераційних газів в рукавному фільтрі

1 – газопровід від колектору агломераційної машини; 2 – засувка; 3 – циклони СЦН-50; 4 – рукавний фільтр ФРІР-3800; 5 – димотяг; 6 – димар

жину та діаметр. Довжина ділянок залежала від розташування циклонів, рукавного фільтра і димотягу, діаметр – від об'єму газу, що проходить по певній ділянці. Опір газового тракту з урахуванням місцевих опорів та опорів по довжині склав 12976 Па.

Для розрахунку циклону було враховано об'ємну витрату газу при робочих умовах, температуру газів, опір газового тракту, склад та характеристики агломераційних газів, щільність часток, концентрацію та дисперсний склад пилу. На основі цих даних було прийнято шість циклонів марки СЦН-50 із стандартним діаметром $D_{ц} = 2,8$ м [9]. Було визначено дійсну швидкість газів у циклоні, що становить 3,64 м/с, та гідравлічний опір циклону – 868 Па. Концентрація пилу після циклонів складає $0,675$ г/м³, ступінь очищення – 92%.

Для розрахунку рукавного фільтра враховувалась об'ємна витрата газу при робочих умовах, температура газів, опір газового тракту та дисперсний склад пилу. На основі розрахунку необхідної площі поверхні було вибрано рукавний фільтр типу ФРІР-3800 [10]. Рукавні фільтри типу ФРІР добре працюють з рукавами, виконаними з оксалонітної тканини. Термостійкість такої тканини складає 180...220 °С, і вона стійка до кислого середовища. Гідравлічний опір тканини та шару пилу склав 1951 Па. Ефективність очищення після рукавного фільтра становить 98%, кінцева запиленість – $0,014$ г/м³, що відповідає технологічним вимогам [11].

Димотяг обирали на основі аеродинамічного розрахунку тракту, продуктивність димотягу приймаємо із запасом 10% по відношенню до розрахункової кількості газів перед димотягом і з поправкою на барометричний тиск, вибрано два паралельно розміщених димотягів ДЦ-25×2.

Абразивостійкий циклон СЦН-50 призначений для ефективного очищення газу від абразивного пилу в ливарних виробництвах, енергетиці, у виробництвах будівельних матеріалів, металургії. Термін служби циклону СЦН-50 на абразивному грубому пилі збільшений в 3,5 разу щодо стандартного циклону ЦН-15 при однаковій продуктивності, гідравлічному опорі і ступені очищення; ступінь очищення від дрібного пилу у даного циклону вищий, винесення пилу на 15-20% менше. Підвищення абразивостійкості циклону СЦН-50 досягнуте за рахунок спірального введення запиленого газу в циклон, збільшення довжини циліндрової частини корпусу і діаметру пиловипускного отвору.

Циклони СЦН-50 прості по конструкції, нескладні у виготовленні і зручні в експлуатації. Рукавні фільтри типу ФРІР призначені для очищення технологічних газів від дрібнодисперсного та вибухонебезпечного пилу.

Процес фільтрації здійснюється в декілька стадій. У початковій стадії відбувається осадження частинок пилу на чистих волокнах усередині пористої перегородки фільтрувального матеріалу. В процесі про-

ходження запиленого газового потоку через чистий фільтрувальний матеріал пил осідає на волокнах в результаті безпосереднього торкання, дії інерційних сил, броунівської дифузії і в меншій мірі – електричних сил тяжіння порошинок до волокон і сили гравітації. Пилові нарости, що осідають на волокнах, поступово зникають і утворюють суцільну пористу пилову перегородку. Потім відбувається осадження аерозолів на пиловій підкладці до утворення шару пилу завтовшки, відповідною певному гідравлічному опорі. Таким чином, накопичуючись на поверхні тканини у вигляді шару, пил сам стає фільтруючим середовищем і збільшує ефективність пилозатримання фільтра. В процесі фільтрації шар пилу і опір фільтрувальної перегородки росте. Після досягнення деякої допустимої величини проводиться регенерація фільтрувальної перегородки (руйнування шару пилу, що утворився), в процесі якої уловлений пил скидається в бункер фільтру. Швидкості фільтрації знаходяться у межах 1,5 і 2,5 м/хв залежно від адгезійних властивостей шару пилу.

Для регенерації рукавів застосовують імпульсне продування з використанням швидкодіючих продувних клапанів. При ефективній регенерації загальний термін служби рукавів в цих фільтрах вищий, рукави менше зношуються, і до їх заміни залишкова запиленість зберігається на рівні 15...50 мг/м³, і лише в окремих випадках ці значення перевищуються.

Ефективність рукавних фільтрів досягає 90-99% і вище. Повітряне навантаження на тканину застосовується в межах до 200 м³/(м²·с). Гідравлічний опір фільтру залежно від ступеня запиленої рукавів не більше 2,5 кПа.

До складу механічного устаткування фільтру входять: система регенерації рукавів (накопичувачі стислого повітря, продувні клапани і роздаточні колектори), рукавні дошки, фільтрувальні рукави, дротяні каркаси, відсічні клапани, вузол редукування стислого повітря, пристрої пиловидалення і шафа управління регенерацією фільтру.

Підвісні бункери виконані у вигляді переверненої усіченої піраміди з кутом нахилу бічних граней 70°. Бункери фільтру в нижній частині обладнані вузлом вивантаження пилу, а також пристроєм пневмообрушення і оглядовими люками [8].

Установка відсічних клапанів «брудного» газу дозволяє проводити заміну фільтрувальних рукавів в 1/8 частин фільтру без його зупинки. Запилена повітря («брудний газ») через вхідний патрубок і відсічний клапан потрапляє всередину корпусу фільтру і прямує відбійним щитом через іскрогасні аеродинамічні грати у верхню частину камери «брудного» газу, чим забезпечується супутній рух потоку фільтрованого газу і обтрусуюваною при регенерації пилу [8].

«Брудний» газ пройшовши рукави зовні всередину, очищається від пилу і потрапляє в камеру «чистого» газу, далі через вихідний патрубок, газохід і димотяг прямує в димар.

По мірі накопичення пилу на зовнішній поверхні рукавів загальний гідравлічний опір фільтру, що відстежується пристроєм управління регенерацією, росте і після досягнення заданої величини автоматично включається система регенерації фільтрувальних рукавів. Осушене стисле повітря з накопичувача через швидкодіючий продувний клапан і роздавальний колектор з соплами імпульсно подається всередину рукава і очищається як від пилу, що зібрався на зовнішній поверхні рукава у вигляді агломератів, так і від частинок пилу, що проникли всередину фільтрувального матеріалу.

Уловлений пил через щілиний бункер і вузол вивантаження пилу відводиться в систему пиловидалення.

Накопичувач стислого повітря виготовлений з металевої труби і обладнаний: 16-ю патрубками з фланцями для установки продувних клапанів; штуцером для підведення стислого повітря; штуцером для зливу конденсату; штуцером для установки манометра електроконтакта; 16-ю повітроводами подачі стислого повітря в колектора. Об'єм накопичувача складає 0,3 м³.

Рукавна дошка виконана з металевого листа з отворами діаметром $d=139$ мм. Отвори для кріплення виконані з отбортовкою, що підвищує жорсткість конструкції і покращує умови кріплення фільтрувальних елементів [8].

Фільтрувальний рукав виконаний у вигляді циліндра. У горловину фільтрувального рукава ушито металеве кільце, з протилежного боку рукава пришито денце. Як матеріал для виготовлення фільтрувального рукава вибираємо оксалонову тканину. Вузлом вивантаження пилу є пристрій для видалення пилу з бункера і складається з жолоба, до торців якого кріпляться бічні стінки. У середині жолоба поміщений шнек, який приводиться в рух через кулачкову муфту мотором-редуктором, змонтованим на одній з бічних стінок. З двох сторін шнек спирається на підшипникові вузли, закріплені на бічних стінках.

З бункерів фільтру уловлений пил за допомогою гвинтового конвеєра для подальшого транспортування подається на трубчастий ланцюговий конвеєр.

Головні висновки та перспективи використання результатів дослідження. В результаті інтенсифікації процесу спікання агломерату, збільшення корисної потужності тягодуттьового пристрою і продуктивності агломераційних машин зростають об'єми технологічних пилогазових викидів. Тому пропонується високоефективне очисне устаткування

для агломераційних пилогазових викидів. Питомий вихід газів від агломераційної машини залежить від газопроникності шихти, вмісту в ній палива і величини підсосу повітря. При отриманні 1т агломерату вихід агломераційних газів складає 2,5-4,0 тис. м³. Таким чином, в процесі спікання шихти від однієї агломашини АКМ1-75 після колектору на газоочищення поступає 262500 м³/год технологічних газів із запиленістю 8 г/м³. Температура газів що поступають на газоочищення 150 °С. Забруднення атмосферного повітря пилогазовими викидами серйозно впливає на здоров'я людей, зокрема спричиняють респіраторні та серцево-судинні захворювання. У статті запропоновано нову схему для сухого очищення пилогазових викидів агломераційного виробництва, що може бути впроваджена на металургійних підприємствах.

На основі розглянутих існуючих методів очищення пилогазових викидів було запропоновано впровадити наступну схему очистки пилогазових викидів: з колектора газ поступає на першу ступінь очищення – в шість циклонів марки СЦН-50 із стандартним діаметром 2,8 м, а потім на другу ступінь очищення – рукавний фільтр ФРІР-3800. Середня ступінь вловлювання агломераційного пилу з відповідних газів агломашини в циклоні СЦН-50 – 91,56%, отже концентрація пилу в газі на виході з циклону складає 0,675 г/м³. Рукавний фільтр працює з рукавами, виконаними з оксалонкової тканини, термостійкість якої складає 180...220 °С. При ефективності рукавного фільтру 98%, залишкова запиленість дорівнює 0,014 г/м³. За результатами розрахунку газовідвідного тракту системи газоочищення, опір якого склав 12976 Па, вибрано два паралельно розміщених димотягів ДЦ-25×2.

Основні переваги запропонованої технології включають відсутність необхідності у водно-шламовому господарстві, що значно спрощує експлуатацію системи, а також знижені енергетичні витрати у порівнянні з мокрим очищенням газів. Висока ефективність очищення дозволяє досягти нормативних вимог щодо якості повітря, зменшуючи рівень пилу у викидах, та підвищує екологічну безпеку на підприємствах. Крім того, пил у такій системі збирається у зручній формі для подальшого використання у виробництві, що також сприяє економічній ефективності.

Отже, запропоновано комплексний підхід до очищення газів, який відповідає сучасним вимогам і сприяє зменшенню негативного впливу агломераційного виробництва на довкілля та здоров'я населення.

Література

1. World Health Organization. Regional Office for Europe. Monitoring ambient air quality for health impact assessment. World Health Organization. Regional Office for Europe. <https://iris.who.int/handle/10665/107332>(дата звернення: 27.10.2024).
2. Health and the environment in the WHO European Region: Situation and policy at the beginning of the 21st century: *Fourth Ministerial Conference on Environment and Health*, 23–25 June, 2004. Budapest, 2004. P. 23–128.

3. Plotnikov, V. V., & Saithareyev, L. N. (2014). Інтенсифікація агломераційного процесу за рахунок вдосконалення технології комбінованого огрудкування і завантаження шихти. *Вісник Приазовського Державного Технічного Університету. Серія: Технічні науки*, (25), 41–46. <https://doi.org/10.31498/2225-6733.25.2012.29206>.
4. Накемпій О. К. Оцінка впливу металургійної промисловості на стан атмосферного повітря та шляхи його зменшення. *Проблеми охорони праці в Україні*. 2023. Т. 39, № 1–2. С. 87–93. URL: <https://doi.org/10.36804/nndipbor.39-1-2.2023.87-93> (дата звернення: 27.10.2024).
5. Войтенко Ю.В., Левицька О.Г. Підвищення екологічної безпеки селітебних територій в зонах інтенсивного забруднення атмосферного повітря. *Collection of Research Papers of the National Mining University*. 2020. Т. 61. С. 94–102. URL: <https://doi.org/10.33271/crpmu/61.094> (дата звернення: 27.10.2024).
6. Voitenko Y. Reduction of the risk of disease to the population through dusting of agglomeration gases. *Challenges and Issues of Modern Science*, 2, 2024. Т. 2, С. 476–481. <https://cims.fti.dp.ua/j/article/view/169> (дата звернення: 27.10.2024).
7. Mishchenko A. V. Development of the ideology of calibrations of the tool for cold rolling of pipes from alloys based on titanium. *Metal and Casting of Ukraine*. 2020. Vol. 317–319, no. 10–12. P. 64–73. URL: <https://doi.org/10.15407/steelcast2019.10.064> (date of access: 27.10.2024).
8. Кушакова Н. О. Металургійний комплекс України: загальна характеристика та сучасний стан розвитку. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. 2019. № 23. С. 162–165.
9. Циклон СЦН-50. *Науково-виробнича фірма МЕТАЛЛУМ*. URL: <https://www.metallum.com.ua/ua/oborudovanie/cziklonyi/sczn-50> (дата звернення: 28.10.2024).
10. Фільтри рукавні. *Головна БМЗ «Прогрес»*. URL: <https://www.progress.ua/catalog/pilo-gazo-siroochishchennya/Bag-filters/Bag-filters> (дата звернення: 28.10.2024).
11. Про затвердження державних медико-санітарних нормативів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць : Наказ МОЗ України від 10.05.2024 № 813 : станом на 19 черв. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0763-24#Text> (дата звернення: 28.10.2024).

УДК 574.24+572.021.1

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.6-57.32>

ОСОБЛИВОСТІ СКЛАДАННЯ ЗВІТУ ОЦІНКИ ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ В УМОВАХ РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

Хом'як І.В.¹, Онищук І.П.¹, Василенко О.М.¹, Виговський І.В.²

¹Житомирський державний університет імені Івана Франка
вул. Велика Бердичівська, 40, 10008, м. Житомир

²Рівненський державний гуманітарний університет
вул. Степана Бандери, 12, 33028, м. Рівне
ecosystem_lab@ukr.net, vugovskiy@mail.rv.ua

У статті обговорюється проблема проведення досліджень із метою оцінки впливу на довкілля в межах радіоактивно забруднених територій. Встановлено, що через наявність на території України великих площ забруднених радіоактивними речовинами, процедура складання звіту про оцінку впливу на довкілля повинна мати додаткові аспекти опису рослинних угруповань. Метою дослідження є розробка науково обґрунтованих рекомендацій щодо удосконалення методологічних та нормативно-правових засад складання звіту з оцінки впливу на довкілля в умовах радіаційного забруднення, що забезпечить підвищення ефективності процедури ОВД та прийняття обґрунтованих управлінських рішень у сфері радіаційної безпеки. Відповідно до мети було поставлено такі завдання: аналіз та систематизація існуючих методологічних та нормативно-правових підходів до ОВД, що застосовуються в умовах радіаційного забруднення; оцінка процесів біогенної міграції радіонуклідів в природних та антропогенно трансформованих екосистемах; розробка та удосконалення методологічних підходів до оцінки радіаційного впливу в рамках процедури ОВД. Матеріалами дослідження є стандартні геоботанічні описи 2016 по 2024 роки. Описи зроблено маршрутно-експедиційними та стаціонарними способами за стандартними методиками на радіоактивно забруднених в наслідок аварії на ЧАЕС територіях. Отримані стандартні геоботанічні описи класифіковано згідно принципів еколого-флористичної школи Браун Бланке. Дану шкалу класифікації рослинності на рівні варіантів асоціацій або субасоціацій, доцільно використовувати під час складання звіту оцінки впливу планової діяльності на довкілля в межах радіоактивно забруднених територій. Рослинні угруповання слід розглядати, як ланки в сукцесійних ланцюгах, що перебувають під впливом вище згадуваної планової діяльності. У ряду асоціацій соснових лісів побудованому за багаторічним рівнем зволоженості ґрунту, спостерігається зниження коефіцієнтів переходу домінуючих видів. *Ключові слова:* радіонукліди, коефіцієнт переходу, сукцесійні серії.

Features of preparing an environmental impact assessment report in conditions of radiation pollution. Khomiak I., Onyshchuk I., Vasylenko O., Vyhovskyi I.

The article discusses the problem of conducting research to assess the environmental impact within radioactively contaminated territories. It was established that due to the presence of large areas contaminated with radioactive substances on the territory of Ukraine, the procedure for compiling an environmental impact assessment report should have additional aspects of describing plant communities. The purpose of the study is to develop scientifically based recommendations for improving the methodological and regulatory framework for compiling an environmental impact assessment report under conditions of radiation contamination, which will ensure increased efficiency of the EIA procedure and the adoption of justified management decisions in the field of radiation safety. In accordance with the goal, the following tasks were set: analysis and systematization of existing methodological and regulatory approaches to EIA used in conditions of radiation contamination; assessment of the processes of biogenic migration of radionuclides in natural and anthropogenically transformed ecosystems; development and improvement of methodological approaches to assessing radiation impact within the EIA procedure. The materials of the study are standard geobotanical descriptions from 2016 to 2024. The descriptions were made by route-expedition and stationary methods according to standard methods in the territories radioactively contaminated as a result of the Chernobyl accident. The obtained standard geobotanical descriptions were classified according to the principles of the ecological and floristic school of Brown-Blanke. When compiling a report on the assessment of the impact of planned activities on the environment within radioactively contaminated territories, it is necessary to classify vegetation at the level of association variants or subassociations according to the Brown-Blanke classification. These plant communities should be considered as links in succession chains that are under the influence of the above-mentioned planned activities. In a series of pine forest associations built on the long-term level of soil moisture. In this series, there is a decrease in the transition coefficients of the dominant species. *Key words:* radionuclides, transition coefficient, successional series.

Постановка проблеми. Прийняття закону про оцінку впливу на довкілля стало новим етапом до інтеграції українського природоохоронного законодавства в правову систему цивілізованих країн світу [1]. Україна, як учасниця міжнародних конвенцій та угод у сфері охорони довкілля та радіаційної безпеки, зобов'язана забезпечувати проведення ОВД відповідно до міжнародних стандартів. Цей Закон

регламентує правові та організаційні засади здійснення оцінки впливу на довкілля (ОВД) з метою превентивного запобігання негативних наслідків для довкілля, забезпечення екологічної безпеки, охорони довкілля, а також раціонального використання та відтворення природних ресурсів у процесі прийняття управлінських рішень щодо провадження господарської діяльності, потенційно здатної чинити значний

вплив на стан довкілля, з обов'язковим врахуванням державних, громадських та приватних інтересів.

Метою цього Закону є встановлення правових та організаційних механізмів оцінки впливу на довкілля, що забезпечують запобігання нанесення шкоди довкіллю, екологічну безпеку, охорону довкілля та збалансоване використання природних ресурсів при прийнятті рішень про господарську діяльність. Закон встановлює правові та організаційні основи оцінки впливу на довкілля з метою забезпечення екологічної безпеки та сприяння сталому розвитку шляхом запобігання шкоді довкіллю та забезпечення раціонального використання і відтворення природних ресурсів.

Оскільки, на території України великі площі територій забруднені радіоактивними речовинами, то процедура складання звіту щодо оцінки впливу на довкілля, повинна включати додаткові характеристики, які не використовуються за межами забруднених територій. Мова іде не лише про врахування рівня радіаційного фону на досліджуваній території та потенційну можливість забруднення радіонуклідами навколишнього середовища [2]. Важливо також враховувати вплив діяльності людини на процеси біогенної міграції радіонуклідів.

Актуальність дослідження. Наявність історично сформованих зон радіаційного забруднення (наслідки аварії на Чорнобильській АЕС, уранові родовища, військові полігони тощо) вимагає постійного моніторингу та оцінки їх впливу на екосистеми та здоров'я населення. Зміна клімату та пов'язані з цим екстремальні погодні явища (повені, лісові пожежі), можуть призвести до повторного забруднення територій, що раніше вже зазнали радіаційного впливу. Що в свою чергу актуалізує питання оцінки ризиків та розробки відповідних заходів, щодо охорони навколишнього середовища. Зважаючи на те, що на радіоактивно забруднених територіях часто ведеться активна господарська діяльність, в першій половині 2022 року велися активні бойові дії, а в наш час продовжуються фортифікаційні операції із укріплення оборонних рубежів – необхідність оновлення підходів до оцінки впливу на довкілля є актуальною проблемою.

Існуючі методики ОВД, розроблені для загальних випадків, переважно враховують специфічні особливості радіаційного впливу, такі як довготривалість дії, кумулятивний ефект, складність прогнозування міграції радіонуклідів у довкіллі та їх впливу на біологічні об'єкти. Однак, існує потреба у розробці чітких критеріїв оцінки радіаційного ризику, враховуючи різні шляхи надходження радіонуклідів в організм людини (інгаляційний, пероральний, через харчові ланцюги) та особливості впливу різних видів іонізуючого випромінювання. Якісний та об'єктивний звіт з ОВД є необхідною умовою для прийняття обґрунтованих рішень щодо реалізації господарської діяльності, пов'язаної з джерелами

іонізуючого випромінювання, або на територіях, що зазнали радіаційного забруднення. Особливо важливим і поки що мало вивченим елементом є врахування біотичних міграцій радіонуклідів через локальні екосистеми. Таким чином, дослідження особливостей складання звіту з ОВД в умовах радіаційного забруднення є актуальним та необхідним для забезпечення екологічної безпеки, охорони довкілля та сталого розвитку територій.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження потенціалу біогенних міграцій радіонуклідів і його врахування під час складання Звіту оцінки впливу на довкілля є важливим кроком в реалізації різних напрямків програми «Стратегія сталого розвитку України до 2030 року». Також, ці дослідження мають внести вагомий вклад в дослідницьку програму «Дослідження ландшафтних екосистем у межах Українського Полісся».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасній радіоекології спостерігається активний розвиток методології моделювання екологічних процесів в екосистемах або їх компонентах. Зокрема, дослідження розподілу радіонуклідів у трофічних ланцюгах екосистем на території України були проведені в лабораторіях під керівництвом В.Б. Георгієвського.

Досить популярними є камеральні моделі [3]. За умови використання реалістичних середніх значень параметрів взаємодії між компартментами, розроблена модель, забезпечує можливість оцінки та прогнозування динаміки розподілу радіонуклідів, а також визначення максимальних рівнів забруднення та часу, що минув від потенційної аварії на радіаційно небезпечному об'єкті. В екосистемі схилів основним акумулятором радіонуклідів та джерелом опромінення є людська популяція, що активно експлуатує цю екосистему. Значна частина дози опромінення для людей зумовлена споживанням сільськогосподарської продукції, вирощеної на сільськогосподарських терасах.

Накопичення радіонуклідів в різних елементах екосистеми залежить від їхньої динаміки, едафічних умов та типу екосистеми [4]. При цьому, важливими характеристиками видів є коефіцієнти переходу та коефіцієнти накопичення. Коефіцієнт переходу радіонуклідів з ґрунту в рослини визначається як відношення концентрації радіонуклідів в рослині до його концентрації в ґрунті, на якому ця рослина зростає. Цей показник є ключовим параметром у радіоекологічних моделях, що використовуються для прогнозування накопичення радіонуклідів у сільськогосподарських та лісових культурах. Коефіцієнт біологічного накопичення визначається як відношення концентрації певної речовини (наприклад, радіонуклідів) в організмі до її концентрації в навколишньому середовищі [5].

Зазвичай, моделювання міграції та їх накопичення, стосується окремих трофічних ланцюгів. Такі дослідження мають велике прикладне та теоретичне значення. Часто частинами трофічних ланцюгів є види живих організмів, які так чи інакше використовуються людиною. Разом із тим, визначення міграції радіонуклідів для конкретних екосистем, розкриває ще більші можливості для прогнозування змін рівня радіоактивного забруднення територій, які будуть використані для реалізації планової господарської діяльності.

Новизна. Вперше створено систему критеріїв в змісті ОВД, що дозволять оцінити вплив радіації на різні види живих організмів, людину та оселища в цілому, враховуючи біогенну міграцію радіонуклідів в екосистемах.

Методологічне або загальнонаукове значення. Результати дослідження сприяють удосконаленню методології ОВД шляхом розробки нових методів оцінки радіаційного впливу, прогнозування міграції радіонуклідів та оцінки впливу на біорізноманіття. Дослідження сприяє отриманню нових знань про особливості радіаційного впливу на довкілля в різних умовах, включаючи довгострокові ефекти, кумулятивний вплив та синергічну дію з іншими факторами. Ця робота дозволяє уточнити критерії оцінки радіаційного ризику та розробити більш ефективні заходи з радіаційного захисту.

Мета та завдання дослідження: розробка науково обґрунтованих рекомендацій щодо удосконалення методологічних та нормативно-правових засад складання звіту з оцінки впливу на довкілля (ОВД) в умовах радіаційного забруднення, що забезпечить підвищення ефективності процедури ОВД та прийняття обґрунтованих управлінських рішень у сфері радіаційної безпеки.

Відповідно до мети були поставлені завдання дослідження:

- Аналіз та систематизація існуючих методологічних та нормативно-правових підходів до ОВД, що застосовуються в умовах радіаційного забруднення.
- Оцінка процесів біогенної міграції радіонуклідів в природних та антропогенно трансформованих екосистемах.
- Розробка та удосконалення методологічних підходів до оцінки радіаційного впливу в рамках процедури ОВД.

Матеріал і методи дослідження. Матеріалами досліджень є стандартні геоботанічні описи, зроблені на території радіоактивно забруднених територій з 2016 до 2024 рр. Описи виконані маршрутним та стаціонарним методами за стандартними методиками [6]. Отримані стандартні геоботанічні описи класифікувались відповідно до принципів еколого-флористичної школи Брауна Бланке [7] за допомогою програми «Turboweg» [8]. Показники екологічних факторів визначали методами синфітоіндикації з використанням програмного комплексу «Сімаргл» [9].

Результати досліджень. Згідно із методичними рекомендаціями запропонованими Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України, під час опису сучасного стану флори та фауни, а також місцевого біорізноманіття, необхідно оцінити наявність або відсутність у зоні реалізації планованої діяльності чи поблизу неї окремих елементів екосистем. До них відносяться місця існування, розмноження, міграції видів, що охороняються (згідно з Червоною книгою України та іншим природоохоронним законодавством), а також рослинних угруповань занесених до Зеленої книги України та раритетних оселищ. У разі виявлення зазначених об'єктів чи елементів, рекомендується надати їхню характеристику, включаючи площу, кількісні показники (чисельність, відносна частота трапляння, кількість гнізд тощо), структурні параметри (наприклад, висота та вік деревостану), ідентифікувати види рослин і тварин, рослинні угруповання та оселища, а також визначити фонові рівні вмісту забруднюючих речовин у ґрунтах і тканинах рослин та тварин у відповідних екосистемах.

Найбільш поширеною та ефективною класифікацією рослинних угруповань є еколого-флористична класифікація Браун-Бланке. Це ієрархічна класифікація, яка включає в себе рівні асоціації, союзу, порядку та класу. Для виконання завдань визначених методичними рекомендаціями з ОВД, необхідно проводити класифікацію рослинності до різних рівнів. За звичай, достатньо визначення рослинного угруповання до рівня союзу. В окремих випадках необхідно опускатися до рівня асоціації. Мова йде про визначення належності угруповання до Зеленої книги України. Оскільки в Зеленій книзі України, угруповання класифіковані за домінантною класифікацією, то при переході до еколого-флористичної класифікації, її елементи можуть відповідати синтаксонам різного рівня. Наприклад, коли визначають належність оселища до переліку 4 резолюції Бернської конвенції, то за рідкими винятками, рівня союзу виявляється достатньо для опису в ОВД.

Описаний вище підхід добре працює за межами радіоактивно забруднених територій. Однак, часто перерозподіл та накопичення радіонуклідів залежить від особливостей оселищ рослин для опису яких рівня асоціації недостатньо. Візьмемо, як приклад, досить поширені на радіоактивно забруднених територіях соснові ліси, їх синтаксономічна схема за системою Браун-Бланке має такий вигляд.

Vaccinio-Piceetea Br. -Bl. in Br. -Bl. et al. 1939.
Pinetalia sylvestris Oberdorfer 1957: Dicrano-Pinion (Libbert 1933) Matuszkiewicz 1962: Cladonio-Pinetum Juraszek 1927, Dicrano-Pinetum Preising et Knapp ex Oberdorfer 1957, Leucobryo-Pinetum Mat. (1962) 1973, Peucedano-Pinetum W. Mat (1962) 1973, Veronico incanae-Pinetum Bulokhov et Solomeshch 2003, Molinio-Pinetum W. Mat et J. Mat 1973, Vaccinio uliginosae-Pinetum Kleist 1929.

Quercetea robori-petraeae Br. -Bl. et Tüxen ex Oberdorfer 1957: Quercetalia roboris R.Tx 1931: Pino-Quercion Medw. -Korn. 1959: Quercu roboris-Pinetum (W. Mat. 1981) J. Mat. 1988, Serratulo-Pinetum (W. Mat. 1981) J. Mat. 1988.

Міграція та накопичення радіонуклідів в кожній із вищеназваних асоціацій відбувається за дещо відмінними особливостями. Тому, у багатьох випадках оцінки впливу на довкілля, рівня асоціації достатньо для складання прогнозу впливу планової діяльності на довкілля в умовах радіоактивного забруднення. Накопичення радіонуклідів в домінуючих видах дерев залежатиме від ґрунтових умов та їхнього віку. Окрім того, накопичення радіоактивних речовин в лісовій екосистемі, буде залежати від флористичного складу трав'яно-чагарничкового ярусу. Наприклад, в лісах асоціації Dicrano-Pinetum найвищі показники коефіцієнту переходу для ^{137}Cs має *Melampyrum pratense* L. (до $170 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot 10^{-3}$). Однак, проєктивне покриття цього виду в такій асоціації буде коливатися від 1 до 60%. Таким чином, варіант цієї асоціації Dicrano-Pinetum var. *Melampyrum pratense* накопичуватиме в трав'яному ярусі максимальну із можливих варіантів кількість радіоактивного ^{137}Cs . Однак, загальна фітомаса трав'яного покриву асоціації Dicrano-Pinetum коливатиметься лише від 0,1 до 2 т на гектар. Домінуючий вид в асоціації Quercu roboris-Pinetum (клас Quercetea robori-petraeae) *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn. має нижчий коефіцієнт переходу – біля $80 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot 10^{-3}$) варіант асоціації Quercu roboris-Pinetum var. *Pteridium aquilinum* утворює до 6–7 тон надземної фітомаси на гектар. Отже, незважаючи на майже в два рази нижчий коефіцієнт переходу для домінуючого виду трав'яного ярусу, варіант асоціації Quercu roboris-Pinetum var. *Pteridium aquilinum* накопичує на 30% більше радіоактивного ^{137}Cs ніж варіант асоціації Dicrano-Pinetum var. *Melampyrum pratense*.

Обговорення. Спостерігається зниження коефіцієнтів переходу домінуючих та деяких діагностичних видів у ряду асоціацій соснових лісів побудованому за багаторічним рівнем зволоженості

ґрунту. Цей ряд має такий вигляд Dicrano-Pinetum → Leucobryo-Pinetum → Quercu roboris-Pinetum → Serratulo-Pinetum Peucedano-Pinetum → Molinio-Pinetum → Vaccinio uliginosae-Pinetum.

За рахунок значної різниці в коефіцієнтах переходу домінуючих у різних ярусах може виникати помітна різниця в кількості радіонуклідів накопичених екосистемами [10]. Саме тому, передбачаючи вплив планової діяльності на радіоактивно забруднених територіях, необхідно здійснювати класифікацію рослинних угруповань на рівні варіантів асоціації або субасоціації.

При цьому екосистеми слід розглядати як динамічні системи. Тобто, фіксуючи на досліджуваній території певне оселище, слід розглядати його, як ланку в сукцесійному ланцюгу, який буде змінений під дією планової діяльності [11]. У зв'язку із цим зростає значення інших характеристик домінуючих видів. Наприклад, зростання частки дуба призведе до того, що деревина в момент досягнення лісовим насадженням стиглості міститиме менше радіоактивних елементів. Адже, чим довше відбувається цей процес тим менше їх встигне розклатися в деревині. Таким чином види дерев похідних лісів, які будуть використані як ділова деревина або паливо міститимуть більше радіонуклідів ніж деревина довго живучих твердих порід [4].

Висновки. Під час складання звіту оцінки впливу планової діяльності на довкілля в межах радіоактивно забруднених територій необхідно здійснювати класифікацію рослинності на рівні варіантів асоціації або субасоціації за класифікацією Браун-Бланке. Ці угруповання слід розглядати, як ланки в сукцесійних ланцюгах, що перебувають під впливом вище згадуваної планової діяльності.

У ряду асоціацій соснових лісів побудованому за багаторічним рівнем зволоженості ґрунту. Цей ряд має такий вигляд Dicrano-Pinetum → Leucobryo-Pinetum → Quercu roboris-Pinetum → Serratulo-Pinetum Peucedano-Pinetum → Molinio-Pinetum → Vaccinio uliginosae-Pinetum спостерігається зниження коефіцієнтів переходу домінуючих видів.

Література

1. Закон України про оцінку впливу на довкілля URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text> (дата звернення: 20.12.2024)
2. Binh N. T., Quang N. H., T. Y., et al. The transfer of radionuclides in the terrestrial environments – recent research results in monsoon tropical condition of Vietnam. Proc. Int. Conf. Transfer of Radionuclides in Biosphere. Prediction and Assessment. Mito, Japan, 2002. С. 79–89.
3. Петрусенко В. П., Кутлахмедов Ю. О. Оцінка і прогноз розподілу радіонуклідів і дози в типовій екосистемі схилів для ландшафтів України. Збірник наукових праць Національного авіаційного університету. 2006. Т. 28, № 2. С. 134–136.
4. Ірклієнко С. П., Бузун В. О., Дмитренко О. Г., Турчак Ф. М. Функціонування лісових екосистем та ведення лісового господарства в зонах безумовного відселення. Ядерна фізика та енергетика. 2001. Вип. 2 (4). С. 127–132.
5. Eslava-Gomez A., Brown J. Determination of Root Uptake to Vegetables Grown in Soil Contaminated for Twenty-five Years. Health Protection Agency, 2013. С. 13.
6. Якубенко Б.Є., Попович С.Ю., Устименко П.М., Дубина Д.В., Чурілов А.М. Геоботаніка : методичні аспекти досліджень. Ліра, 2020, 316 с.
7. Дубина Д.В. Прогноз рослинності України. Київ : Наукова думка, 2019. 784 с.
8. Hennekens S. Turboveg for Windows. 1998–2007. Version 2. Wageningen: Inst. voor Bos en Natuur. 2009. 84 p.

9. Хом'як І.В., Василенко О.М., Гарбар Д.А., Андрійчук Т.В., Костюк В.С., Власенко Р.П., Шпаковська Л.В., Демчук Н.С., Гарбар О.В., Онищук І.П., Коцюба І.Ю. Методологічні підходи до створення інтегрованого синфітоіндикаційного показника антропогенної трансформації. Екологічні науки. 2020. № 5 (32), Т. 1. С. 136–141.
10. Січенко О. Міграція ^{137}Cs в ланцюгах «грунт-квітка», «квітка-мед», «грунт-мед» при різних технологіях утримання бджіл. Тваринництво України. 2011. № 4. С. 6–9.
11. Хом'як І. В., Пухтаєвич П. П. Екосистемологічний моніторинг на радіоактивно забруднених територіях Центрального Полісся. Теоретичні та прикладні проблеми екосистемології. Житомир : Видавництво ЖДУ, 2008. С. 42.

ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ

УДК 58:069.029+581.54+634.6

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.6-57.33>

ВПЛИВ АБІОТИЧНИХ ФАКТОРІВ СЕРЕДОВИЩА НА ФОРМУВАННЯ КЛІМАТИЧНИХ РЕСУРСІВ ХОРОЛЬСЬКОГО БОТАНІЧНОГО САДУ

Красовський В.В.¹, Рудик А.В.², Козлов А.В.³, Черняк Т.В.¹,
Дяченко-Богун М.М.², Григоренко А.В.⁴

¹Хорольський ботанічний сад

вул. Кременчуцька 1/79, оф. 46, 37800, м. Хорол

²Полтавський національний педагогічний університет імені В.Г. Короленка

вул. Остроградського, 2, 36000, м. Полтава

³Опорний заклад «Хорольський заклад загальної середньої освіти I–III ступенів № 1
Хорольської міської ради Лубенського району Полтавської області»

вул. Незалежності, 110/3, 37800, м. Хорол

⁴Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ

horolbotsad@gmail.com, senior.rudyck1982@ukr.net, ecos.poltava2015@gmail.com,
av_kozlov@ukr.net, alla_gr@ukr.net

Головний напрямок наукових досліджень Хорольського ботанічного саду – інтродукція субтропічних та південних полікарпічних плодкових культур. Оцінювання кліматичного ресурсу є невід’ємною частиною інтродукційних досліджень. У роботі представлено результати оцінки кліматичних ресурсів Хорольського ботанічного саду на основі аналізу статистичних відомостей метеорологічних величин метеорологічної станції м. Лубни, зібраних впродовж 2013–2023 років. Серед них середня січнева та липнева температури повітря, середня річна температура повітря, абсолютна мінімальна та максимальна температура повітря, що фіксувалася, та швидкість і напрям вітру того ж дня, мінімальна та максимальна температури повітря, які зафіксовані за період спостережень 1945–2023 рр., перехід середньодобової температури повітря у весняний і осінній періоди через відповідні показники температури: 0 °C, +5 °C, +10 °C, +15 °C, сума середніх добових температур повітря, вегетаційний період, кількість річних опадів, утворення та сходження снігового покриву.

Встановлено, що поступове підвищення середніх січневих температур повітря, зменшення амплітуди їх коливання, підвищення значень мінімальних річних температур повітря, стабільність середніх температур повітря у липні, підвищення середньорічних температур повітря, скорочення тривалості кліматичної зими і зростання вегетаційного періоду до листопада місяця, відносно стабільні річні показники кількості опадів як впродовж календарного року, так і у весняно-літній період – це ті абіотичні фактори середовища, що формують теперішні кліматичні ресурси Хорольського ботанічного саду і які сприяють інтродукції та культивуванню субтропічних і південних плодкових культур в регіоні. *Ключові слова:* інтродукція, відомості метеорологічних величин, аналіз, оцінка.

Influence of abiotic environmental factors on the formation of climatic resources of the Khoroly botanical garden. Krasovskiy V., Rudyk A., Kozlov A., Cherniak T., Diachenko-Bohun M., Hryhorenko A.

The main direction of scientific research of the Khorol Botanical Garden is the introduction of subtropical and southern polycarpic fruit crops. Assessment of the climatic resource is an integral part of introductory research. The paper presents the results of the assessment of the climatic resources of the Khorol Botanical Garden based on the analysis of statistical data on meteorological values of the meteorological station of the city of Lubny, collected during 2013–2023. Among them are the average January and July air temperatures, the average annual air temperature, the absolute minimum and maximum air temperatures recorded, and the wind speed and direction on the same day, the minimum and maximum air temperatures recorded for the observation period 1945–2023, the transition of the average daily air temperature in the spring and autumn periods through the corresponding temperature indicators: 0 °C, +5 °C, +10 °C, +15 °C, the sum of the average daily air temperatures, the growing season, the amount of annual precipitation, the formation and descent of snow cover.

It has been established that the gradual increase in average January air temperatures, the decrease in the amplitude of their fluctuations, the increase in the values of minimum annual air temperatures, the stability of average air temperatures in July, the increase in average annual air temperatures, the reduction in the duration of the climatic winter and the increase in the growing season until November, the relatively stable annual precipitation indicators both during the calendar year and in the spring-summer period are the abiotic environmental factors that form the current climatic resources of the Khorol Botanical Garden and that contribute to the introduction and cultivation of subtropical and southern fruit crops in the region. *Key words:* introduction, meteorological data, analysis, evaluation.

Актуальність. Хорольський ботанічний сад – об’єкт природно-заповідного фонду України загальнодержавного значення, науково-дослідна природоохоронна установа [1]. На ботанічні сади покладено завдання збереження, вивчення, акліматизацію, розмноження у спеціально створених умовах рідкісних та типових видів місцевої і світової флори [2].

Головним напрямком наукових досліджень установи є інтродукція субтропічних та південних полікарпічних плодівих культур [3–8]. Нині науковцями ботанічного саду проводяться дослідження 29 видів: *Asimina triloba* (L.) Dunal, *Laurus nobilis* L., *Cydonia oblonga* Mill., *Chaenomeles × californica* Clarke ex Weber, *Cormus domestica* L., *Mespilus germanica* L., *Crataegus azarolus* L., *Crataegus opaca* Hooker & Arn., *Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb, *Prunus armeniaca* L., *Pyrus pyrifolia* (Burm. f.) Nakai, *Hovenia dulcis* Thunb., *Ziziphus jujuba* Mill., *Elaeagnus multiflora* Thunb., *Elaeagnus umbellata* Thunb., *Maclura tricuspidata* (Carriere) Bureau, *Ficus carica* L., *Passiflora incarnata* L., *Punica granatum* L., *Feijoa sellowiana* O. Berg, *Pistacia vera* L., *Citrus trifoliata* L., *Zanthoxylum bungeanum* Maxim., *Diospyros virginiana* L., *Diospyros kaki* Thunb., *Camellia sinensis* (L.) Kuntze, *Actinidia chinensis* Planch., *Olea europaea* L., *Corylus avellana* L. [9–14]. Колекція цих рослин має вагомим наукове і практичне значення. Вона є польовою дослідною лабораторією із розроблення наукових основ адаптації цінних плодівих рослин до нових кліматичних умов середовища.

Інтродукція рослин є одним із найважливіших наукових напрямів роботи ботанічних садів. Має важливе значення для введення в культуру цінних груп рослин, базується на фундаментальних та прикладних дослідженнях різних напрямків природознавства і є складовою експериментальної ботаніки. Важливою частиною інтродукційних досліджень було і залишається оцінювання кліматичного ресурсу регіону досліджень [15–17]. Оцінку кліматичного ресурсу здійснюють на основі аналізу відомостей метеорологічних величин абіотичних факторів середовища, що його і формують. У даному випадку серед основних агентів неживої природи, які прямо чи опосередковано впливають на організми, є температура, швидкість і напрям вітру, опади та сніговий покрив. Вони, як і агротехніка культур, є визначальними в інтродукційній діяльності.

Матеріали і методи дослідження. Матеріалом для даної роботи служили метеорологічні величини, виражені у відповідних одиницях виміру. Це температура повітря (t °C), швидкість та напрям вітру (м/с, Пн./Пн.Пн.Сх./Пн.Сх./Сх.Пн.Сх./Сх./Сх.Пд.Сх./Пд.Сх./Пд.Пд.Сх./Пд./Пд.Пд.Зх./Пд.Пд.Зх./Зх.Пд.Зх./Зх./Пн.Зх./Зх.Пн.Зх./Пн.Пн.Зх./Шт.), опади (мм) та сніговий покрив (см).

Методи дослідження – відбір статистичних даних метеорологічних спостережень, аналіз.

У роботі використано відомості метеорологічних величин по метеорологічній станції м. Лубни (гео-

графічні координати: 50°00'56" пн.ш., 32°59'11" сх.д.), зібраних впродовж 2013–2023 рр., окремі відомості – за 1945–2023 рр. Вони є достовірними, надані офіційно і становлять науковий інтерес для наших досліджень.

Результати та їх обговорення. Хорольський ботанічний сад розташований на території південно-східної частини Лубенського району Полтавської області (географічні координати: 49°46'36" пн.ш., 33°15'44" сх.д.). Для з’ясування його кліматичного ресурсу були використані відомості метеорологічних величин по метеорологічній станції м. Лубни, які зведені у відповідні таблиці.

У таблиці 1 представлено середні значення температури повітря у січні за період спостережень протягом 2013–2023 рр. Вони були від’ємними, з амплітудою коливання у 7,2 °C впродовж 2013–2023 рр. У той же час з 2013 по 2019 рр. амплітуда коливання температур була в межах 5 °C, а з 2020 по 2023 рр. зменшилась до 3 °C. Середня січнева температура за період 2013 по 2023 рр. підвищилася на 3–4 °C. Середнє значення середньої січневої температури повітря склало мінус 3,6 °C.

Таблиця 1

Середня січнева температура по роках

Календарний рік	Значення температури, °C
2013	-4,1
2014	-5,4
2015	-2,0
2016	-7,0
2017	-6,0
2018	-3,5
2019	-5,4
2020	+0,2
2021	-2,8
2022	-2,3
2023	-1,3

Абсолютні мінімальні температури (табл. 2) фіксувалися переважно у січні – 9 разів і лише 2 рази – у лютому. Найчастіше це спостерігалось у третій декаді січня – 4 рази, 3 рази – у першій, 2 рази – у другій, і по одному разу в першій і третій декадах лютого. Абсолютні мінімальні температури за вказаний період мають тенденцію до підвищення на 5–6 °C. Вітер у дні, коли фіксувалися абсолютні мінімальні температури був змінних напрямів і характеризувався відповідно до шкали Бофорта як легкий. У семи з одинадцяти випадків, мінімум 3 рази на добу, фіксувався південний напрям вітру.

Загальна тенденція підвищення абсолютних мінімальних показників спостерігається із 1950 р. до 2023 р. (табл. 2). Мінімальна температура повітря,

Таблиця 2

Абсолютна мінімальна температура та швидкість і напрям вітру того ж дня

Календарний рік	Дата (день, місяць)	Температура повітря, °С	Швидкість (м/с) та напрям вітру
2013	10.01	-19,2	2,0 (Пн.Пн.Сх. 2/Пд. 3/Шт. 3)
2014	30.01	-22,8	8,0 (Сх. 8)
2015	08.01	-19,6	2,0 (Пн. 3/Пд.Пд.3х. 1/Пд.3х. 1/ 3х. 1/Пн. 1/ Шт. 1)
2016	25.01	-21,1	3,0 (Пд.Пд.Сх. 1/Пд. 5/Шт. 2)
2017	31.01	-18,9	2,0 (Пд.Пд.Сх. 2/Пд. 6)
2018	26.02	-16,8	2,0 (Пн. 1/Пн.Сх. 1/ Пн.Пн.3х. 6)
2019	25.01	-14,6	3,0 (Пн. 3/Пн.Сх. 3/Пн.Пн.Сх. 1)
2020	09.02	-11,0	2,0 (Сх.Пд.Сх. 2/Пд.Сх. 1/ Пд.Пд.Сх. 3/3х. 1/Шт. 1)
2021	20.01	-21,3	2,0 (Сх. 2/Пд.Сх. 2/3х.Пд.3х. 1/3х. 1/Шт. 1)
2022	13.01	-16,6	2,0 (Пд.Пд.3х. 1/Пд.3х. 2/3х.Пд.3х. 1/3х. 3/Пн.3х. 1)
2023	08.01	-13,9	3,0 (Сх.Пн.Сх. 3/Сх. 2/Сх.Пд.Сх. 2/Пд.Сх. 1)

зафіксована впродовж спостережень 1945–2023 рр. (вибрано 4 роки) наведена в таблиці 3. Якщо за 37 років, з 1950 по 1987 рр., підвищення абсолютної мінімальної температури становило лише 4 °С, то за 2013–2023 рр. підвищення температури було більш відчутним, а саме 5–6 °С, що вказує на пришвидшення темпів пом'якшення клімату в регіоні.

Таблиця 3

Мінімальна температура повітря за період спостережень 1945–2023 рр.

Календарний рік	Дата (місяць, декада)	Температура повітря, °С
1950	Січень, II	-32,1
1956	Лютий, I	-29,3
1963	Січень, III	-29,7
1987	Січень, I	-28,3

Значення середніх температур повітря найтеплішого місяця року – липня (табл. 4), коливалися

в межах 2,5 °С, що вказує на відносну стійкість погодних умов впродовж цього місяця. Середнє значення середньої температури липня за 2013–2023 рр. склало 21,3 °С.

Таблиця 4

Середня липнева температура по роках

Календарний рік	Температура повітря, °С
2013	+21,0
2014	+22,4
2015	+21,1
2016	+22,1
2017	+20,4
2018	+21,3
2019	+19,9
2020	+21,2
2021	+24,2
2022	+20,0
2023	+21,0

Таблиця 5

Абсолютна максимальна температура та швидкість і напрям вітру того ж дня

Календарний рік	Дата (день, місяць)	Температура повітря, °С	Швидкість (м/с) та напрям вітру
2013	28.06	+33,4	2,0 (Сх.Пд.Сх. 2/Шт. 1/Сх.Пн.Сх. 1/Сх. 4)
2014	03.08	+34,9	4,0 (Сх.Пн.Сх. 1/Сх. 6/Шт. 1)
2015	02.08	+35,0	3,0 (Пд.Сх. 1/ Пд.Пд.3х. 2/Пд.3х. 2/ 3х.Пд.3х. 2/Шт. 1)
2016	15.07	+34,4	2,0 (Сх. 1/Сх.Пд.Сх. 5/Пд. 1/Шт. 1)
2017	03.08	+34,5	2,0 (Пн. 1/Пд.Пд.Сх. 1/Пд.Пд.3х. 2/3х. 1/Шт. 3)
2018	15.08	+32,9	2,0 (Сх.Пд.Сх. 2/Пд.Пд.3х. 2/Шт. 4)
2019	13.08	+33,6	3,0 (Пд.Пд.Сх. 1/Пд. 4/Шт. 3)
2020	02.09	+34,3	4,0 (Пн.Сх. 1/Сх.Пн.Сх. 4/Сх. 3)
2021	26.06	+34,1	4,0 (Пн. 2/Пн.Пн.Сх. 1/Пн.Сх. 1/3х.Пн.3х. 1/Шт. 3)
2022	18.07	+32,6	3,0 (Пд.3х. 2/3х.Пд.3х. 4/3х. 2)
2023	06.08	+35,0	7,0 (Сх. 2/Сх.Пд.Сх. 4/Пд.Сх. 2)

У таблиці 5 показано абсолютну максимальну температуру повітря по роках, яка фіксувалася частіше у серпні – 6 разів і переважно у першій декаді місяця – 4 рази, 2 рази у другій декаді, 2 рази у третій декаді червня, 2 рази у другій декаді липня, і лише 1 раз у першій декаді вересня. Абсолютна максимальна температура коливалася в межах 2,4 °С, тенденції до її підвищення впродовж періоду не спостерігалось. Коли були зафіксовані абсолютні максимальні температури, вітер у ті дні мав змінний напрям, характеризувався як легкий протягом 7 разів і 3 рази – як слабкий. У десяти з одинадцяти випадків, мінімум 1 раз на добу, фіксувався східний напрям вітру і 8 разів – південний.

У ті дні, коли проходили над регіоном стійкі антициклони, було зафіксовано абсолютні мінімальна та максимальна температури повітря.

За даними метеостанції, максимальна температура повітря, яка була зафіксована у період спостережень 1945–2023 рр., наведена в таблиці 6, де видно загальну тенденцію підвищення абсолютних максимальних показників із 1946 по 2010 рр. на 1,9 °С. Протягом 2013–2023 рр. подібні екстремальні температури не фіксувалися.

Таблиця 6

Максимальна температура повітря за період спостережень 1945–2023 рр.

Календарний рік	Дата (місяць, декада)	Температура повітря, °С
1946	Серпень, II	+37,6
1967	Липень, III	+38,2
2010	Серпень, I	+39,5

У таблиці 7 показана середня річна температура повітря, яка має сталу тенденцію до зростання. Амплітуда коливання середньорічних температур впродовж періоду спостережень склала 1,7 °С. Середнє значення середніх температур повітря по роках за цей же період становило 9,5 °С.

Таблиця 7

Середня температура повітря

Календарний рік	Температура повітря, °С
2013	+9,4
2014	+9,3
2015	+9,8
2016	+8,9
2017	+9,5
2018	+9,0
2019	+10,1
2020	+10,5
2021	+8,8
2022	+9,1
2023	+10,2

Перехід середньодобової температури повітря у весняний і осінній періоди через значення 0 °С, +5 °С, +10 °С, +15 °С наведено у таблиці 8. Тривалість днів з переходом середньодобової температури повітря через значення 0 °С до нижчої в середньому становила 76 днів і мала тенденцію до зменшення. Початок переходу тричі фіксувався у третій декаді листопада і першій декаді грудня. Закінчувався період переходу переважно в лютому місяці – 7 разів, з них 5 – другий і третій декадах місяця. Отже, зима розпочиналась у більш пізні строки, а весна – раніше кліматичної норми.

Тривалість днів з переходом середньодобової температури повітря через значення +5 °С до вищої в середньому становила 206 днів і має тенденцію до збільшення. Перехід температури повітря через позначку +5 °С є початком вегетаційного періоду. Початок переходу 9 разів фіксувався у березні місяці, з них 7 разів – в третій декаді. Закінчувався період переходу переважно у жовтні – 7 разів, з них 6 – у другій-третьій декадах.

Тривалість днів з переходом середньодобової температури повітря через значення +10 °С до вищої (період активної вегетації сільськогосподарських культур) в середньому становила 168 днів і має тенденцію до збільшення. Початок переходу 10 разів фіксувався у квітні місяці, з них 5 разів у третій декаді, тричі – у другій і двічі – у першій декаді. Закінчувався період переходу по 5 разів у вересні і жовтні. Для вересня у більшості випадків це була третя декада місяця, а для жовтня – перша та друга.

Тривалість днів з переходом середньодобових температур повітря через значення +15 °С до вищої в середньому становила 125 днів. Цей перехід температури через позначку +15 °С є початком кліматичного літа. Початок переходу 7 разів фіксувався у травні, з них 3 рази – в другій декаді і 4 рази – у третій. Закінчувався період переходу у десяти випадках з одинадцяти у вересні: 3 рази у першій декаді, 5 – у другій і 2 – у третій.

Сума середніх добових температур повітря вище +5 °С та вище +10 °С наведена в таблиці 9. Середня сума середніх добових температур повітря вище +5 °С становила 2318,5 °С.

Середня сума середніх добових температур вище +10 °С за період спостережень становила 1468,0 °С.

Початок, закінчення та тривалість вегетаційного періоду впродовж 2013– по 2023 рр. представлено у таблиці 10. Початок вегетації 7 разів припадав на березень, з них – 4 рази на другу декаду, а закінчувався в усіх випадках у листопаді, у другій та третій декадах місяця. Середня тривалість вегетаційного періоду становила 248 днів.

У таблиці 11 наведена кількість опадів за рік і їх розподіл по місяцях. Середньорічне значення кількості опадів за період спостережень становила 593,1 мм.

Таблиця 8

Перехід середньодобової температури повітря у весняний і осінній періоди

Середньодобова температура повітря	Дата (рік, день, місяць,)			
	0 °С	+ 5 °С	+ 10 °С	+15 °С
<i>2013 рік</i>				
<i>Початок</i>	03.12	08.04	18.04	27.04
<i>Кінець</i>	31.03	25.10	24.09	18.09
<i>Тривалість періоду, днів</i>	119	201	160	145
<i>2014 рік</i>				
<i>Початок</i>	18.11	12.03	13.04	11.05
<i>Кінець</i>	09.02	16.10	21.09	14.09
<i>Тривалість періоду, днів</i>	84	219	162	127
<i>2015 рік</i>				
<i>Початок</i>	28.12	27.03	26.04	20.05
<i>Кінець</i>	20.02	05.10	22.09	07.09
<i>Тривалість періоду, днів</i>	55	192	150	111
<i>2016 рік</i>				
<i>Початок</i>	22.11	29.03	07.04	22.05
<i>Кінець</i>	10.02	23.10	07.10	14.09
<i>Тривалість періоду, днів</i>	81	209	183	116
<i>2017 рік</i>				
<i>Початок</i>	09.01	26.04	27.04	21.05
<i>Кінець</i>	19.02	17.10	03.10	25.09
<i>Тривалість періоду, днів</i>	42	175	160	128
<i>2018 рік</i>				
<i>Початок</i>	10.11	28.03	02.04	29.04
<i>Кінець</i>	26.03	26.10	17.10	22.09
<i>Тривалість періоду, днів</i>	136	213	199	147
<i>2019 рік</i>				
<i>Початок</i>	06.02	28.03	27.04	12.05
<i>Кінець</i>	04.03	24.10	13.10	17.09
<i>Тривалість періоду, днів</i>	27	211	170	129
<i>2020 рік</i>				
<i>Початок</i>	01.12	07.03	28.04	05.06
<i>Кінець</i>	25.02	30.09	25.09	17.09
<i>Тривалість періоду, днів</i>	87	208	151	105
<i>2021 рік</i>				
<i>Початок</i>	19.12	26.03	11.05	03.06
<i>Кінець</i>	17.02	18.09	12.09	01.09
<i>Тривалість періоду, днів</i>	61	177	125	91
<i>2022 рік</i>				
<i>Початок</i>	29.11	21.03	23.04	25.05
<i>Кінець</i>	25.02	05.11	31.10	01.09
<i>Тривалість періоду, днів</i>	89	230	192	100
<i>2023 рік</i>				
<i>Початок</i>	04.12	21.03	17.04	13.05
<i>Кінець</i>	31.01	13.11	06.11	01.11
<i>Тривалість періоду, днів</i>	59	238	204	173

Таблиця 9
Сума середніх добових температур повітря

Календарний рік	Вище + 5 °С	Вище + 10 °С
2013	2349,3	1582,7
2014	2395,8	1481,3
2015	2429,0	1508,4
2016	1509,5	1497,7
2017	2418,7	1431,6
2018	2651,1	1644,0
2019	2547,0	1545,1
2020	2342,4	1395,4
2021	2173,3	1373,8
2022	2268,0	1253,0
2023	2419,7	1436,0

Розподіл опадів по місяцях не має чіткої закономірності. Чергуються впродовж одного весняно-літнього періоду як посушливі, так і надмірно зволожені

місяці. У середньому у весняно-літні місяці випало 303,9 мм опадів. Протягом весняно-літнього періоду два рази випадали опади, кількість яких була в 1,7 разів меншою. Найбільш посушливим місяцем виявився серпень. Протягом цього місяця чотири рази випало опадів менше 8 мм, з них два рази – менше 1 мм. Посушливі весняні місяці з кількістю опадів менше 20 мм., якими були у 2017 та 2020 рр. березень і квітень, траплялися рідко.

Кількість опадів у весняно-літній період наведено в таблиці 12. У ній зафіксовано за роками вміст у ґрунті вологи, недостатня кількість якої призводить до виникнення посухи. Частина рослин відчуває нестачу вологи навіть при порівняно невисокій випаровуваності.

У таблиці 13 вказані середні дати утворення снігового покриву, які 5 разів припадали на першу декаду січня. Частіше сніговий покрив сходить у другій та третій декаді лютого (6 разів). Простежується зміщення дат утворення снігового покриву із листопада–грудня – на січень, а також зміщення сходження снігового покриву із лютого на березень.

Таблиця 10

Вегетаційний період

Календарний рік	Тривалість, днів	Початок (день, місяць)	Закінчення (день, місяць)
2013	235	06.04	27.11
2014	248	12.03	15.11
2015	265	10.03	30.11
2016	252	08.03	14.11
2017	254	16.03	24.11
2018	225	06.04	14.11
2019	257	20.03	21.11
2020	265	26.02	16.11
2021	234	28.03	16.11
2022	спостереження не проводилося		
2023	249	14.03	17.11

Таблиця 11

Кількість річних опадів

Рік	За рік (мм)	По місяцях (мм)											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2013	568,5	66,5	28,3	113,4	32,6	34,3	29,7	29,5	57,4	122,7	12,5	23,2	18,4
2014	468,5	32,7	19,7	23,6	49,2	66,1	76,2	25,1	66,2	48,3	28,9	3,4	29,1
2015	543,0	50,6	36,9	84,7	25,0	76,9	83,2	44,5	0,5	39,7	3,4	62,2	35,4
2016	855,5	93,3	55,6	51,1	45,4	193,7	113,5	35,4	34,3	6,9	76,1	82,7	67,5
2017	544,7	44,9	28,9	15,8	15,2	35,4	17,6	89,6	13,8	26,8	74,0	37,4	145,3
2018	610,1	69,2	53,5	110,4	19,3	21,7	117,7	135,9	0,7	39,7	24,8	23,2	94,0
2019	400,3	57,7	28,7	36,4	28,0	63,4	29,5	22,5	7,1	17,3	27,0	39,6	43,1
2020	532,9	36,4	59,3	11,4	18,0	176,3	38,1	67,7	7,9	30,5	20,9	22,4	44,0
2021	620,5	73,8	64,0	26,6	25,0	75,1	75,7	31,0	28,0	62,6	30,1	45,4	83,2
2022	685,7	60,1	18,4	20,7	62,3	21,7	26,4	137,2	22,8	110,3	59,1	58,6	88,1
2023	694,8	16,0	32,5	44,5	71,6	25,3	37,5	89,1	32,7	50,5	100,7	113,4	81,0

Таблиця 12
Кількість опадів у весняно-літній період
(березень-серпень)

Календарний рік	Кількість опадів, мм
2013	296
2014	306,4
2015	314,8
2016	473,4
2017	187,4
2018	405,7
2019	186,9
2020	319,4
2021	261,4
2022	291,1
2023	300,7

Таблиця 13
Середня дата утворення снігового покриву
та сходження

Календарний рік	Дата (день, місяць)	
	утворення	сходження
2012/13	12.12	02.04
2013/14	07.12	28.02
2014/15	01.01	26.02
2015/16	01.01	27.02
2016/17	20.11	28.02
2017/18	20.12	02.04
2018/19	27.11	08.03
2019/20	01.12	18.02
2020/21	11.01	24.03
2021/22	01.01	17.02
2022/23	07.01	13.03

Середній показник кількості днів із сніговим покривом від 10 до 30 см (ця товщина снігового покриву вже захищає взимку корінь рослин)

(табл. 14) становив 32 дні. Протягом останніх чотирьох років кількість днів із сніговим покривом скоротилася.

Таблиця 14
Кількість днів із сніговим покривом
від 10 до 30 см

Календарний рік	Кількість, днів
2013	47
2014	8
2015	20
2016	38
2017	54
2018	48
2019	74
2020	3
2021	30
2022	15
2023	19

Висновки. Поступове підвищення середніх січневих температур повітря, зменшення амплітуди їх коливання, підвищення значень мінімальних річних температур повітря, стабільність середніх температур повітря у липні, підвищення середньорічних температур повітря, скорочення кліматичної зими і подовження вегетаційного періоду до листопада, відносно стабільні річні показники кількості опадів як впродовж календарного року, так і у весняно-літній період, – це ті абіотичні фактори середовища, що формують теперішні кліматичні ресурси Хорольського ботанічного саду і які сприяють інтродукції та культивуванню субтропічних та південних плодівих культур в регіоні.

Вище наведені статистичні дані метеорологічних спостережень можуть бути використані для визначення біоекологічного інтродукційного потенціалу кожного із досліджуваних субтропічних видів.

Література

- Красовський В. В., Козлов А. В. Ботанічний сад у системі ландшафтної забудови міста Хорола : монографія. Полтава : Дивосвіт, 2018. 116 с.
- Про природно-заповідний фонд України : Закон України від 16 червня 1992 р. № 2456-ХІІ / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-12#Text> (дата звернення: 13.01.2025).
- Красовський В. В., Черняк Т. В., Козлов А. В., Орловський О. В. Встановлення критеріїв добору субтропічних рослин для інтродукції в Лісостепу України. *Екологічні науки*. Київ, 2022. № 3(42). С. 157–162. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.3-42.26>.
- Красовський В.В., Козлов А.В., Черняк Т.В. Районування та умови дослідження субтропічних плодівих культур на Полтавщині. *Екологічні науки*. Київ, 2023. № 4(49). С. 211–218. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.28>.
- Красовський В. В., Козлов А. В., Черняк Т. В., Дяченко-Богун М. М., Шкура Т. В., Григоренко А. В. Екологічні аспекти інтродукції субтропічних плодівих культур у Придніпровських краях Лісостепу України. *Екологічні науки*. Київ, 2024. № 1(52). Т. 1. С. 197–203. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.1.31>
- Красовський В. В., Панченко О. О. Перспективи інтродукції субтропічних плодівих культур у Лісостепу України в контексті глобальних та регіональних змін клімату. *Екологічні науки*. Київ, 2017. № 3–4 (18–19). С. 55–63. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.3-48.14>
- Меженський В. М., Меженська Л. О. Формування колекції та удосконалення методів добору нетрадиційних плодівих і декоративних культур : монографія. Київ : ЦП «Компринт», 2015. 480 с.

8. Григор'єва О. В., Клименко С. В. Біологічні особливості хурми віргінської (*Diospyros virginiana* L.) при інтродукції в Лісостепу України. *Сучасні проблеми інтродукції та акліматизації рослин* : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. до 75-річчя Ботанічного саду Дніпропет. нац. ун-ту. Д. : Вид-во ДНУ, 2008. С. 113–114.
9. Красовський В. В., Черняк Т. В., Оніпко В. В., Гапон С. В. Перспективи інтродукції страстоцвіта м'ясо-червоного (*Passiflora incarnata* L.) в Лісостепу України. *Охорона біорізноманіття та історико-культурної спадщини у ботанічних садах та дендропарках* : матеріали Міжнар. наук. конф. Умань, 2021. С. 188–191. DOI <https://doi.org/10.37555/2707-3114.1.2021.247676>.
10. Красовський В. В., Гапон С. В., Єгоркіна С. О., Черняк Т. В. Інтродукція страстоцвіта м'ясо-червоного (*Passiflora incarnata* L.) в умовах Хорольського ботанічного саду. *Біологічні, медичні та науково-педагогічні аспекти здоров'я людини* : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. Полтава, 2022. С. 266–269.
11. Красовський В. В., Черняк Т. В. Фісташка справжня (*Pistacia vera* L.) – потенційний інтродуцент для Лісостепу України. *Основні, малопоширені і нетрадиційні види рослин – від вивчення до освоєння (сільськогосподарські і біологічні науки)* : матеріали III міжнар. наук.-практ. конф. Крути, 2019, Т. 1. С. 181–185.
12. Красовський В. В. Первинне інтродукційне випробування *Amygdalus communis* L. у Хорольському ботанічному саду. *Актуальні проблеми озеленення населених місць: освіта, наука, виробництво, мистецтво формування ландшафту* : матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф. Біла Церква, 2014. С. 55–58.
13. Красовський В. В., Черняк Т. В. Підходи до інтродукції мигдалю звичайного (*Amygdalus communis* L.) в Лісостеп України у Хорольському ботанічному саду. *Збереження рослин у зв'язку зі змінами клімату та біологічними інвазіями* : матеріали Міжнар. наук. конф. Біла Церква : ТОВ «Білоцерківдрук», 2021. С. 79–82.
14. Красовський В. В., Черняк Т. В. Слива солодка (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb) в інтродукційних дослідженнях Хорольського ботанічного саду. *Екологічні науки*, 2023. № 6 (51). С. 191–195. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.ес.6-51.31>.
15. Іванюта С. П., Коломієць О. О., Якушенко Л. М. Зміна клімату : наслідки та заходи адаптації : аналітична доповідь. К. : НІСД, 2020. 110 с.
16. Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах змін клімату : монографія / за ред. С. М. Степаненка, А. М. Польового. Одеса : ТЕС, 2018. 546 с.
17. Глобальні наслідки інтродукції рослин в умовах кліматичних змін : матеріали Міжнар. наук. конф. присвяченої 30-річчю Незалежності України. Київ : Видавництво Ліра-К. 2021. 234 с.

ФАКТОРИ ФОРМУВАННЯ НАСЕЛЕННЯ ГОЛИХ АМЕБ У ВОДОЙМАХ ЗАХІДНОЇ УКРАЇНИ

Пацюк М.К.

Житомирський державний університет імені Івана Франка
вул. В. Бердичівська, 40, 10008, м. Житомир
kostivna@ukr.net

У водоймах різних регіонів України нами ідентифіковано такі види голих амеб: *Rhizamoeba* sp. (1), *Rhizamoeba* sp. (2), *Amoeba proteus* Leidy, 1878, *Polychaos dubium* Schaeffer, 1917, *Deuteramoeba mycophaga* Pussard, Alabouvette et Pons, 1980, *Saccamoeba stagnicola* Page, 1974, *Saccamoeba wakulla* Bovee, 1972, *Saccamoeba limax* Dujardin, 1841, *Saccamoeba* sp. (2), *Saccamoeba* sp. (3), *Thecamoeba striata* Penard, 1890, *Thecamoeba sphaeronucleolus* Greef, 1891, *Thecamoeba* sp., *Stenamoeba stenopodia* Smirnov et al., 2007, *Paradermamoeba valamo* Smirnov et Goodkov, 1993, *Paradermamoeba levis* Smirnov et Goodkov, 1994, *Mayorella cantabrigiensis* Page, 1983, *Mayorella penardi* Page, 1972, *Mayorella viridis* Leidy, 1874, *Mayorella* sp. (1), *Korotnevella stella* Schaeffer, 1926, *Korotnevella diskophora* Smirnov, 1999, *Vexillifera bacillipedes* Page, 1969, *Vannella lata* Page, 1988, *Vannella* sp., *Acanthamoeba* sp., *Cochliopodium actinophorum* Auerbach, 1856, *Cochliopodium minus* Page, 1976, *Flamella* sp., *Vahlkampfia avara* Page, 1967, *Vahlkampfia* sp. (1), *Vahlkampfia* sp. (2), *Vahlkampfia* sp. (3). У водоймах досліджених регіонів голі амеби за частотою трапляння займають різне положення. Визначені діапазони толерантності цих видів до факторів водного середовища. За індексом фауністичної подібності (Ics) списки голих амеб об'єднуються у два кластери, в одному з них опинилися списки видів Хмельницької, Волинської та Рівненської областей, в іншому – Тернопільської області, що пов'язано з подібними екологічними умовами в водоймах досліджених регіонів. Знаходження голих амеб лише в водоймах одного регіону України може бути пов'язано з їх рідкісністю і малочисельністю. Волинська область найбільш подібна за видовим складом голих амеб із Хмельницькою та Рівненською областями (43%). **Ключові слова:** голі амеби, водойми, абіотичні фактори середовища, Україна.

Factors in the formation of the naked amoebae population in water bodies of Western Ukraine. Patsyuk M.

We have identified the following species of naked amoebae in water bodies in different regions of Ukraine: *Rhizamoeba* sp. (1), *Rhizamoeba* sp. (2), *Amoeba proteus* Leidy, 1878, *Polychaos dubium* Schaeffer, 1917, *Deuteramoeba mycophaga* Pussard, Alabouvette et Pons, 1980, *Saccamoeba stagnicola* Page, 1974, *Saccamoeba wakulla* Bovee, 1972, *Saccamoeba limax* Dujardin, 1841, *Saccamoeba* sp. (2), *Saccamoeba* sp. (3), *Thecamoeba striata* Penard, 1890, *Thecamoeba sphaeronucleolus* Greef, 1891, *Thecamoeba* sp., *Stenamoeba stenopodia* Smirnov et al., 2007, *Paradermamoeba valamo* Smirnov et Goodkov, 1993, *Paradermamoeba levis* Smirnov et Goodkov, 1994, *Mayorella cantabrigiensis* Page, 1983, *Mayorella penardi* Page, 1972, *Mayorella viridis* Leidy, 1874, *Mayorella* sp. (1), *Korotnevella stella* Schaeffer, 1926, *Korotnevella diskophora* Smirnov, 1999, *Vexillifera bacillipedes* Page, 1969, *Vannella lata* Page, 1988, *Vannella* sp., *Acanthamoeba* sp., *Cochliopodium actinophorum* Auerbach, 1856, *Cochliopodium minus* Page, 1976, *Flamella* sp., *Vahlkampfia avara* Page, 1967, *Vahlkampfia* sp. (1), *Vahlkampfia* sp. (2), *Vahlkampfia* sp. (3). In the water bodies of the studied regions, naked amoebae occupy a different position in terms of frequency of occurrence. The ranges of tolerance of these species to aquatic environment factors are determined. According to the index of faunal similarity (Ics), the lists of naked amoebae are grouped into two clusters, one of which includes lists of species from Khmelnytsky, Volyn, and Rivne regions, and the other from Ternopil region, due to similar environmental conditions in the water bodies of the studied regions. The finding of naked amoebae only in water bodies in one region of Ukraine may be due to their rarity and small numbers. Volyn region is most similar in species composition to Khmelnytskyi and Rivne regions (43%). **Key words:** naked amoebae, water bodies, abiotic environmental factors, Ukraine.

Постановка проблеми. Сьогодні відомі різні гіпотези, які пояснюють особливості поширення протистів. Згідно убиквітарної гіпотези всі одноклітинні організми є космополітами й на їх поширення впливають фактори середовища. Згідно гіпотези помірної ендемічності поширення більшості протистів визначається географічними факторами [20-23]. Що ж стосується голих амеб, то питання щодо їх поширення обговорювалось в багатьох працях і до цього часу залишаються відкритими. У складі більшості родів відмічаються як прісноводні, так і морські види [28, 29, 31]. Наприклад, всередині роду *Mayorella* є прісноводні (*M. cantabrigiensis*, *Mayorella vespertilioides* Page, 1983, *M. viridis*, *M. penardi* та ін.) і морські види (*Mayorella pussardi* Hollande, Nicolas & Escaig,

1981, *Mayorella kuwaitensis* Page, 1982, *Mayorella gemmifera* Schaeffer, 1926), всередині роду *Vannella* також є прісноводні (*V. lata*, *Vannella cirrifera* Page, 1988, *Vannella miroides* Bovee, 1965 та ін.) і морські (*Vannella devonica* Page, 1979, *Vannella aberdonica* Page, 1980, *Vannella caledonica* Page, 1979, *Vannella arabica* Page, 1980 та ін.) види [4, 5, 10, 11, 13, 16, 20, 26, 29, 31, 39, 40]. В результаті таких досліджень розглядається присутність або відсутність видів або окремих родів у водоймах різних регіонів. Роди та види голих амеб поширені нерівномірно, відповідно, існують фактори середовища, які лімітують їх наявність або відсутність у тому чи іншому регіоні навіть на родовому рівні. Такі ж особливості можна прослідкувати і серед інших груп протистів (черепаш-

кових амеб, інфузорій, форамініфер, гетеротрофних джугутиконосців та ін.) [12, 17-19, 26].

Актуальність дослідження. Голі амеби – одноклітинні еукаріотичні організми, які відіграють значну роль у екосистемних колообігах, є обов'язковою ланкою в мікробних харчових ланцюгах, забезпечуючи шляхи трансформації речовини та енергії в природних біотопах. Ідентифікація видів голих амеб, виділених із природних біотопів, потребує спеціальних досліджень, які засновані на світловій мікроскопії з використанням DIC контрасту та молекулярно-генетичних методах. До використання цих методів за деякими даними нараховувалося більше 2 тисяч видів голих амеб, однак сучасними методами підтверджено наявність близько 200 видів [22, 23, 31]. Інформація щодо екології голих амеб відсутня, відомі лише дані щодо таксономічного складу цих протистів в окремих біотопах [17-23, 27-31]. Комплексні дослідження голих амеб, які охоплюють різні природні біотопи (прісні та морські водойми, ґрунти) дають змогу виявити багато специфічних видів та нових таксонів і встановити особливості їх поширення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Інформація щодо поширення голих амеб практично відсутня, не дивлячись на їх багаточисельність та значну роль в природних екосистемах [3, 6, 9, 14, 15, 24]. Відмічаються знахідки голих амеб під час дослідження трапляння окремих видів або під час порівняння фаун Європи та Північної Америки [27, 30]. У ряді праць відмічаються знахідки окремих видів та родів голих амеб (*Mayorella* Schaeffer, 1926, *Vannella* Bovee, 1965, *Vexillifera* Schaeffer, 1926, *Acanthamoeba* Volkonsky, 1931, *Cochliopodium* Hertwig & Lesser, 1874) у віддалених один від одного біотопах з різними умовами існування [8, 28, 30, 38], що не дає можливості визначити межі їх ареалів. Нами проводяться цілеспрямовані дослідження видів голих амеб у водоймах, ґрунтах, епіфітних й епілітних мохах і лишайниках України, з урахуванням факторів середовища при яких вони реєструвалися, які дають змогу встановити та доповнити відомості про таксономічний склад та особливості поширення цих протистів [32-35].

Матеріал та методи дослідження. Натурні дослідження проводили впродовж 2015-2019 р.р. Проби відбирали з поверхневого шару ґрунту та невеликої кількості придонної води з різних типів водойм Волинської, Рівненської, Тернопільської та Хмельницької областей України. Окремо були відібрані проби для визначення гідрохімічних показників води водойм. Температуру води вимірювали калібрувальним водним ртутним термометром з ціною поділки 0,1-0,5 °С. Визначали вміст розчиненого в воді кисню йодометричним методом за Вінклером [2]; концентрацію розчинених у воді органічних речовин (за перманганатною окислюваністю) – за Кубелем [1, 2]. Розмножували голих амеб на непо-

живному агар-агарі за методикою Ф. Пейджа [30, 31]. Ідентифікацію видів здійснювали за допомогою світлового мікроскопу Axio Imager M1 із застосуванням диференційного інтерференційного контрасту. Розрахунки проводили за допомогою пакетів програм MS Excel (Microsoft Excel, 2002), Past 3.11 [25]. Для порівняння фауністичних списків використано індекс Чекановського-С'еренсена (I_{cs}) [36]:

$$I_{cs} = c \cdot ((a + b) - c)^{-1},$$

де: a – число видів у першому списку;

b – число видів, у другому списку;

c – загальна кількість видів у 2-х списках.

Сучасні дослідження не дозволяють отримати дані щодо чисельності голих амеб, тому ми визначали частоту трапляння видів (R). R визначали, як частку проб, в яких знайдений вид від загального числа досліджених проб [7]. Амеби вважалися найбільш поширеними, якщо частота трапляння видів складала 50 % і більше, від 30 до 50 % – займали середнє положення за частотою трапляння, менше 30 % – найменш поширені види [37].

Викладення основного матеріалу. У водоймах досліджених регіонів України (Волинської, Рівненської, Тернопільської та Хмельницької областей) нами ідентифіковано 33 види голих амеб. Найбільша кількість видів характерна для водойм Волинської області (20 видів), найменша – Тернопільської області (7 видів), у водоймах Хмельницької та Рівненської областей знайдено 15 та 13 видів відповідно. *T. striata* та *Flamella* sp. характерні для водойм усіх досліджених регіонів й їх можна вважати евритопними видами.

Види голих амеб у водоймах різних регіонів поширені нерівномірно, що пов'язано з факторами середовища. На основі власних даних щодо поширення голих амеб у водоймах досліджених регіонів України ми з'ясували значення факторів середовища при яких реєструвалися голі амеби та визначили діапазони толерантності до цих факторів (табл. 1).

У водоймах Волинської області трапляються такі види амеб: *A. proteus*, *D. mycophaga*, *S. stagnicola*, *S. limax*, *Saccamoeba* sp. (2), *T. striata*, *T. sphaeronucleolus*, *S. stenopodia*, *P. valamo*, *M. penardi*, *M. viridis*, *Mayorella* sp. (1), *K. stella*, *V. bacillipedes*, *Vannella* sp., *Acanthamoeba* sp., *Flamella* sp., *C. minus*, *Vahlkampfia* sp. (1), *Vahlkampfia* sp. (2). Частота трапляння цих видів у досліджених водоймах складає від 2,9 до 27 % (рис. 1).

Знайдені нами види амеб траплялися при таких значеннях абіотичних факторів водного середовища: *D. mycophaga* за температури води водойм +13 °С, концентрації розчиненого в воді кисню 8,34 мг/л, вмісті розчинених у воді органічних речовин 9,09 мг O_2 /л; *Saccamoeba* sp. (2), *Acanthamoeba* sp. за температури води водойм +12,5 °С, концентрації розчиненого в воді кисню 9,36 мг/л, вмісті розчинених у воді органічних речовин 10,18 мг O_2 /л;

Діапазони толерантності голих амеб до факторів середовища

№ з/п	Види голих амеб	Температура, °С	Концентрація розчиненого в воді кисню, мг/л	Концентрація розчинених у воді органічних речовин, мг О ₂ /л
1.	<i>Rhizamoeba</i> sp. (1)	+8	13,11	10,18
2.	<i>Rhizamoeba</i> sp. (2)	+12	6,87	13,12
3.	<i>Amoeba proteus</i>	+18	12,08	25,14
4.	<i>Polychaos dubium</i>	+18	9,18	22,18
5.	<i>Deuteroamoeba mycophaga</i>	+12-13	8,34	9,09
6.	<i>Saccamoeba stagnicola</i>	+13	8,43-12,18	9,09-11,12
7.	<i>Saccamoeba limax</i>	+18	12,08	25,14
8.	<i>Saccamoeba wakulla</i>	+17	5,13	29,48
9.	<i>Saccamoeba</i> sp. (2)	+12,5	9,36	10,18
10.	<i>Saccamoeba</i> sp. (3)	+10-19	8,34-13,18	9,64-32,18
11.	<i>Thecamoeba striata</i>	+8-19	8,12-8,34	9,09-34,29
12.	<i>Thecamoeba sphaeronucleolus</i>	+14	8,32	10,08
13.	<i>Thecamoeba</i> sp.	+13	8,12	34,29
14.	<i>Stenamoeba stenopodia</i>	+8-13	8,19-13,11	10,18-11,12
15.	<i>Paradermatamoeba valamo</i>	+8-14	8,32-13,11	10,08-10,18
16.	<i>Paradermatamoeba levis</i>	+8	13,11	10,18
17.	<i>Mayorella cantabrigiensis</i>	+8-12	6,87-13,11	10,18-13,12
18.	<i>Mayorella penardi</i>	+13-18	10,40-12,08	8,64-25,14
19.	<i>Mayorella viridis</i>	+14-18	8,32-9,18	10,08-22,18
20.	<i>Mayorella</i> sp. (1)	+13	8,19	11,12
21.	<i>Korotnevela stella</i>	+12-13	6,87-8,19	11,12-13,12
22.	<i>Korotnevela diskophora</i>	+8-12	6,87-13,11	10,18-13,12
23.	<i>Vexillifera bacillipedes</i>	+8-14	13,11-13,14	10,18-34,29
24.	<i>Vannella lata</i>	+8-12	6,87-13,11	10,18-13,12
25.	<i>Vannella</i> sp.	+14	13,14	19,18
26.	<i>Acanthamoeba</i> sp.	+12,5-19	8,43-9,36	9,64-32,18
27.	<i>Cochliopodium actinophorum</i>	+8-13	8,43-13,11	9,64-10,18
28.	<i>Cochliopodium minus</i>	+18	12,08	25,14
29.	<i>Flamella</i> sp.	+8-18	9,18-12,08	10,18-29,48
30.	<i>Vahlkampfia avara</i>	+16	6,84	32,18
31.	<i>Vahlkampfia</i> sp. (1)	+14	13,14	19,18
32.	<i>Vahlkampfia</i> sp. (2)	+12-14	12,18-13,14	10,26-19,18
33.	<i>Vahlkampfia</i> sp. (3)	+12-18	9,18-12,18	10,26-29,48

Vannella sp., *Vahlkampfia* sp. (1), *Vahlkampfia* sp. (2) за температури води водойм +14 °С, концентрації розчиненого в воді кисню 13,14 мг/л, вмісті розчинених у воді органічних речовин 19,18 мг О₂/л; *Mayorella* sp. (1), *S. stenopodia*, *K. stella* за температури води водойм +13 °С, концентрації розчиненого в воді кисню 8,19 мг/л, вмісті розчинених у воді органічних речовин 11,12 мг О₂/л; *A. proteus*, *S. limax*, *Flamella* sp., *C. minus* за температури води водойм +18 °С, концентрації розчиненого в воді кисню 12,08 мг/л, вмісті розчинених у воді органічних речовин 25,14 мг О₂/л; *M. viridis*, *P. valamo*, *T. sphaeronucleolus* за темпера-

тури води водойм +14 °С, концентрації розчиненого в воді кисню 8,32 мг/л, вмісті розчинених у воді органічних речовин 10,08 мг О₂/л; *S. stagnicola* за температури води водойм +13 °С, концентрації розчиненого в воді кисню від 8,19 до 8,34 мг/л, вмісті розчинених у воді органічних речовин від 9,09 до 11,12 мг О₂/л; *M. penardi* за температури води водойм від +13 до +18 °С, концентрації розчиненого в воді кисню від 10,40 до 12,08 мг/л, вмісті розчинених у воді органічних речовин від 8,64 до 25,14 мг О₂/л; *T. striata* за температури води водойм від +12,5 до +13 °С, концентрації розчиненого в воді кисню від

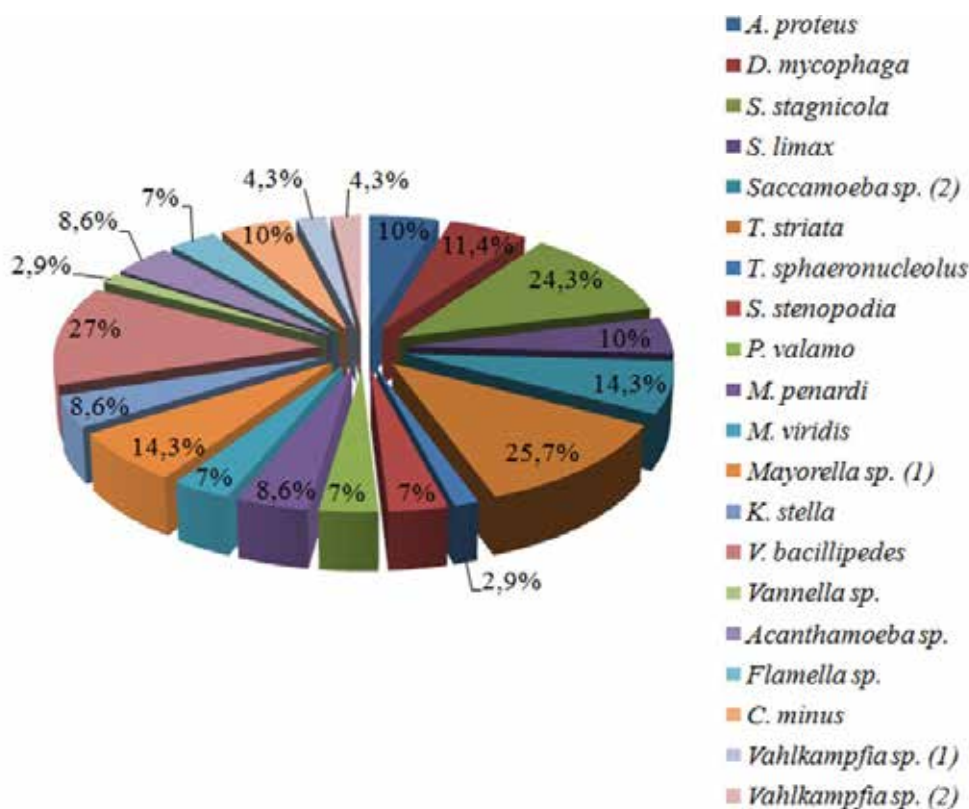


Рис. 1. Частота трапляння голих амоб у водоймах Волинської області

8,34 до 9,36 мг/л, вмісті розчинених у воді органічних речовин від 9,09 до 10,18 мг O₂/л; *V. bacillipedes* за температури води водойм від +12,5 до +14 °С, концентрації розчиненого в воді кисню від 9,36 до 13,14 мг/л, вмісті розчинених у воді органічних речовин від 10,18 до 19,18 мг O₂/л.

У водоймах Рівненської області знайдено 13 видів амоб: *Rhizamoeba* sp. (2), *P. dubium*, *Saccamoeba* sp. (3), *T. striata*, *Thecamoeba* sp., *M. cantabrigiensis*, *M. viridis*, *Mayorella* sp. (1), *K. stella*, *K. diskophora*, *V. bacillipedes*, *V. lata*, *Flamella* sp. Усі знайдені нами амоби в досліджуваних водоймах виявилися малопоширеними. Частота трапляння цих протистів складає від 6 до 20,8 % (рис. 2).

Rhizamoeba sp. (2), *M. cantabrigiensis*, *K. stella*, *K. diskophora*, *V. lata* траплялися за температури води водойм +12 °С, концентрації розчиненого в воді кисню 6,87 мг/л, вмісті розчинених у воді органічних речовин 13,12 мг O₂/л.

P. dubium, *M. viridis* траплялися за температури води водойм +18 °С, концентрації розчиненого в воді кисню 9,18 мг/л, вмісті розчинених у воді органічних речовин 22,18 мг O₂/л.

Saccamoeba sp. (3) траплялася за температури води водойм +10 °С, концентрації розчиненого в воді кисню 8,34 мг/л, вмісті розчинених у воді органічних речовин 9,64 мг O₂/л.

T. striata, *Thecamoeba* sp., *V. bacillipedes* траплялися за температури води водойм +13 °С, концентрації

розчиненого в воді кисню 8,12 мг/л, вмісті розчинених у воді органічних речовин 34,29 мг O₂/л.

Flamella sp., *Mayorella* sp. (1) траплялися за температури води водойм +9 °С, концентрації розчиненого в воді кисню 8,36 мг/л, вмісті розчинених у воді органічних речовин 20,84 мг O₂/л.

У водоймах Тернопільської області нами ідентифіковані види амоб *S. wakulla*, *Saccamoeba* sp. (3), *T. striata*, *Acanthamoeba* sp., *Flamella* sp., *V. avara*, *Vahlkampfia* sp. (3). Середнє положення за частотою трапляння в водоймах досліджуваного регіону займають види *T. striata* (33 %), *Acanthamoeba* sp. (33 %), *V. avara* (30 %), малопоширеними виявилися види *S. wakulla* (26,7 %), *Saccamoeba* sp. (3) (23,3 %), *Flamella* sp. (16,7 %), *Vahlkampfia* sp. (3) (6,7 %) (рис. 3).

Знайдені нами види амоб витримують такі значення абіотичних факторів водного середовища.

Flamella sp., *Vahlkampfia* sp. (3) траплялися за температури води водойм +18 °С, концентрації розчиненого в воді кисню 9,18 мг/л, вмісті розчинених у воді органічних речовин 29,48 мг O₂/л.

S. wakulla траплялася за температури води водойм +17 °С, концентрації розчиненого в воді кисню 5,13 мг/л, вмісті розчинених у воді органічних речовин 29,48 мг O₂/л.

Saccamoeba sp. (3), *T. striata*, *Acanthamoeba* sp. траплялися за температури води водойм +19 °С, концентрації розчиненого в воді кисню 13,18 мг/л,

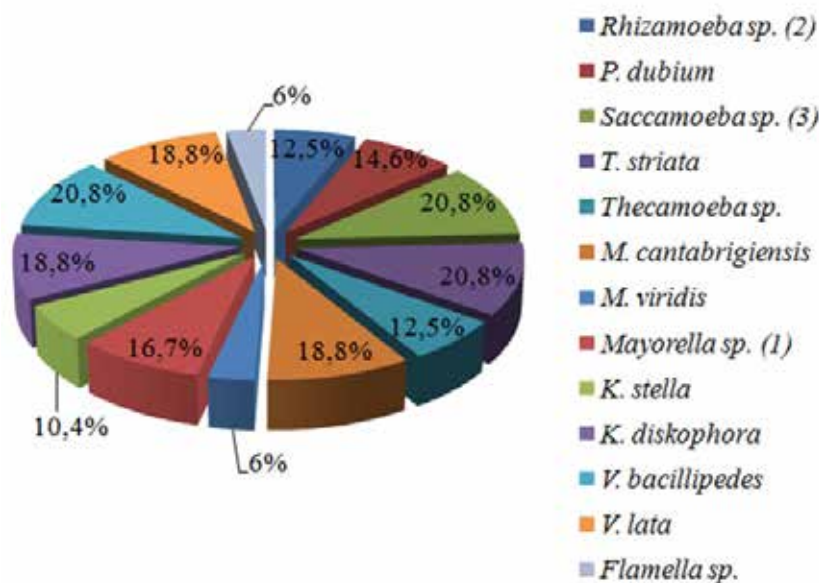


Рис. 2. Частота трапляння голих амеб у водоймах Рівненської області

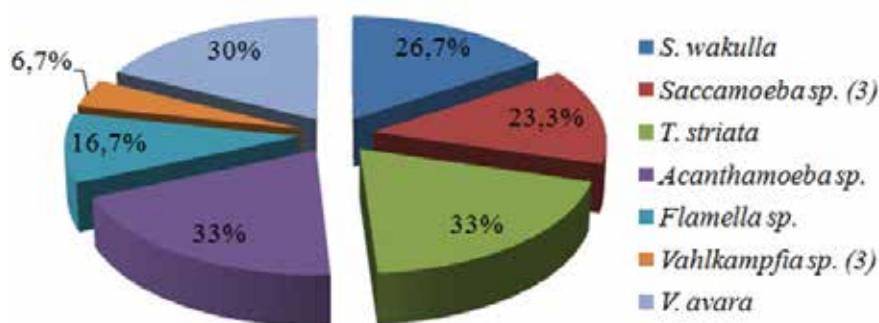


Рис. 3. Частота трапляння голих амеб у водоймах Тернопільської області

вмісті розчинених у воді органічних речовин 32,18 мг O₂/л.

V. avara траплялася за температури води водойм +16 °С, концентрації розчиненого в воді кисню 6,84 мг/л, вмісті розчинених у воді органічних речовин 32,18 мг O₂/л.

У водоймах Хмельницької області нами ідентифіковані такі види амеб: *Rhizamoeba* sp. (1), *S. stagnicola*, *T. striata*, *S. stenopodia*, *P. valamo*, *P. levis*, *M. cantabrigiensis*, *K. diskophora*, *V. bacillipedes*, *V. lata*, *Acanthamoeba* sp., *C. actinophorum*, *Flamella* sp., *Vahlkampfia* sp. (2), *Vahlkampfia* sp. (3).

У досліджуваних водоймах найбільш поширеною виявилася амеба *S. stagnicola* (57 %); середнє положення за частотою трапляння займають види *C. actinophorum* (42,9 %), *Acanthamoeba* sp. (40 %); інші види виявилися малопоширеними – *T. striata* (28,6 %), *M. cantabrigiensis* (28,6 %), *V. lata* (28,6 %), *V. bacillipedes* (25,7 %), *S. stenopodia* (22,9 %), *Vahlkampfia* sp. (3) (23 %), *K. diskophora* (22,6 %), *Vahlkampfia* sp. (2) (20 %), *Rhizamoeba* sp. (1)

(11,4 %), *P. levis* (11,4 %), *P. valamo* (8,6 %), *Flamella* sp. (8,6 %) (рис. 4).

Знайдені нами види амеб витримують такі значення абіотичних чинників водного середовища.

Rhizamoeba sp. (1), *T. striata*, *S. stenopodia*, *P. valamo*, *P. levis*, *M. cantabrigiensis*, *K. diskophora*, *V. bacillipedes*, *V. lata*, *Flamella* sp. траплялися за температури води водойм +8 °С, концентрації розчиненого в воді кисню 13,11 мг/л, вмісті розчинених у воді органічних речовин 10,18 мг O₂/л.

Vahlkampfia sp. (2), *Vahlkampfia* sp. (3) траплялися за температури води водойм +12 °С, концентрації розчиненого в воді кисню 12,18 мг/л, вмісті розчинених у воді органічних речовин 10,26 мг O₂/л.

Acanthamoeba sp. траплялася за температури води водойм +13 °С, концентрації розчиненого в воді кисню 8,43 мг/л, вмісті розчинених у воді органічних речовин 9,64 мг O₂/л.

S. stagnicola траплялася за температури води водойм від +12 до +13 °С, концентрації розчиненого в воді кисню від 8,43 до 12,18 мг/л, вмісті

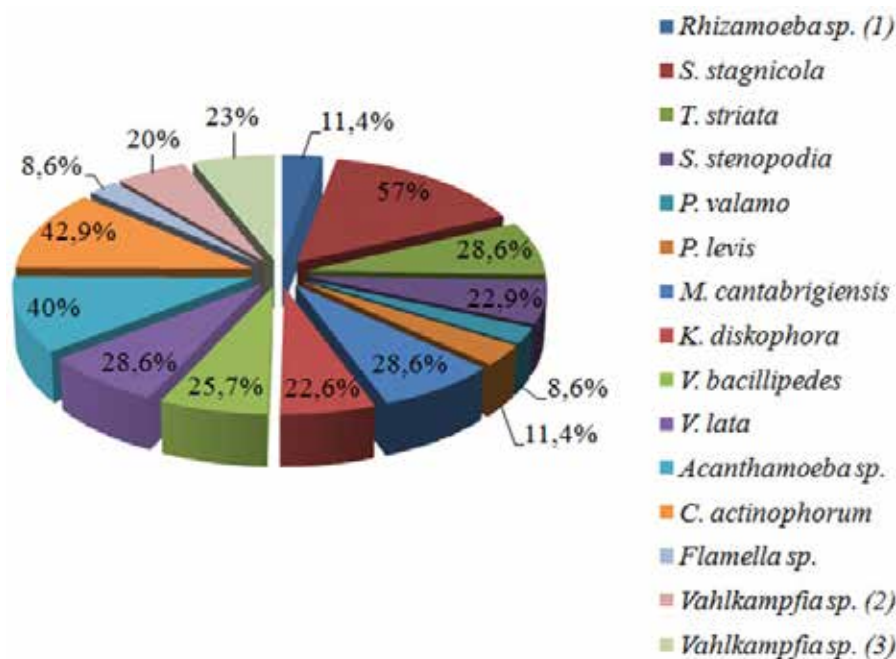


Рис. 4. Частота трапляння голих аміб у водоймах Хмельницької області

розчинених у воді органічних речовин від 9,64 до 10,26 мг O₂/л.

C. actinophorum траплялася за температури води водойм від +8 до +13 °С, концентрації розчиненого в воді кисню від 8,43 до 13,11 мг/л, вмісті розчинених у воді органічних речовин від 9,64 до 10,18 мг O₂/л.

Таким чином, за низької концентрації розчиненого в воді кисню траплялися види *Rhizamoeba sp. (2)*, *S. wakulla*, *V. avara*; за високої – *Rhizamoeba sp. (1)*, *Saccamoeba sp. (3)*, *S. stenopodia*, *P. valamo*, *P. levis*, *M. cantabrigiensis*, *K. diskophora*, *V. bacillipedes*, *V. lata*, *Vannella sp.*, *C. minus*, *Vahlkampfia sp. (1)*, *Vahlkampfia sp. (2)*. За низької концентрації розчинених у воді органічних речовин траплялися види – *D. mycophaga*, *C. actinophorum*; за високої – *Saccamoeba sp. (3)*, *T. striata*, *Thecamoeba sp.*, *V. bacillipedes*, *Acanthamoeba sp.*, *V. avara*. Низьку температуру води витримують види *Rhizamoeba sp. (1)*, *P. valamo*; високу – *Saccamoeba sp. (3)*, *T. striata*, *Acanthamoeba sp.*

Ми з'ясували, чи існують видові списки голих аміб, характерні для окремих регіонів України. Порівняльний аналіз видових списків досліджених регіонів України проводили за допомогою індексу Чекановського-Серенсена (Ics). Волинська область має порівняно невисокі значення Ics з Хмельницькою (0,43), Рівненською (0,36) та Тернопільською (0,22) областями. Між Рівненською та Хмельницькою областями ступінь подібності видових списків голих аміб складає 0,43 та 0,30 відповідно. Низький Ics спостерігається в парі між Тернопільською та Хмельницькою областями.

З рис. 3 видно, що виділені нами регіони об'єднуються в два кластери за результатами Bootstrap-

аналізу в 55 та 100 % (рис. 5). Перший комплекс утворюють види голих аміб Тернопільської області, другий – Хмельницької, Волинської та Рівненської областей. Вірогідність існування першого кластеру складає 100 %. Цей комплекс утворюють 7 видів голих аміб, специфіку якого визначають види *S. wakulla* й *V. avara*, які не траплялися в водоймах інших регіонів України.

Вірогідність існування другого кластеру становить 55 %. У цей комплекс входить найбільша кількість голих аміб, специфіку якого визначають види *Rhizamoeba sp. (1)*, *Rhizamoeba sp. (2)*, *A. proteus*, *P. dubium*, *D. mycophaga*, *S. stagnicola*, *S. limax*, *Saccamoeba sp. (2)*, *T. sphaeronucleolus*, *Thecamoeba sp.*, *S. stenopodia*, *P. valamo*, *P. levis*, *M. cantabrigiensis*, *M. penardi*, *M. viridis*, *Mayorella sp. (1)*, *K. stella*, *K. diskophora*, *V. bacillipedes*, *V. lata*, *Vannella sp.*, *C. actinophorum*, *C. minus*, *Vahlkampfia sp. (1)*, *Vahlkampfia sp. (2)*. Такий результат може бути пов'язаний із подібними значеннями температури води, концентрації розчинених у воді кисню та органічних речовин (за перманганатною окислюваністю), які витримують види голих аміб у водоймах досліджених регіонів України й визначають їх склад.

Висновки. У водоймах Волинської, Рівненської, Тернопільської та Хмельницької областей нами виявлено 33 види голих аміб. *T. striata* та *Flamella sp.* характерні для водойм усіх регіонів України й їх можна вважати евритопними видами. *A. proteus*, *D. mycophaga*, *S. limax*, *Saccamoeba sp. (2)*, *T. sphaeronucleolus*, *M. penardi*, *Vannella sp.*, *C. minus*, *Vahlkampfia sp. (1)* траплялися лише у водоймах Волинської області; *Rhizamoeba sp. (2)*, *P. dubium*,

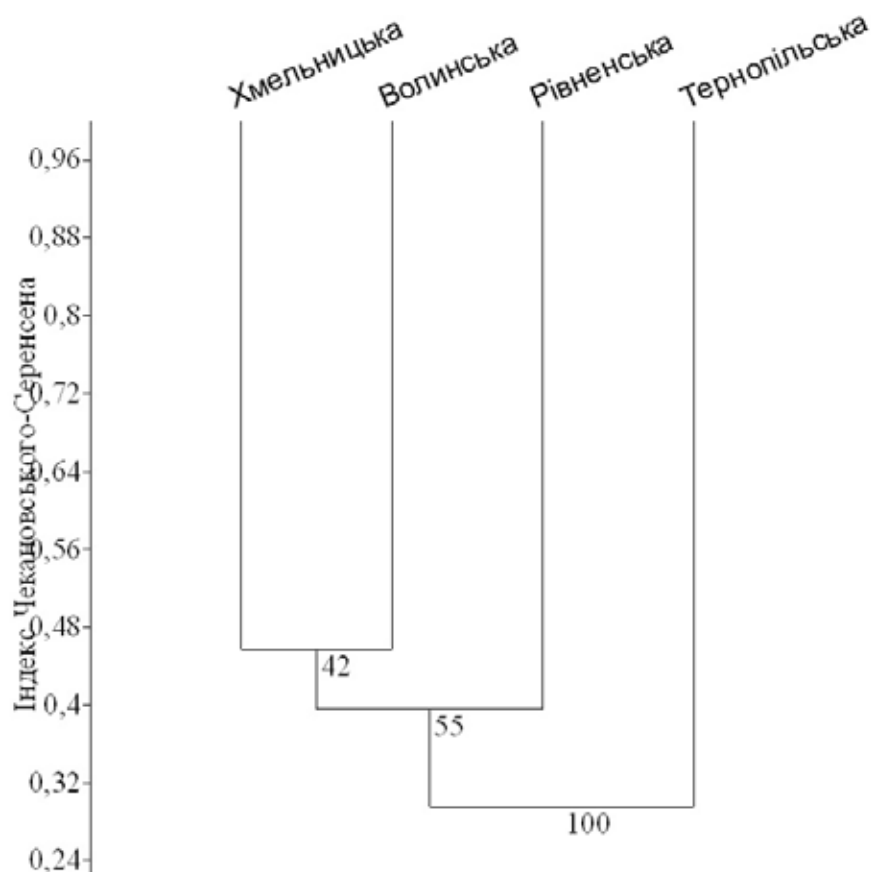


Рис. 5. Розподіл голих амеб у водоймах різних регіонів України (за індексом Чекановського-Серенсена). У вузлах дендрограми результати Bootstrap-аналізу

Thecamoeba sp. – Рівненської області; *S. wakulla*, *V. avara* – Тернопільської області; *Rhizamoeba* sp. (1), *P. levis*, *C. actinophorum* – Хмельницької області. Для всіх знайдених видів голих амеб визначені діапазони толерантності до абіотичних факторів водного середовища. За результатами кластерного аналізу списки голих амеб Хмельницької, Волинської та Рівненської областей попадають в один кластер, в другий – Тернопільської області, це, ймовірно, пов'язане з тим, що в цих регіонах подібні екологічні умови.

Перспективи використання результатів дослідження. Дослідження голих амеб у складі регіональних фаун, порівняння їх із видами з віддалених місцезнаходжень дає змогу одержати достовірні дані, які слугують для вивчення поширення цих протистів. Порівнюючи отримані дані з результатами раніше виконаних робіт можна прослідкувати зміни в фауні голих амеб у добре вивченому біотопі, скласти її характеристику з використанням морфологічних та екологічних даних, виявити багато специфічних видів і встановити особливості їх поширення.

Література

1. Методичний посібник з визначення якості води. Упоряд. : В. І. Щербак, Е. О. Арістархова, Г. Є. Бойко, Ю. Л. Гучек, Т. М. Косонова, В. І. Назаренко, О. А. Петрушенко. Київ, 2002. 51 с.
2. Набиванець Б. Й., Осадчий В. І., Осадча Н. М., Набиванець Ю. Б. Аналітична хімія поверхневих вод. К. : Наукова думка. 2007. С. 85-300.
3. Пацюк М. К. Голі амеби Житомирського та Волинського Полісся (фауна, таксономія, екологія). Дисертація канд. біол. наук: 03.00.08, Нац. акад. наук України, Ін-т зоології ім. І. І. Шмальгаузена. К., 2012. 180 с.
4. Anderson O. R. Fine structure of a marine amoeba associated with a blue-green alga in the Sargasso Sea. J. Protozool. 1977. Vol. 24. P. 370-376.
5. Anderson O. R., Rogerson A., Hannah F. Three new limax amoebae isolated from marine surface sediments: *Vahlkampfia caledonica* n. sp., *Saccamoeba marina* n. sp., and *Hartmannella vacuolata* n. sp. J. Eukaryot. Microbiol. 1997. Vol. 44. P. 33-42.
6. Arndt H. A Critical Review of Importance of Rhizopods and Actinopods in Lake Plankton. Marine Microbial Food Webs. 1993. Vol. 7. P. 3-29.
7. Barnes R. S. K. What if any thing, is a brackish-water fauna? Trans. R. Soc. Edinb. 1989. Vol. 80. P. 235-240.

8. Bischoff P. An analysis of the abundance, diversity and patchiness of terrestrial Gymnamoebae in relation to soil depth and precipitation events following a drought in Southeastern USA. *Acta Protozool.* 2002. Vol. 41. P. 183-189.
9. Butler H., Rogerson A. Temporal and spatial abundance of naked amoebae (Gymnamoebae) in marine benthic sediments of the Clyde Sea area, Scotland. *J. Euk. Microbiol.* 1995. Vol. 42 (6). P. 724-730.
10. Butler H., Rogerson A. Growth potential, production efficiency and annual production of marine benthic naked amoebae (gymnamoebae) inhabiting sediments of the Clyde Sea area, Scotland. *Aquatic Microbial Ecology.* 1996. Vol. 10. P. 123-129.
11. Butler H., Rogerson A. Naked amoebae from benthic sediments in the Clyde Sea area, Scotland. *Ophelia.* 2000. Vol. 53. P. 37-54.
12. Costello M. J.; Emblow C., White R. J. (Ed.) European register of marine species: a check-list of the marine species in Europe and a bibliography of guides to their identification. *Collection Patrimoines Naturels*, 50. Musium national d'Histoire naturelle: Paris, 2001. 463 pp.
13. Davis P. G., Caron A., Sieburth J. Mc. N. Oceanic amoebae from the North Atlantic: culture, distribution and taxonomy. *Trans. Am. Microsc. Soc.* 1978. Vol. 97. P. 73-88.
14. Ekelund F., Ronn R. Notes on protozoa in agricultural soil, with emphasis on heterotrophic flagellates and naked amoebae and their ecology. *FEMS Microbiology Reviews.* 1994. Vol. 15. P. 321-353.
15. Ekelund F., Patterson D. J. Some heterotrophic flagellates from a cultivated garden Soil in Australia. *Arch. Protistenkd.* 1997. Vol. 148. P. 461-478.
16. Fenchel T. There are more small than large species? *Oikos.* 1993. Vol. 68 (2). P. 375-378.
17. Finlay B., Esteban G., Fenchel T. Protozoan diversity: converging of the global number of free-living ciliate species. *Protist.* 1998. 149. P. 29-37.
18. Finlay B. Protozoa. *Encyclopedia of biodiversity.* 2001. Vol 4. P. 901-915.
19. Foissner W. Faunistics, taxonomy and ecology of moss and soil ciliates (Protozoa, Ciliophora) from Antarctica, with description of new species, including *Pleuroplitoides smithi* gen. n., sp. n. *Acta Protozool.* 1996. Vol. 35. P. 95-123.
20. Foissner W. Protist diversity: estimates of the near-imponderable. *Protist.* 1999. Vol. 150. P. 363-368.
21. Foissner W. Biogeography and dispersal of microorganisms: a review emphasizing protists. *Acta Protozool.* 2006. Vol. 45. P. 111-136.
22. Foissner W. Protist diversity and distribution: some basic considerations. *Biodivers. Conserv.* 2008. Vol. 17. P. 235-242.
23. Foissner W. Dispersal and biogeography of protists: recent advances. *Jap. J. Protozool.* 2007. Vol. 40. P. 1-16.
24. Foster R., Dormaar J. Bacteria-grazing amoebae in situ in the rhizosphere. *Biology and fertility of soils.* 1991. Vol. 11. P. 83-87.
25. Hammer O., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Palaeontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol. electronic.* 2001. Vol. 4, Iss. 1, Art. 4. P. 1-9.
26. Hannah F., Rogerson A. The Temporal and Spatial Distribution of Foraminiferans in Marine Benthic Sediments of the Clyde Sea Area, Scotland. *Estuarine, Coastal and Shelf Science.* 1997. Vol. 44. P. 377-383.
27. Page F. C. Some comparative notes on the occurrence of Gymnamoebia (Protozoa, Sarcodina) in British and American habitats. *Trans. Am. microsc. Soc.* 1976. Vol. 95. P. 385-394.
28. Page F. C. A Key to Marine Species of *Vannella* (Sarcodina : Gymnamoebia), With Descriptions of New Species. *J. mar. biol. Ass. UK.* 1980. Vol. 60. P. 929-946.
29. Page F. C. Marine gymnamoebae. Institute of Terrestrial Ecology, Cambridge, 1983. 54 pp.
30. Page F.C. The classification of «naked» amoebae (phylum Rhizopoda). *Arch Protistenkd.* 1987. Vol. 133. P. 199-217.
31. Page F. C., Siemensma F. J. Nackte Rhizopoda und Heliozoa (Protozoenfauna Band 2). Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York, 1991. P. 3-170.
32. Patsyuk M.K. Tolerance of Naked Amoebas (Protista) to the Abiotic Factors. *Nature Montenegrina. Podgorica.* 2013. Vol. 12 (2). P. 319-323.
33. Patsyuk M. K. Peculiarities of the Spatial Distribution of Naked Amoebas in Sandy Bottom Sediments of a Small River. *Hydrobiological Journal.* 2018. Vol. 54 (5). P. 102-111.
34. Patsyuk M. K., Onyshchuk I. P. Diversity and Distribution of Naked Amoebae in Water Bodies of Sumy Region (Ukraine). *Vestnik Zoologii.* 2019. Vol. 53 (3). P. 177-186.
35. Patsyuk M. K. Naked lobose amoebae of the genus *Mayorella* (Amoebozoa, Discosea, Dermamoebida) in Ukrainian water bodies. *Zoodiversity.* 2020. Vol. 54 (2). P. 89-94
36. Ramette A. Multivariate analyses in microbial ecology. *FEMS Microbiol. Ecol.* 2007. Vol. 62(2). P. 142-160.
37. Raunkiaer C. Formations Undersogelse og Formations Statistik. Investigations and statistics of plant formations, 1934. P. 201-282.
38. Rodriguez-Zaragosa S., Garcia S. Species richness and abundance of naked amoeba in the rhizoplane of the desert plant *escontria chiotilla* (Cactaceae). *J. Euk. Microbiol.* 1997. Vol. 44 (2). P. 122-126.
39. Rogerson A. On the abundance of marine naked amoebae on the surface of five species of macroalgae. *FEMS Microbiol. Letters.* 1991. Vol. 85. P. 301-312.
40. Rogerson A., Gwaltney C. High numbers of naked amoebae in planktonic waters of a mangrove stand in southern Florid, USA. *J. Eukaryot. Microbiol.* 2000. Vol. 27 (3). P. 235-241.

ЗМІНА КЛІМАТУ

УДК 551.583

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.6-57.35>

АНАЛІЗ МЕТОДОЛОГІЧНИХ ПІДХОДІВ ОЦІНКИ РИЗИКІВ І ВРАЗЛИВОСТІ ДО ЗМІНИ КЛІМАТУ НА РІВНІ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД

Дядін Д.В.¹, Дрозд О.М.^{1,2}

¹Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
вул. Черноглазівська, 17, 61002, м. Харків

²Estación Experimental de Aula Dei, EEAD-CSIC
Avenida Montañana, 1005, 50059, Zaragoza, España

dmytro.diadin@kname.edu.ua, olena.drozd@kname.edu.ua, odrozd@eead.csic.es

Сталий розвиток території потребує оцінювання поточного стану і стратегічного планування з урахуванням наявних ризиків і загроз природного і антропогенного походження. За прогнозами експертів, негативний вплив антропогенної зміни клімату буде посилюватись і позначатиметься на функціонуванні усіх соціально-економічних секторів. Реалізація положень державної кліматичної політики та міжнародних зобов'язань України щодо досягнення кліматичної нейтральності, зниження негативних наслідків зміни клімату та адаптації до них зумовлюють потребу проведення оцінки ризиків і вразливості до зміни клімату на національному, регіональному і локальному рівнях. Оцінка спрямована на визначення існуючих і потенційних кліматичних загроз, виявлення вразливих елементів та процесів у соціально-економічних галузях і природних екосистемах для встановлення пріоритетних заходів та напрямів з адаптації або зменшення негативних наслідків. Проаналізовано методологічні підходи оцінки ризиків і вразливості, що базуються на результатах оціночних звітів МГЕЗК: настанови GIZ, стандарт ISO 14091:2021, настанови Європейської місії з адаптації до зміни клімату, рекомендації Угоди мерів та наявні українські методологічні підходи. Аналіз показав, що Україна інтегрує міжнародний досвід в створення нормативно-методичної бази оцінювання наслідків впливу зміни клімату та розробки заходів з адаптації. Висвітлено наявні переваги і недоліки існуючих методологічних підходів для застосування їх на рівні громад. Визначено, що в умовах поточних реалій, коли більшість громад стикаються з обмеженою доступністю до кліматичних і просторових даних, нестачею фахівців відповідного профілю або експертного супроводу, оцінювання кліматичних ризиків і вразливості за міжнародними методологічними підходами на локальному рівні залишається складним процесом. Результати цього аналізу можуть стати концептуальною основою розробки практичних інструментів/підходів проведення оцінки ризиків і вразливості до змін клімату на локальному рівні. *Ключові слова:* сталий розвиток, зміна клімату, оцінювання, ризики і вразливість, громади.

Analysis of methodological approaches to assessing risks and vulnerability to climate change at the level of territorial communities. Diadin D., Drozd O.

Sustainable development of territories requires an assessment of the current state and strategic planning, considering existing natural and anthropogenic risks and hazards. Experts predict that the negative impact of anthropogenic climate change will increase and affect the functioning of all social and economic sectors. Implementation of the state climate policy and Ukraine's international commitments to achieve climate neutrality, mitigate the negative effects of climate change and adapt to them requires risk and vulnerability assessment to climate change at the national, regional and local levels. The assessment aims to reveal existing and potential climate hazards and identify vulnerable elements and processes in socio-economic sectors and natural ecosystems to set priority measures and directions for adaptation or mitigation of negative effects. The methodological approaches to risk and vulnerability assessment based on the results of the IPCC assessment reports are analysed: GIZ guidelines, ISO 14091:2021 standard, guidelines of the European Climate Change Adaptation Mission, Covenant of Mayors recommendations, and existing Ukrainian methodological approaches. The analysis has shown that Ukraine is integrating international experience into the elaboration of regulatory and methodological frameworks for the assessment of climate change impact and adaptation measures development. The advantages and disadvantages of existing methodological approaches for their application at the local community level are highlighted. It is determined that in the current realities, when most communities face limited access to climate and spatial data, lack of specialists in the relevant field or expert support, climate risks and vulnerability assessment using international methodological approaches at the local level remains a complex process. The results of this analysis can serve as a conceptual basis for the development of practical tools/approaches for climate change risks and vulnerability assessment at a local level. *Key words:* sustainable development, climate change, assessment, risks and vulnerability, local communities.

Постановка проблеми. За останні двадцять років зміна клімату стала однією з головних тем у глобальній економіці й політиці, особливо в контексті необхідності скорочення викидів парникових газів і переходу до низьковуглецевого розвитку. На

міжнародному рівні питання регулюються такими документами як Рамкова конвенція ООН про зміну клімату, Кіотський протокол, Паризька угода та ін. У рамках євроінтеграційного процесу та на виконання умов Угоди про асоціацію, Україна виконує

кліматичні зобов'язання шляхом удосконалення національної кліматичної політики та імплементації положень європейського кліматичного законодавства, що закріплює загальну мету – досягнення кліматичної нейтральності.

Реалізація цілей державної кліматичної політики потребує інтеграції кліматичних питань в інші сфери на основі кроссекторального підходу. Стратегічне планування визначає нагальну потребу оцінювання ризиків і вразливості до зміни клімату для всіх соціально-економічних секторів на державному, регіональному і локальному рівнях.

Актуальність дослідження. Результати аналітичних досліджень Міжнародної групи експертів зі зміни клімату (далі – МГЕЗК), наведені в останньому 6-му Оціночному звіті [1], беззаперечно свідчать про неминуче глобальне потепління із зростанням температури на 1,5°C у першій половині 2030-х років і велику ймовірність зростання до 2,0°C до кінця сторіччя. Негативний вплив антропогенної зміни клімату буде посилюватись і позначатиметься на доступності водних ресурсів, біорізноманітті та стані природних екосистем, виробництві продовольства, функціонуванні поселень та інфраструктури, здоров'ї і добробуті населення. Ступінь негативного впливу визначається вразливістю соціально-економічних секторів і природних систем до проявів зміни клімату.

Оцінка ризиків і вразливості до зміни клімату має на меті виявити поточні та майбутні кліматичні загрози, встановити уразливі об'єкти та процеси в соціально-економічних секторах і природних екосистемах, ідентифікувати пріоритетні напрями та заходи з адаптації та/або пом'якшення впливів. Планування та впровадження заходів з адаптації до зміни клімату останніми роками значно розвинулося в усіх секторах і регіонах із документально підтвердженими перевагами та різним ступенем ефективності. За оцінками МГЕЗК, незважаючи на прогрес, в адаптації існують прогалини, які поглиблюватимуться за поточних темпів впровадження. Основними бар'єрами на шляху адаптації виступають обмеженість ресурсів, недосконалість методичної бази, недостатнє залучення приватного сектору та громадськості, низький рівень фінансового забезпечення (у тому числі наукових досліджень), обмеженість досліджень та/або повільне і використання досягнень науки в галузі кліматичної вразливості та адаптації, низький рівень кліматичної грамотності, відсутність політичної волі та недостатнє усвідомлення нагальності проблеми [1].

На підтримку впровадження адаптації у секторах і громадах європейських держав створені портали Climate-Adapt Tool [2], які надають рамкові рекомендації щодо планування та реалізації адаптаційних заходів. В них наголошується, що розробка і впровадження заходів з адаптації має спиратися на розуміння поточних і майбутніх ризиків і вразливості

до кліматичних загроз. Отже, завдання проведення оцінки ризиків і вразливості є мультидисциплінарним і потребує наукового підґрунтя.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Стратегією формування та реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2035 року, Законом України “Про основні засади державної кліматичної політики” ключовими напрямками визначено підтримку низьковуглецевого розвитку, забезпечення екологічної, продовольчої та енергетичної безпеки держави, досягнення кліматичної нейтральності, пом'якшення наслідків змін клімату та адаптації [3]. Посилення адаптаційної спроможності, зниження вразливості та підвищення стійкості соціально-економічних та природних систем до зміни клімату є одним із пунктів у переліку середньострокових цілей державної кліматичної політики [4]. Стратегія екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату України до 2030 року [5] ставить завдання щодо проведення оцінки ризиків і вразливості до зміни клімату в ключових вразливих соціально-економічних секторах на державному рівні.

Одним із дієвих інструментів досягнення кліматичних цілей на локальному рівні є Угода мерів, яка об'єднує територіальні громади в їхньому прагненні подолання кліматичних викликів. Станом на кінець 2024 року, до цієї Європейської ініціативи з реалізації кліматичних та енергетичних цілей приєдналися 359 із 1469 територіальних громад в Україні, сумарне кількість мешканців яких сягає 50,55% загального населення країни [6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останніми роками українські науковці присвячують значну увагу питанням зміни клімату, про що свідчить помітне зростання переліку публікацій за цим напрямом. Проте, переважна частина досліджень в Україні стосується аналізу зміни кліматичних факторів – зростання температури [7, 8, 9], зміни режиму випадіння та кількості атмосферних опадів [10], зміни кількості та частоти стихійних явищ [11], аналізу впливу зміни клімату на окремі сектори або їхні складові [12–15]. Аналіз адаптаційного потенціалу та заходи з адаптації також виступають об'єктом досліджень українських вчених [16–19].

Питання оцінки ризиків і вразливості до зміни клімату, зокрема і методичних підходів, у публікаціях українських науковців практично не висвітлюються. Разом з тим, багато міжнародних і українських теоретичних напрацювань свідчать про активне створення необхідної теоретичної основи для розроблення уніфікованих підходів для громад.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Аналіз наявних методологічних підходів оцінки ризиків і вразливості до змін клімату в цій статті має на меті виявлення переваг і обмежень їх практичного застосування громадами.

Новизна. На основі проведеного аналізу визначено ключові обмеження вибору і практичного застосування наявних методологічних підходів для оцінки ризиків і вразливості соціально-економічних секторів на рівні громад, обґрунтовано нагальну потребу удосконалення методичного забезпечення за даним напрямом.

Методологічне значення. Проведене дослідження дозволяє сформулювати концептуальні основи розробки практичних інструментів/підходів проведення оцінки ризиків і вразливості до зміни клімату на локальному рівні.

Викладення основного матеріалу.

Методологічну основу оцінки ризиків і вразливості закладено в оціночних звітах МГЕЗК [1, 21, 22]. Вони встановлюють ключові поняття ризику і вразливості, а також їхніх складових – кліматичних загроз, впливу, чутливості, здатності до адаптації та перебування під дією. Згідно з удосконаленою концепцією 6-го Оціночного звіту МГЕЗК [1], ризик є результатом динамічних взаємодій між кліматичними загрозами (climate-related hazards), перебуванням під дією (exposure) та вразливістю (vulnerability) суспільства, видів та екосистем в умовах зміни клімату. Кліматична загроза – це потенційне виникнення природної або антропогенної фізичної події або тенденції, яка може спричинити загибель людей, травми або інші наслідки для здоров'я, а також пошкодження та втрату майна, інфраструктури, засобів до існування, надання послуг, екосистем та екологічних ресурсів. Перебування під дією – присутність людей, засобів до існування, видів або екосистем, екологічних функцій, послуг і ресурсів, інфраструктури, або економічних, соціальних чи культурних активів у місцях і умовах, які можуть зазнати негативного впливу. Під впливом розуміють наслідки реалізованих ризиків для природних та людських систем, які виникли внаслідок дії кліматичних загроз на вразливі об'єкти, що перебувають під дією цих загроз. Вразливість – це схильність або сприйнятливність до негативного впливу, яка визначається комбінацією чутливості до шкоди та нестачі здатності справлятися зі шкодою та адаптуватися до неї. Таким чином, величина ризику для певної системи чи об'єкту є функцією трьох основних складових – кліматичної загрози, перебування під дією та вразливості.

Аналогічний концептуальний підхід до встановлення ключових складових оцінки ризику та вразливості представлено у міжнародному стандарті ISO 14091:2021 [26], який посилається на 5-й оціночний звіт МГЕЗК [22], де вперше було запропоновано використати ризик-орієнтований підхід і поставити головною метою оцінки саме поняття ризику, який є похідною загрози, перебування під дією та вразливості. Стандарт встановлює порядок здійснення оцінки ризиків і вразливості, формалізуючи методику поетапного оцінювання: 1) встановлення

кліматичних загроз та впливів шляхом складання ланцюжків впливів; 2) визначення індикаторів для оцінювання кожного компонента ризику; 3) збирання та впорядкування даних; 4) агрегування індикаторів та компонентів ризику; 5) оцінювання здатності до адаптації.

Після виходу 5-го Оціночного звіту МГЕЗК у 2014 році [22], відомою та успішною спробою стандартизувати методику оцінки ризиків і вразливості була розробка відповідних настанов Німецьким товариством міжнародного співробітництва (GIZ) – Vulnerability Sourcebook [23]. Це був перший і до цього часу залишається чи не єдиний документ, який містить чіткі та структуровані настанови щодо оцінки ризиків і вразливості, що можуть бути застосовані для будь-яких вразливих соціально-економічних секторів, систем чи об'єктів. Доповнення до цих настанов, видане у 2017 році [24], враховує концепцію ризику, представлену в 5-му оціночному звіті МГЕЗК [22]. Доповнені настанови містять вісім етапів оцінювання, для кожного з яких надані зрозумілі інструкції з прикладами оцінки: 1) підготовка до оцінки ризиків; 2) розробка ланцюжків впливу; 3) ідентифікація та вибір індикаторів; 4) збирання та впорядкування даних; 5) нормалізація даних індикаторів; 6) зважування та агрегування індикаторів; 7) агрегування компонентів ризику; 8) представлення результатів оцінки ризику.

Настанови пропонують структурований та чіткий підхід, процедури нормалізації, однак зважування та агрегування індикаторів залишаються складним завданням для реалізації. Особливо це актуально для громад, де розробка оцінки ризиків і вразливості здійснюється за умов нестачі висококваліфікованих експертів, науковців та обмеженості наявних даних. Крім того, уніфікований характер настанов не дає чіткого розуміння як саме побудувати процедуру оцінки для визначення ризиків і вразливості на рівні окремих секторів та об'єктів у їхньому складі.

Удосконалення підходів, викладених у розглянутих документах, представлено в настановах Європейської місії з адаптації до зміни клімату [25], рекомендованих до використання в рамках інструменту з підтримки регіональної адаптації Європейським агентством з охорони довкілля та Європейською Комісією [28].

Концептуально ці настанови базуються на підходах МГЕЗК [1, 22], але їхньою особливістю є врахування в оцінці ризиків майбутніх сценаріїв впливу кліматичних загроз у короткотривалій та довготривалій перспективах, а також ймовірності впливів, що є невід'ємною складовою базового поняття ризику. У методологічному контексті автори настанов пропонують структурований та логічний індикаторний підхід з використанням шкали від 1 до 5 балів, уніфікованої для всіх оцінюваних компонентів ризику – чутливості, здатності до адаптації, вразливості, перебування під дією, впливу, ймовірності

та самого ризику. Використання запропонованих у настановах наборів матриць полегшує проведення оцінки в практичній реалізації, усуваючи необхідність проводити ускладнені розрахунки зважування та агрегування індикаторів. Оцінку рекомендовано проводити окремо для кожного сектора або його компонента відносно кожної кліматичної загрози. Алгоритм оцінки передбачає три послідовно зв'язаних етапи: 1) встановлення ступеня чутливості та здатності до адаптації, співвідношення яких у матриці автоматично визначає величину вразливості; 2) встановлення величини перебування під дією, співвідношення якої з величиною вразливості у матриці автоматично визначає величину впливу; 3) встановлення ступеня ймовірності, співвідношення якого з величиною впливу в матриці автоматично визначає величину ризику. Результатом оцінки є фактично набори таблиць, у яких із високим ступенем деталізації представлено величину ризику та всіх його складових, експертно оцінених за єдиною шкалою для кожного вразливого сектора або його компонента для кожної релевантної кліматичної загрози для обраних кліматичних сценаріїв відносно періодів різної тривалості у майбутньому. Такий підхід повністю зберігає сутність термінів вразливості та ризику, встановлених МГЕЗК, та дозволяє їх визначити без проведення додаткових складних розрахунків.

На виконання Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату України до 2030 року [5] Міндовкілля України було прийнято Методичні рекомендації для здійснення оцінки ризиків і вразливості соціально-економічних секторів і природних складових до зміни клімату [29]. Методичні рекомендації призначені для проведення відповідної оцінки на національному, регіональному та локальному рівнях і, в основному, пропонують до застосування підходи, представлені на основі розглянутих вище концепції ризику 5-го оціночного звіту МГЕЗК [22], міжнародного стандарту ISO 14091:2021 [26] та методики, викладеної в настановах GIZ [23, 24]. У рекомендаціях розглянуто 11 соціально-економічних секторів та природних складових, визначених Стратегією [5] як вразливі в Україні: біорізноманіття, водні ресурси, енергетика, громадське здоров'я, лісове господарство, прибережні території, рибне господарство, сільське господарство та ґрунти, територіальні громади, транспорт та інфраструктура, туризм. Для кожного із цих секторів представлені приклади індикаторів кліматичних загроз, чутливості, здатності до адаптації, перебування під дією з урахуванням українського контексту, що є цінною практичною перевагою даних рекомендацій.

У вересні 2024 року Міндовкілля України презентувало перші обласні стратегії адаптації до зміни клімату, розроблені для трьох пілотних областей – Львівської, Івано-Франківської та Миколаївської – у рамках міжнародного проєкту APENA 3 [30–32].

Спільною групою міжнародних та українських кліматичних експертів у цих стратегіях було виконано регіональну оцінку ризиків і вразливості до зміни клімату за авторською методологією. Сильною стороною розроблених стратегій є ретельний, змістовний та ґрунтовний аналіз кліматичних загроз, виконаний авторами на основі масштабування прогнозних даних глобальних та регіональних кліматичних моделей СМІР 6. Проаналізований у стратегіях перелік кліматичних загроз відповідає чинникам кліматичного впливу (climate-impact drivers), встановленим у 6-му Оціночному звіті IPCC [1]. Оцінку автори проводили для двох кліматичних сценаріїв (помірного RCP 4.5 та найгіршого RCP 8.5) і трьох часових інтервалів (2021-2040 рр., 2041-2060 рр., 2081-2100 рр.) у порівнянні з базовими періодами 1981-2010 рр., 1991-2010 рр., 1986-2005 рр.

Отримані в результаті проведеного аналізу набори кліматичних даних по кожній області представляють високу практичну цінність для проведення оцінки ризиків і вразливості на локальному рівні в громадах. Просторова роздільна здатність отриманих даних становить 0,1 градуса сітки (розмір комірки орієнтовно 10x12 км), що дозволяє з достатнім ступенем достовірності визначити усереднені показники всіх визначених кліматичних загроз для території будь-якої громади у межах області. На нашу думку, в оцінці прогнозованих змін кліматичних характеристик за пороговими значеннями, автори використали неточний переклад терміну, позначивши по суті ступінь зміни кліматичних загроз терміном “ступінь впливу кліматичних чинників”. Наприклад, якщо прогнозується зростання середньорічної температури повітря на 3,5°C, це можна класифікувати як високий рівень цієї кліматичної загрози, але чи чинитиме це високий вплив на сектори та об'єкти території, можна визначити лише після встановлення інших складових ризику – чутливості, перебування під дією тощо. Це відповідає дефініції терміну “вплив”, що наводяться в оціночних звітах МГЕЗК та інших методологічних підходах [1, 21–24, 26].

У частині оцінки величини вразливості в даних стратегіях є певні відхилення від підходів, запропонованих МГЕЗК, що не знижує цінність результатів оцінки на регіональному рівні, але ускладнює використання цієї методології на локальному. Зокрема, автори не врахували показник здатності до адаптації як складову вразливості, представили вразливість як похідну від двох величин – ступеня кліматичної загрози та чутливості сектора, а також свідомо спростили показник перебування під дією до значення 1, припускаючи, що в кожній точці дослідження в рівному ступені присутні всі соціально-економічні сектори. Крім того, ступінь чутливості секторів до кліматичних загроз (впливів), який приймали автори в оцінці, не відрізнявся для різних територій (областей). Для таких секторів як

здоров'я населення або будівлі це може бути виправданим, але для секторів, стан яких істотно залежить від кліматичних та фізико-географічних умов території, наприклад, рослинництво або водні ресурси, коефіцієнти чутливості до кліматичних загроз імовірно мають відрізнятися для областей, враховуючи специфіку території. Припускаємо, що на регіональному рівні ці спрощення не впливають на об'єктивність результатів та обґрунтованість запропонованих заходів з адаптації, але використання цих результатів на локальному рівні має певну обмеженість.

Складання Плану дій сталого енергетичного розвитку та клімату (ПДСЕРК) в рамках Угоди мерів зобов'язує територіальні громади здійснювати оцінку ризиків і вразливості до зміни клімату. Проведення оцінки ризиків і вразливості до зміни клімату є обов'язковою частиною ПДСЕРК, на якій ґрунтується заходи з адаптації, передбачені громадою для впровадження. Спільним дослідницьким центром (JRC) Європейської комісії було видано настанови з розробки ПДСЕРК, які серед іншого включали рекомендації щодо проведення оцінки ризиків і вразливості [37]. Згідно з цим підходом, оцінка ризиків і вразливості розглядається як складова циклу адаптації громад, який передує етапу ідентифікації адаптаційних заходів [27]. Автори слушно зауважують на необхідності використання узгодженої спільної термінології в проведенні оцінки, зокрема, стосовно визначень її основних компонентів – чутливості (sensitivity), перебування під дією (exposure), вразливості (vulnerability), трактування яких може різнитися в різних методологічних підходах. Автори закликають дотримуватися концепції та дефініції термінів, запропонованих в 5-му Оціночному звіті МГЕЗК [22]. Особливо корисною, на наш погляд, є пропозиція є застосування двох підходів у проведенні оцінки ризиків і вразливості для громад. Перший підхід передбачає розробку просторових моделей кліматичних впливів і побудову карт вразливостей і ризиків, наприклад, карти зон ризику затоплення внаслідок повеней, спричинених кліматичними загрозами. Цей підхід можна рекомендувати для громад, які мають значну площу території, високу просторову різноманітність та кількість вразливих об'єктів і систем. Іншим підходом є індикаторна оцінка, яка використовує набори індикаторів, що якісно та/або кількісно характеризують ступінь вразливості та ризиків на території громади в окремих соціально-економічних секторах. Перший підхід вимагає наявності відповідних експертних знань і можливостей застосування геоінформаційних технологій, що може бути проблемним для невеликих громад. Другий підхід є більш придатним в умовах обмежених даних і ресурсів, які є в громаді. Разом з тим, цей документ не надає конкретних рекомендованих алгоритмів проведення оцінки ризиків і вразливості, віддаючи цей вибір на розсуд і розуміння громад.

Ще у 2014 р. групою українських експертів було запропоновано методіку, що передбачає визначення ступеня вразливості міста за наборами встановлених індикаторів [20]. Індикатори згруповані в сім груп, кожна містить 12 або 6 індикаторів для рівномірності оцінки та представляє одну із кліматичних загроз або негативних впливів: тепловий стрес, затоплення територій, впливи на зелені зони, стихійні метеорологічні явища, дефіцит питної води, розповсюдження захворювань, вплив на енергосистеми міста. Ступінь прояву кожного індикатора оцінюється за простою шкалою з трьох категорій – неактуально (0 балів), актуально (1 бал) і дуже актуально (2 бали). Чітко окреслений перелік конкретних індикаторів та спрощена методика оцінювання є одночасно і перевагами, і недоліками цієї методології. Даний підхід набув достатньо широкого практичного застосування серед українських громад, у тому числі для проведення оцінки ризиків і вразливості у складі ПДСЕРК, однак на даний час через певну застарілість, обмеженість охоплених секторів і кліматичних загроз ця методика потребує доопрацювання та оновлення.

Таким чином, вищенаведений аналіз демонструє широке розмаїття методологічних підходів та методів оцінювання ризиків і вразливості. Більшість із них, особливо європейські ініціативи, спираються на концепції, розроблені МГЕЗК, як найбільш авторитетної групи експертів у сфері пошуку шляхів подолання кліматичної кризи.

Не зважаючи на прогалини у методологічному забезпеченні в україномовному середовищі, окремі українські громади вже мають спроби оцінювання ризиків і вразливості до зміни клімату. При оцінюванні вони переважно керуються підходом «знизу вгору» (bottom-up) [29], спираючись на наявні ресурси і можливості. Здебільшого такі оцінки проводять в рамках складання плану дій сталого енергетичного розвитку та клімату [34–36] та планування адаптації та/або екологічного відновлення територій [20, 33].

Оцінювання кліматичних ризиків і вразливості в громадах залишається складним процесом, тому результати оцінювання здебільшого є узагальненими або поверхневими. Часто оцінювання взагалі не проводиться. Серед основних перешкод можна зазначити:

- наявність, доступність і повнота вхідних даних, як кліматичних, так і таких, що характеризують оцінювані сектори, об'єкти та системи;
- нестача просторових даних і картографічного забезпечення;
- наявність та ступінь кваліфікації експертів у сфері оцінки кліматичних даних та застосування ГІС-технологій;
- недосконалість методичного забезпечення за одночасного різноманіття і неузгодженості методологічних підходів та відсутність уніфікованого підходу для проведення оцінки.

Низка міжнародних і національних кліматичних зобов'язань України зумовлюють постійну необхідність проведення оцінки ризиків і вразливості на рівні територіальних громад в Україні. Звідси впливає нагальна потреба в системному підході, інституціональній взаємодії та адаптуванні наявних методологічних підходів до застосування на локальному рівні з урахуванням спроможностей територіальних громад та українського контексту.

Головні висновки. Адаптація до зміни клімату та її негативних впливів стає для України одним із невідкладних завдань сьогодення. Основою для адаптації є результати оцінки ризиків і вразливості до кліматичних загроз, яку проводять для вразливих соціально-економічних секторів, природних систем та об'єктів. Зусиллями МГЕЗК та міжнародної спільноти кліматичних експертів визначено методологічні засади оцінки ризиків і вразливості,

але й досі наявні певні прогалини у методичній підтримці територіальних громад, що мають проводити оцінку на локальному рівні. Відсутність уніфікованого алгоритму істотно ускладнює процедуру оцінювання. Враховуючи поточні реалії в громадах щодо доступності даних і наявності експертів, доцільно розробити настанови та/або алгоритми оцінювання для кожного з соціально-економічних секторів. Вони мають враховувати міжнародний досвід та концепції ризику і вразливості, представлені в оціночних звітах МГЕЗК, методологічних підходах GIZ, Європейського агентства з охорони довкілля та Угоди мерів.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати проведеного аналітичного огляду можуть слугувати основою для розробки уніфікованого підходу оцінки ризиків і вразливості територіальних громад до зміни клімату в Україні.

Література

1. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. 2022. 3056 pp. doi:10.1017/9781009325844. URL: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/> (дата звернення: 20.10.2024)
2. Climate-Adapt Tool. URL: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en> (дата звернення: 22.10.2024)
3. Про схвалення Стратегії формування та реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2035 року і затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2024–2026 роках : розпорядження Кабінету Міністрів України від 30 травня 2024 р. № 483-р. / Кабінет Міністрів України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/483-2024-p#Text> (дата звернення: 20.10.2024)
4. Про основні засади державної кліматичної політики : Закон України від 30 жовтня 2024 р. № 3991-IX / Верховна Рада України URL:<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3991-20#Text> (дата звернення: 15.11.2024).
5. Про схвалення Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату в Україні на період до 2030 року : розпорядження Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2021 р. № 1363-р. / Кабінет Міністрів України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1363-2021-%D1%80#Text> (дата звернення: 15.11.2024)
6. Угода мерів – східне партнерство. URL: <https://com-east.eu/uk/> (дата звернення: 27.10.2024)
7. Пясецька, С. І., О. А. Щеглов, and Н. П. Гребенюк. Порівняння полів середньої місячної температури повітря протягом кліматичних норм 1991–2020 рр. відносно 1961–1990 рр. : монографія / за ред. М. С. Мальованого. К.: Ярошенко Я. В. 2022, С. 202–228.
8. Решетченко С., Борискіна Є., Грекова Є. Розподіл температури повітря на території України на тлі сучасних кліматичних змін. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. 2022, Вип. 35, С. 25–31. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2022-35-03>
9. Сафранов Т. А. Катеруша Г. П., Катеруша О. В., Яраї К. Особливості динаміки хвиль тепла в окремих містах України. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія : Геологія. Географія. Екологія*. 2021. Вип. 55. С. 232–244.
10. Гончарова Л. Д., Прокоф'єв О. М., Решетченко С. І., Черниченко А. В. Вплив атмосферних макропроцесів на просторовий розподіл опадів по території України у весняний сезон. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2021. № 27. С. 5–15.
11. Екологічні проблеми Закарпаття: навчальний посібник / Н. Каблак, Я. Гасинець, Л. Фельбаба-Клушина, В. Мірутенко та ін.; за заг. ред. проф. Н. Каблак та проф. Л. Фельбаба-Клушина. Ужгород : РІК-У, 2023. 356 с.
12. Yanitskyi V. Impact of climate change on forest ecosystems in Western Polissia. *Ecological Safety and Balanced Use of Resources*. 2024. 15(1), PP.100–110. <https://doi.org/10.69628/esbur/1.2024.100>
13. Закорчевна Н. Б., Демидюк Ю. С. Вплив зміни клімату в Україні на сільське господарство. Publishing House “Baltija Publishing”. 2021. URL: <https://shorturl.at/12OLb> (дата звернення: 15.11.2024)
14. Дядін Д. В., Дрозд О. М., Свергуненко А. С. Індикатори чутливості водних ресурсів міських територій до зміни клімату. *Екологічні науки*. 2023. № 4 (49). С. 64–72.
15. Loboda, N. S., Rozvod, M. R. Changes in the air temperature regime across the Dniester River basin at the beginning of the 21st century. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*. 2024. V 33. PP. 38–48. <https://doi.org/10.31481/uhmj.33.2024.03>
16. Wilson, L., New, S., Daron, J., Golding, N. Climate Change Impacts for Ukraine. Met Office. 2021. 34 p.
17. Олешко О.Г. Огляд природоорієнтованих рішень у адаптації міст до зміни клімату. *Актуальні проблеми, шляхи та перспективи розвитку ландшафтної архітектури, садово-паркового господарства, урбоєкології та фітомеліорації*: матеріали III Міжнародної науковопрактичної конференції (Біла Церква, 21 вересня 2023 р.). Біла Церква: БНАУ, 2023. С. 77–82 с.
18. Басок, Б. І., Базєєв, С. Т., Курасва, І. В. Адаптація комунальної теплоенергетики до змін клімату. *Visnik Nacional Noi Academii Nauk Ukraini*. 2021. V 4. PP. 60–75. <https://doi.org/10.15407/visn2021.04.060>

19. Рубан Л.І. Адаптаційна модель «блакитно зеленої» інфраструктури міста. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. К., КНУБА, 2018. Вип.52, 230–237.
20. Шевченко О., Власюк О., Ставчук І., Ваколук М., Ілляш О., Рожкова А. Оцінка вразливості до зміни клімату: Україна. Кліматичний форум східного партнерства (КФСП) та Робоча група громадських організацій зі зміни клімату (РГ НУО ЗК). Муфлаер, Київ. 2014. 74 с.
21. Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007 Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.) Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007. 3021 pp.
22. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. 2014. 1132 pp.
23. The Vulnerability Sourcebook – Concept and guidelines for standardised vulnerability assessments. GIZ, adelphi, EURAC. Eppelheim, 2014. 180 pp.
24. Risk Supplement to the Vulnerability Sourcebook. Guidance on how to apply the Vulnerability Sourcebook’s approach with the new IPCC AR5 concept of climate risk. Bonn: GIZ. 2017. 68 p.
25. Smithers R. J., Dworak T. Assessing climate change risks and vulnerabilities (climate risk assessment). EU Mission on Adaptation to Climate Change. European Union, Brussels. A DIY Manual. Version 1. November 2023. URL: <https://ricardo.ent.box.com/s/l2quwq5zjo032jccsgso3cep6h7ej3n> (дата звернення: 17.11.2024)
26. ISO 14091:2021 – Adaptation to climate change – Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment. 39 p. URL: ISO/TC 207/SC 7. (дата звернення: 17.11.2024)
27. Covenant of Mayors for Climate and Energy: Eastern Partnership – Ukraine. URL: <https://com-east.eu/uk/countries/ukrayina/> (дата звернення: 18.11.2024)
28. Climate-ADAPT: Urban Adaptation Support Tool. EEA, European Commission. URL: <https://shorturl.at/PFsy1> (дата звернення: 17.11.2024)
29. Методичні рекомендації для здійснення оцінки ризиків та вразливості соціально-економічних секторів та природних складових до зміни клімату : Наказ Міндовкілля України № 386 від 03.06.2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0386926-23#Text> (дата звернення: 20.11.2024)
30. Стратегія адаптації до зміни клімату для Львівської області. Міжнародний проєкт «Посилення спроможності регіональних та місцевих адміністрацій щодо імплементації та виконання законодавства ЄС щодо охорони навколишнього середовища та зміни клімату та розвитку інфраструктурних проєктів – EuropeAid/140209/DH/SER/UA». 2024. URL: <https://shorturl.at/6llsB> (дата звернення: 11.11.2024)
31. Стратегія адаптації до зміни клімату для Івано-Франківської області. Міжнародний проєкт «Посилення спроможності регіональних та місцевих адміністрацій щодо імплементації та виконання законодавства ЄС щодо охорони навколишнього середовища та зміни клімату та розвитку інфраструктурних проєктів – EuropeAid/140209/DH/SER/UA». 2024. URL: <https://shorturl.at/An3JY> (дата звернення: 11.11.2024)
32. Стратегія адаптації до зміни клімату для Миколаївської області. Міжнародний проєкт «Посилення спроможності регіональних та місцевих адміністрацій щодо імплементації та виконання законодавства ЄС щодо охорони навколишнього середовища та зміни клімату та розвитку інфраструктурних проєктів – EuropeAid/140209/DH/SER/UA». 2024. URL: <https://shorturl.at/f8pVL> (дата звернення: 11.11.2024)
33. Адаптація до зміни клімату: короткий путівник для громад / О. Лящук, А. Гузенко. Екоклуб. Рівне. 2023. 38 с.
34. Оцінка вразливості Вінницької міської територіальної громади до змін клімату. Вінниця. 2023. 69 с.
35. Оцінка вразливості до зміни клімату та рекомендації з адаптації Сумської міської територіальної громади. ГО «Еколтава». 2023. 88 с.
36. План дій зі сталого енергетичного розвитку та клімату Житомирської міської територіальної громади на 2021-2030 роки. Житомир. 2021. 157 с. URL: <https://zt-rada.gov.ua/files/upload/sitefiles/doc1624978540.pdf> (дата звернення: 15.11.2024)
37. Bertoldi P. Guidebook 'How to develop a Sustainable Energy and Climate Action Plan (SECAP) – Part 2 – Baseline Emission Inventory (BEI) and Risk and Vulnerability Assessment (RVA), EUR 29412 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018. doi:10.2760/118857, JRC112986.

КЛІМАТИЧНІ ТРАНСФОРМАЦІЇ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ПРИЧОРНОМОР'Я В УМОВАХ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ

Прокоф'єв О.М., Гончарова Л.Д.

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова

вул. Львівська, 15, 65016, м. Одеса

leggg0707@gmail.com, goncharova.luda.50@gmail.com

Глобальне потепління клімату, яке зафіксоване наприкінці ХХ початку ХХІ століть, потребує дослідження регіональних кліматичних відгуків. У статті наведені результати статистичного підходу до визначення динаміки температурного режиму на території однієї з південних областей України, який проводився з залученням стандартних статистичних методів просторово-часового узагальнення даних. Аналізується один із основних показників температурного режиму, а саме середня місячна температура повітря календарних сезонів. Окремі багаторічні значення по температурному режиму за 1961-2020 рр. для 10 станцій Одеської області взяті з кліматичних Кадастрів України. Для задоволення потреб практики, відповідно за призначенням, в статті розглядаються основні кліматичні характеристики середньої місячної температури повітря, наведені та проаналізовані її кількісні показники. По середнім місячним температурам повітря проаналізовано річний хід, час настання максимуму та мінімуму, аномальні відхилення та інші характеристики. Кліматологічний аналіз багаторічного архіву даних дозволив визначити особливості метеорологічних та кліматичних змін на території Одеської області у період другого глобального потепління клімату. Від першого (1961-1990 рр.) до другого (1991-2020 рр.) тридцятиріччя в регіоні зафіксовано підвищення температури повітря в усі календарні сезони: восени – на 0,7°C, взимку – на 1,0°C, навесні – на 1,1°C, а літо стало більш спекотним, з підвищенням середньої сезонної температури повітря на рекордні 1,7°C. Отримані результати є певним внеском у вивчення як теоретичних, так і практичних аспектів дослідження кліматичних ресурсів південних регіонів країни з використанням емпіричних даних. На основі наведених статистичних характеристик вдалося визначити особливості змін температурного режиму на території однієї з важливих сільськогосподарських областей України. Дослідження температурних показників в окремі сезони дозволяє визначити стан сучасного клімату, а отримані результати можуть бути враховані для вирішення конкретних соціально-економічних та природно-екологічних проблем, перспективного планування та адаптації різних галузей економіки України в умовах глобальних кліматичних змін. *Ключові слова:* клімат, температура повітря, річний хід, календарний сезон, температура мінливість.

Climatic Transformations of the Northwestern Black Sea region in the context of global warming. Prokofiev O., Goncharova L.

Global climate warming, recorded at the end of the 20th and beginning of the 21st centuries, requires the study of regional climate responses. The article presents the results of a statistical approach to determining the dynamics of the temperature regime in one of the southern regions of Ukraine, which was carried out using standard statistical methods of spatio-temporal data generalization. One of the main indicators of the temperature regime is analyzed, namely the average monthly air temperature of calendar seasons. Separate multi-year values of the temperature regime for 1961-2020 for 10 stations of the Odessa region are taken from the climatic Cadastres of Ukraine. To meet the needs of practice, in accordance with the purpose, the article considers the main climatic characteristics of the average monthly air temperature, its quantitative indicators are presented and analyzed. The average monthly air temperatures were analyzed for the annual trend, the time of maximum and minimum, anomalous deviations and other characteristics. Climatological analysis of the multi-year data archive allowed us to determine the features of meteorological and climatic changes in the territory of the Odessa region during the second global warming period. From the first (1961-1990) to the second (1991-2020) thirties, an increase in air temperature was recorded in the region in all calendar seasons: in autumn – by 0.7°C, in winter – by 1.0°C, in spring – by 1.1°C, and summer became hotter, with an increase in the average seasonal air temperature by a record 1.7°C. The results obtained are a certain contribution to the study of both theoretical and practical aspects of studying the climatic resources of the southern regions of the country using empirical data. Based on the above statistical characteristics, it was possible to determine the features of changes in the temperature regime in the territory of one of the important agricultural regions of Ukraine. The study of temperature indicators in individual seasons allows us to determine the state of the modern climate, and the results obtained can be taken into account for solving specific socio-economic and natural and ecological problems, long-term planning and adaptation of various sectors of the Ukrainian economy in the context of global climate change. *Key words:* climate, air temperature, annual course, calendar season, temperature variability.

Постановка проблеми. Процеси, що відбуваються у географічному середовищі, зумовлюються, перш за все, термічними умовами. Широке використання даних про температуру повітря в наукових та практичних цілях вимагає від кліматологів дослідження різних показників, які дозволяють оцінити особливості температурного режиму будь-якого географічного регіону або окремого пункту [1]. В останні десятиріччя вивчення клімату нашої

планети та його мінливості набули чітко визначеної практичної значущості [2-4]. На думку вітчизняних науковців [5-10] внаслідок глобального потепління клімат на території України стане різко змінюватися і тому кожне нове дослідження в цьому напрямі дасть можливість проаналізувати клімато-зумовлені природні ресурси, щоб забезпечити сталий соціально-економічний розвиток нашої країни. Дослідження змін та коливань температурного режиму в цілому,

а також окремих його характеристик, в цілях врахування в сферах господарської діяльності, і розробка досконалих методів його прогнозування для різних територій України з великою завчасністю мають у теперішній час велике значення. Температура повітря визначає стан багатьох природних ресурсів, які є складовою частиною економічних ресурсів [5, 6, 11-12].

Актуальність даного дослідження полягає в необхідності визначення кліматичних особливостей розподілу одного з основних показників температурного режиму Північно-Західного Причорномор'я для раціонального природокористування, вирішення природно-екологічних проблем, перспективного планування та адаптації різних галузей економіки Півдня України до умов глобальних змін клімату.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження виконано відповідно до цілей, сформульованих в науково-дослідних роботах кафедр факультету Гідрометеорології і екології Одеського національного університету імені І.І. Мечникова з тем: «Прогнозування небезпечних метеорологічних явищ над південними районами України» (№ ДР 00115U006532); «Комплексний метод ймовірно-прогностичного моделювання екстремальних гідрологічних явищ на річках Півдня України для забезпечення сталого водокористування в умовах кліматичних змін» (№ ДР 0121U010964); «Районування території України за ступенем вразливості до зміни клімату та вибір оптимальних шляхів адаптації».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Динаміка температурно-вологісного режиму наприкінці ХХ та на початку ХХІ століть та оцінка майбутніх змін і коливань сезонних та місячних показників в різних регіонах України представлені в публікаціях українських вчених [5-7, 11-13]: Степаненка С.М. та ін. (2018); Польового А.М., Божко Л.Ю. (2018); Хохлова В.М. та ін. (2018); Лободи Н.С. (2018); Гончарової Л.Д. (2010, 2017, 2021, 2022, 2024), Врублевської О.О. (2012), Прокоф'єва О.М. (2021, 2022, 2024).

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Аналіз емпіричних даних та чисельне моделювання гідрометеорологічних параметрів вказує на те, що глобальне потепління клімату може змінити не тільки абсолютні значення температури повітря, а й атмосферних опадів, сезонний хід цих величин на території України і сприяти зміні видового складу рослинності та зміщенню природних зон в окремих її регіонах [5, 6, 8]. Ресурсний підхід до вивчення клімату, як одного з природних чинників, необхідний для розроблення вірогідних методів прогнозування метеорологічних явищ та ефективних заходів запобігання значних економічних збитків. Для визначення природи складних гідрометеорологічних процесів необхідне подальше всебічне їх дослідження, удо-

сконалення і збільшення інформаційної бази з використанням сучасних методів статистичного аналізу та чисельного моделювання. У зв'язку зі значними глобальними кліматичними змінами, зареєстрованими наприкінці ХХ та на початку ХХІ століть, стали відчутними і зміни термічного режиму території України.

Метою даного дослідження є реалізація статистичного підходу до визначення динаміки в температурних показниках у період 1961-2020 рр. в районі Північно-Західного Причорномор'я.

Вихідними даними виступають багаторічні значення середньої місячної температури повітря на 10 станціях Одеської області двох стандартних кліматичних періодів: 1961-1990 рр. [14] та 1991-2020 рр. [15].

Методологічне або загальнонаукове значення. Сучасні дослідження клімату показують, що вплив очікуваних його змін має як позитивні, так і негативні прояви практично у всіх секторах життєдіяльності [5, 6, 8, 11]. Сільське, паливно-енергетичне, водне та інші галузі економіки, здоров'я та туризм пов'язані зі станом природного середовища. Змінюється температурний режим: просторовий та часовий розподіл. Тому використання кліматичного ресурсу – інформації про атмосферу, її тепловий стан можуть бути враховані для вирішення конкретних соціально-економічних проблем.

Автори монографії [8] підкреслюють, що для представлення річного ходу кліматичних показників можна використовувати різні способи, починаючи з поняття «сезон», який вперше був застосований у 1910 році. У теперішній час під кліматичним сезоном розуміється суттєва частина року (кілька місяців), що характеризується спільністю кліматичних умов. Тому цілком правомірним було провести розподіл року на так звані календарні сезони, оскільки єдиний часовий параметр (три місяці) дає гарний фон для порівняння показників у різні сезони і в середині сезону.

Однією із основних характеристик термічного режиму є середня місячна температура повітря, просторово-часовий розподіл якої залежить від радіаційних умов, сезонних коливань циркуляції атмосфери, фізико-географічних особливостей регіону. По середнім місячним температурам прослідковано річний хід, час настання максимуму та мінімуму, амплітуду температурних коливань, аномальні відхилення та інші характеристики [1, 6].

Виклад основного матеріалу. Період дослідження термічного режиму Північно-Західного Причорномор'я, результати якого наводяться в даній статті, припадає на вторинне глобальне потепління (кінець 70-х років ХХ століття до теперішнього часу), протягом якого відбувається інтенсивне глобальне підвищення температури. Представлення отриманих статистичних оцінок параметрів [16] відбувається в чотири етапи, в кожному з яких наводяться та ана-

лізуються показники середньомісячної температури повітря окремого календарного сезону. У наведених таблицях найвищі з них представлені жирним шрифтом, а найнижчі – жирним курсивом; додатні тенденції, які визначалися порівнянням двох стандартних тридцятиріччя, подаються зі знаком «+» (Δt , °C).

Результатом першого етапу є аналіз багаторічних показників місячної температури повітря зимового сезону, які наводяться в табл. 1.

Як впливає з табл. 1, в усі зимові місяці найнижча середня температура повітря протягом 60 років зафіксована на ст. Любашівка, а найвища – на ст. Вилкове. На всіх станціях області від першого до другого тридцятиріччя спостерігалось підвищення зимових температур: найменше у *грудні* – на 0,1°C (ст. Одеса та Ізмаїл); найбільше – на 0,5°C (ст. Б.-Дністровський); на ст. Сарата змін в показниках середньої місячної температури повітря за період 1961-2020 рр. не відбулося. *Січень* протягом 60-ти років на всіх станціях є найхолоднішим зимовим місяцем, в якому також ще зафіксовано і найвище підвищення температури – від 0,9°C (ст. Б.-Дністровський та Сарата) до 1,9°C (ст. Любашівка). У *лютому* динаміка також додатна і аномалії знаходяться в діапазоні від 1,2°C (ст. Вилкове) до 1,7°C (ст. Любашівка). *Грудень* – найтепліший зимовий місяць для 10 станцій першого стандартного кліматичного періоду та 8 станцій Одеської області другого періоду. Для ст. Болград та ст. Ізмаїл найтеплішим місяцем зими другого періоду є лютий. Середня по області температура повітря періоду 1961-1990 рр. у *грудні* складала 0,2°C, у *січні* – -2,6°C та у *лютому* – -1,4°C; у період 1991-2020 рр. відповідно за місяцями – 0,4°C, -1,3°C та 0,1°C (табл. 1).

Таким чином, на території Одеської області від першого до другого тридцятиріччя зими стали в середньому теплішими на 1,0°C.

Результатом наступного етапу є аналіз багаторічних показників місячної температури повітря весняного сезону, які наводяться в табл. 2.

Як впливає з табл. 2, у *березні*, *квітні* та *травні* найвища середня температура повітря протягом 60 років зафіксована на ст. Вилкове, а найнижча: у *березні* – це ст. Любашівка, у *квітні* – ст. Одеса.

Травневий мінімум температури повітря різниться за локацією і кліматичним періодом. У перше тридцятиріччя він зафіксований на ст. Одеса (15,1°C), а в друге – на ст. Любашівка (15,9°C). На всіх станціях області від першого до другого часового періоду весняні температури зростають. І з трьох місяців найбільші підвищення температури повітря зафіксовані у *березні*: в межах від 1,4°C (ст. Сарата) до 1,9°C (ст. Любашівка та Затишшя). Крім того, у перший місяць весни середня місячна температура на всіх станціях вже додатна. Спостерігається її суттєве зростання у південному напрямку, на відміну від температурного поля квітня та травня, для яких воно стає більш однорідним для всього регіону. У *квітні* від першого до другого тридцятиріччя темпи підвищення температури повітря уповільнюються і вони є найнижчими з усіх весняних місяців (0,6-1,0°C). Середня температура повітря цього місяця у період 1961-1990 рр. змінювалася по області від 9,0°C (ст. Одеса) до 10,5°C (ст. Вилкове та Ізмаїл); у 1991-2020 рр. цей показник був мінімальним на ст. Одеса (10,0°C), а максимальним – на ст. Вилкове (11,4°C). У *травні*, як видно з табл. 2, середня місячна температура першого періоду коливалася в межах від 15,1°C (ст. Одеса) до 16,4°C (ст. Вилкове). У друге тридцятиріччя багаторічний мінімальний показник зафіксовано на ст. Любашівка (15,9°C), а максимальний – на ст. Вилкове (17,4°C). Середня по області температура повітря періоду 1961-1990 рр. у *березні* складала 2,8°C, у *квітні* –

Таблиця 1

Середня місячна температура повітря (t, °C) зимового сезону на станціях Одеської області за два стандартні кліматичні періоди (I – 1961-1990 рр.; II – 1991-2020 рр.)

№	Станція	Грудень			Січень			Лютий		
		I	II	Δt	I	II	Δt	I	II	Δt
1	Любашівка	-1,7	-1,4	+0,3	-5,0	-3,1	+1,9	-3,5	-1,8	+1,7
2	Затишшя	-1,2	-1,0	+0,2	-4,3	-2,7	+1,6	-2,9	-1,3	+1,6
3	Сербка	-0,5	-0,2	+0,3	-3,6	-2,2	+1,4	-2,2	-0,8	+1,4
4	Роздільна	-0,6	-0,4	+0,2	-3,6	-2,3	+1,3	-2,3	-0,7	+1,6
5	Одеса	1,4	1,5	+0,1	-1,7	-0,4	+1,3	-1,0	0,4	+1,4
6	Білгород-Дністровський	1,0	1,5	+0,5	-1,4	-0,5	+0,9	-0,8	0,6	+1,4
7	Сарата	0,6	0,6	0	-2,0	-1,1	+0,9	-0,8	0,5	+1,3
8	Болград	0,4	0,6	+0,2	-2,2	-1,0	+1,2	-0,7	0,8	+1,5
9	Вилкове	2,0	2,2	+0,2	-0,7	0,4	+1,1	0,6	1,8	+1,2
10	Ізмаїл	1,0	1,1	+0,1	-1,7	-0,5	+1,2	-0,1	1,2	+1,3
Середня по області										
		0,2	0,4	+0,2	-2,6	-1,3	+1,3	-1,4	0,1	+1,5

Таблиця 2

Середня місячна температура повітря (t, °C) весняного сезону на станціях Одеської області за два стандартні кліматичні періоди (I – 1961-1990 рр.; II – 1991-2020 рр.)

№	Станція	Березень			Квітень			Травень		
		I	II	Δt	I	II	Δt	I	II	Δt
1	Любашівка	1,1	3,0	1,9	9,1	10,1	1,0	15,2	15,9	0,7
2	Затишшя	1,6	3,5	1,9	9,4	10,3	0,9	15,6	16,2	0,6
3	Сербка	2,2	3,9	1,7	9,6	10,4	0,8	15,8	16,4	0,6
4	Роздільна	2,2	3,9	1,7	9,6	10,5	0,9	15,7	16,5	0,8
5	Одеса	2,6	4,3	1,7	9,0	10,0	1,0	15,1	16,2	1,1
6	Білгород-Дністровський	3,0	4,8	1,8	9,9	10,9	1,0	16,3	17,3	1,0
7	Сарата	3,3	4,7	1,4	9,9	10,5	0,6	15,9	16,4	0,5
8	Болград	3,7	5,2	1,5	10,4	11,1	0,7	16,3	16,9	0,6
9	Вилкове	4,1	5,7	1,6	10,5	11,4	0,9	16,4	17,4	1,0
10	Ізмаїл	4,0	5,5	1,5	10,5	11,2	0,7	16,2	16,9	0,7
Середня по області										
		2,8	4,5	1,7	9,8	10,7	0,9	15,8	16,6	0,8

Таблиця 3

Середня місячна температура повітря (t, °C) літнього сезону на станціях Одеської області за два стандартні кліматичні періоди (I – 1961-1990 рр.; II – 1991-2020 рр.)

№	Станція	Червень			Липень			Серпень		
		I	II	Δt	I	II	Δt	I	II	Δt
1	Любашівка	18,5	19,7	+1,2	20,0	21,8	+1,8	19,5	21,4	+1,9
2	Затишшя	19,0	20,1	+1,1	20,6	22,4	+1,8	20,2	22,0	+1,8
3	Сербка	19,5	20,7	+1,2	21,3	23,2	+1,9	20,9	22,8	+1,9
4	Роздільна	19,3	20,7	+1,4	21,0	23,0	+2,0	20,7	22,6	+1,9
5	Одеса	19,4	20,8	+1,4	21,4	23,4	+2,0	21,2	23,1	+1,9
6	Білгород-Дністровський	20,4	21,8	+1,4	22,1	24,2	+2,1	21,7	23,8	+2,1
7	Сарата	19,8	21,0	+1,2	21,6	23,3	+1,7	20,9	22,7	+1,8
8	Болград	20,0	21,1	+1,1	21,6	23,3	+1,7	21,1	23,0	+1,9
9	Вилкове	20,4	21,8	+1,4	22,2	24,1	+1,9	21,7	23,7	+2,0
10	Ізмаїл	20,1	21,3	+1,2	21,8	23,6	+1,8	21,2	23,3	+2,1
Середня по області										
		19,6	20,9	+1,3	21,4	23,3	+1,9	20,9	22,8	+1,9

9,8°C та у травні – 15,8°C; у період 1991-2020 рр. відповідно за місяцями – 4,5°C, 10,7°C та 16,6°C (табл. 2).

Таким чином, для території Одеської області від першого до другого тридцятиріччя весни стали в середньому теплішими на 1,1°C.

Наступним етапом є дослідження вікових та багаторічних, у тому числі і в останні десятиріччя, змін літніх значень різних температурних показників Північно-Західного Причорномор'я (табл. 3).

Як впливає з табл. 3, у червні, липні та серпні найнижча середня температура повітря протягом 60 років зафіксована на ст. Любашівка, а найвища – на ст. Вилково та ст. Б.-Дністровський. На всіх станціях області від першого до другого часового періоду літні температури суттєво зростають. Найбільші під-

вищення температури повітря зафіксовані у липні (на 1,7-2,1°C) та серпні (на 1,8-2,1°C). У червні зростання температури менші, порівняно з липнем та серпнем, але також досягають великих значень – 1,1-1,4°C. Літнє температурне поле на всій території Одеської області стає більш однорідним. У середньому на досліджуваній території у червні середня місячна температура повітря від стандартного кліматичного періоду 1961-1990 рр. до наступного (1991-2020 рр.) зросла на 1,3°C; у липні та серпні – на 1,9°C.

Таким чином, від першого до другого тридцятиріччя на території Одеської області літо стало більш спекотним. Середня сезонна температура повітря підвищилась на рекордні 1,7°C.

На завершальному етапі проаналізовані значення середньої місячної температури повітря осіннього

**Середня місячна температура повітря (t, °C) осіннього сезону на станціях Одеської області
за два стандартні кліматичні періоди (I – 1961-1990 рр.; II – 1991-2020 рр.)**

№	Станція	Вересень			Жовтень			Листопад		
		I	II	Δt	I	II	Δt	I	II	Δt
1	Любашівка	15,2	15,8	+0,6	8,8	9,5	+0,7	2,9	3,4	+0,5
2	Затишшя	15,9	16,4	+0,5	9,4	10,0	+0,6	3,4	3,9	+0,5
3	Сербка	16,3	16,9	+0,6	9,8	10,5	+0,7	4,0	4,5	+0,5
4	Роздільна	16,2	16,8	+0,6	9,9	10,5	+0,6	4,0	4,5	+0,5
5	Одеса	17,1	17,7	+0,6	11,1	12,0	+0,9	5,9	6,3	+0,4
6	Білгород-Дністровський	17,5	18,3	+0,8	11,3	12,4	+1,1	5,7	6,6	+0,9
7	Сарата	16,4	17,1	+0,7	10,4	11,1	+0,7	5,2	5,7	+0,5
8	Болград	16,9	17,6	+0,7	10,9	11,6	+0,7	5,3	5,9	+0,6
9	Вилкове	17,6	18,4	+0,8	11,9	12,8	+0,9	6,7	7,3	+0,6
10	Ізмаїл	17,0	17,9	+0,9	11,0	11,9	+0,9	5,7	6,4	+0,7
Середня по області										
		16,6	17,3	+0,7	10,4	11,2	+0,8	4,9	5,5	+0,6

сезону та визначена динаміка цього показника впродовж 1961-2020 рр. (табл. 4).

Як впливає з табл. 4, у вересні, жовтні та листопаді (як і в літній сезон) найнижча середня температура повітря протягом 60 років спостерігається на ст. Любашівка, а найвища – на ст. Вилкове. На всіх станціях області від першого до другого часового періоду осінні температури суттєво зростають.

В регіоні найбільше підвищення температури повітря в осінній сезон зафіксовано у жовтні (на 0,6-1,1°C); у вересні та листопаді – від 0,4-0,5°C до 0,9°C. Осереднені по десяти станціях області значення температури повітря стандартного кліматичного періоду 1991-2020 рр. (порівняно з попереднім 1961-1990 рр.) зросли у вересні на 0,7°C, у жовтні – на 0,8°C та у листопаді – на 0,6°C. Таким чином, від першого до другого тридцятиріччя на території Одеської області восени потеплішало і середня сезонна температура повітря в регіоні підвищилась на 0,7°C.

Головні висновки. Клімат досліджуваної території змінюється і це призводить до необхідності вирішення проблем досліджень, аналізу і прогнозу динаміки її кліматичних ресурсів. Проведене дослідження дозволило встановити ступінь впливу загальнопланетарного підвищення температури на температурний режим Північно-Західного Причорномор'я. Виявлено, що від першого (1961-1990 рр.) до другого (1991-2020 рр.) тридцятиріччя в регіоні спостерігається підвищення температури повітря в усі календарні сезони: восени приземна температура зросла на 0,7°C, взимку – на 1,0°C, навесні – на 1,1°C, а влітку підвищення середньої сезонної температури повітря сягає рекордних 1,7°C. Отримані результати можуть стати основою для аналізу динаміки змін регіонального клімату. Раціональне та своєчасне застосування представленої в цій статті кліматичної інформації сприятиме розробці ефективних шляхів адаптації, що, у свою чергу, зробить вагомий внесок у забезпечення сталого розвитку України.

Література

1. Врублевська О.О., Катеруша Г.П., Миротворська Н.К. Кліматологічна обробка окремих метеорологічних величин: навч. посіб. Одеса: ТЕС, 2004. 150 с.
2. Розпорядження Кабінету Міністрів України № 932-р «Про схвалення Концепції реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року» від 7 грудня 2016 р. / Кабінет Міністрів України. URL: <http://www.kmu.gov.ua/control/uk/cardnpd?docid=249573705>.
3. IPCC: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2021. 2391 pp. doi:10.1017/9781009157896.
4. Гончарова Л.Д. Повітряні течії тропосфери і стратосфери північної півкулі: монографія. Одеса: ТЕС, 2014. 298 с.
5. Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах зміни клімату: монографія / за ред. С.М. Степаненка. Одеса, 2018. 548 с.
6. Клімат України: монографія / за ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. Київ: Вид.-во Раєвського, 2003. 343 с.
7. Світличний О.О., Ібрагімова М.С. Щодо питання про сучасні зміни клімату Північно-Західного Причорномор'я. Вісник Одеського національного університету. Серія «Географічні та геологічні науки». 2016. Т. 21. Вип. 1. С. 22-41.

8. Гончарова Л.Д., Прокоф'єв О.М. Динаміка окремих показників атмосферних опадів Півдня України у період 1961-2020 роки: монографія. 2024, 212 с. URL: <http://eprints.library.odetu.edu.ua/id/eprint/13060>.
9. Прокоф'єв О.М., Гончарова Л.Д. Статистичні характеристики добових сум атмосферних опадів на території Одеської області в умовах змін глобального клімату. *Вісник Одеського національного університету. Серія «Географічні та геологічні науки»*. 2021. Т. 26. Вип.1 (38). 2021. С. 67-80. DOI: [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2021.1\(38\).234679](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2021.1(38).234679).
9. Гончарова Л.Д., Прокоф'єв О.М., Решетченко С.І. Особливості клімато-географічного розподілу атмосферних опадів на півдні України. *Вісник ХНУ ім. В.Н. Каразіна. Сер.: «Геологія. Географія. Екологія»*. 2022. Вип. 57.С. 81-94. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-07>.
10. Кліматичні ресурси Одеської області для сталого розвитку: науково-практичний довідник / за ред. Ж.В. Волошиної. Одеса: Державна гідрометслужба України, 2010. 180 с.
11. Сучасна динаміка температурного режиму Східно-Європейського регіону в основні та перехідні сезони року /Гончарова Л.Д. та ін. *І Всеукраїнський гідрометеорологічний з'їзд з Міжнародною участю: матеріали з'їзду, 22-23 бер. 2017 р.* Одеса: ТЕС, 2017. С. 195-197.
12. Врублевська О.О., Касаджик Т.Л. Річна амплітуда температури повітря як показник динаміки клімату України. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2012. №.14. С. 86-92.
13. Стандартні кліматичні норми (1961-1990 рр.). Київ: 2002. 446 с.
14. Стандартні кліматичні норми (1991-2020 рр.). Надані ГМЦ ЧАМ. (З наказу НС-36/99 від 20.04.21 р.).
15. Гончарова Л. Д., Шкільний Є. П. Методи обробки та аналізу гідрометеорологічної інформації (збірник задач і вправ): навчальний посібник. Одеса: Екологія, 2007. 464 с.

ЄВРОІНТЕГРАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ

УДК 349.6

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.6-57.37>

ГАРМОНІЗАЦІЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ЗАКОНОДАВСТВА УКРАЇНИ З ВИМОГАМИ ЄС

Якименко І.Л., Ничик О.В., Маджд С.М.

Національний університет харчових технологій

вул. Володимирська, 68, 01601, м. Київ

iyakymen@gmail.com, nychik@ukr.net, madzhd@ukr.net

Екологічне законодавство України є доволі розвиненим і базується на фундаментальних засадах сталого розвитку. Правові засади екологічної безпеки та захисту довкілля України визначено у відповідних статтях Конституції України, Законі України «Про охорону навколишнього природного середовища», відповідних статтях Кодексу України про адміністративні правопорушення, Кримінального кодексу України та багатьох інших. Після підписання Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом Україна почала процес імплементації ключових законодавчих норм ЄС у законодавче поле України. На даний момент Україна імплементувала в національне законодавство близько 80 % правових норм Європейського Союзу щодо охорони навколишнього природного середовища. Прикладом ефективної імплементації законодавчих норм ЄС у законодавство України став Закон України «Про управління відходами» (2023 р.), який запроваджує європейські принципи менеджменту відходів та європейську ієрархію поводження з відходами в українське законодавство. Водночас однією з важливих складових законодавства України, яка потребує невідкладного вдосконалення, є норми юридичної відповідальності за екологічні правопорушення. Через застарілий Кодекс України про адміністративні правопорушення в Україні накладаються символічні штрафи за забруднення навколишнього середовища та завдання шкоди навколишньому середовищу. Ці юридичні норми скоріше провакують правопорушників порушувати закони щодо захисту довкілля, ніж дотримуватися закону. Важливо усвідомлювати, що і громадяни, і влада мають бути зацікавлені у збереженні та захисті довкілля. Тому роботу щодо вдосконалення екологічного законодавства в частині юридичної відповідальності потрібно виконувати невідкладно, навіть незважаючи на інші величезні виклики для країни в даний момент. *Ключові слова:* екологічне законодавство України, екологічне законодавство ЄС, євроінтеграція, юридична відповідальність.

Harmonization of Ukrainian environmental laws with EU requirements. Yakymenko I., Nychyk O., Madzhd S.

The environmental legislation of Ukraine is quite developed and based on the fundamental principles of sustainable development. The legal foundations of environmental protection in Ukraine are defined in the relevant articles of the Constitution of Ukraine, the Law of Ukraine “On Environmental Protection”, the relevant articles of the Code of Ukraine on Administrative Offenses, the Criminal Code of Ukraine, and many others. After signing the Association Agreement between the European Union and Ukraine, Ukraine began the process of implementation of key EU legislative norms into the national laws. At the moment, Ukraine has implemented about 80% of the legal norms of the European Union on environmental protection into national legislation. A recent example of the effective implementation of EU legislative norms into Ukrainian legislation is the Law of Ukraine “On Waste Management” (2023), which introduces European principles of waste management and the EU waste management hierarchy into Ukrainian legislation. At the same time, one of the important parts of Ukrainian legislation that needs urgent improvement is the norms of legal liability for environmental offenses. Due to the outdated Code of Ukraine on Administrative Offenses, symbolic fines are imposed in Ukraine for environmental pollution and harm to the environment. These legal norms provoke offenders to violate environmental protection laws rather than comply with the law. It is important to realize that both citizens and the authorities should be interested in preserving and protecting the environment. Therefore, work on improving environmental legislation in terms of legal liability should be carried out urgently, even despite other huge challenges for the country at the moment. *Key words:* environmental legislation of Ukraine, EU environmental legislation, European integration, legal liability.

Постановка проблеми. Упродовж останніх трьох років Україна перебуває у стані активної фази війни з терористичним російським режимом, найбільшої війни в Європі після Другої світової війни. Також Україна продовжує слідувати своїм євроінтеграційним амбіціями і зараз передуває на шляху до набуття повноправного членства у Європейському Союзі. Ці дві ключові складові сьогодення країни визначають сучасний стан усіх суспільних процесів в Україні, включно з трансформацією національного законодавства до норм і соціальних стандартів

Європейського Союзу. Відповідно до Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом [1], Україна взяла на себе зобов'язання імплементувати значну частину директив та регламентів ЄС у своє законодавство. Зокрема, у додатку XXX до розділу 6 «Довкілля» Угоди про асоціацію між Україною та ЄС наведено перелік із понад 20 директив ЄС та регламентів ЄС щодо охорони навколишнього середовища, які мали бути імплементовані в українське законодавство. Вочевидь, для ефективного руху України до ЄС важливо розуміти поточний стан

імплементації екологічного законодавства ЄС у законодавче поле України, прогрес та викликів на цьому шляху.

Актуальність дослідження. У даній роботі ми аналізуємо правові засади екологічної безпеки та захисту довкілля в Україні та прогрес у гармонізації екологічного законодавства України із законодавством ЄС. Ефективне та дієве екологічне законодавство є обов'язковою складовою успішної природоохоронної діяльності та забезпечення сталого розвитку суспільства в цілому. Для України є вкрай позитивною можливістю використати кращі приклади ЄС для забезпечення прогресу у даному напрямку. Попри суттєвий прогрес у гармонізації екологічного законодавства України із законодавчими нормами ЄС, аналіз виявив серйозні прогалини у екологічному законодавстві країни, зокрема у частині юридичної відповідальності за правопорушення проти довкілля, що потребують негайного вирішення.

Правові засади екологічної безпеки в Україні.

Загалом Україна має розвинену систему екологічного законодавства, що базується на міжнародних принципах і нормах охорони навколишнього природного середовища. На офіційному веб-сайті Верховної Ради України (<https://zakon.rada.gov.ua>) наведено всі нормативно-правові акти України із зазначенням динаміки внесення до них змін. У Конституції України [2] чітко визначено, що обов'язком держави є забезпечення екологічної безпеки та підтримання екологічної рівноваги на території України (стаття 16). Стаття 50 Конституції України гарантує кожному громадянину право на безпечне для життя і здоров'я довкілля та на відшкодування завданої порушенням цього права шкоди. Кожному також гарантується право вільного доступу до інформації про стан навколишнього природного середовища та право на її поширення. З іншого боку, відповідно до статті 66 Конституції кожен зобов'язаний не завдавати шкоди природі та відшкодувати завдану ним шкоду.

Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» [3], охоплює всі ключові аспекти охорони навколишнього природного середовища в державі, включаючи цивільні права та обов'язки всіх сторін – громадян, усіх гілок державної влади та органів місцевого самоврядування. Зокрема, статтею 68 цього закону визначено, що порушення законодавства України про охорону навколишнього природного середовища тягне за собою дисциплінарну, адміністративну, цивільну та кримінальну відповідальність. Водночас цей закон не визначає обсяги покарань за правопорушення з питань охорони навколишнього природного середовища. Законодавство України має окремі закони у вигляді кодексів про різні види юридичної відповідальності за всі види правопорушень, включно з екологічними.

Зокрема, адміністративна відповідальність у сфері охорони навколишнього природного середовища та природних ресурсів регулюється главою 7 Кодексу України про адміністративні правопорушення [4]. Близько 40 статей цього кодексу регулюють адміністративну відповідальність громадян і посадових осіб в галузі охорони довкілля, переважно у вигляді штрафів. Основним недоліком тут є те, що розрахунок штрафів здійснюється на основі застарілого так званого неоподаткованого мінімуму доходів громадян (НМДГ), що робить штрафи надзвичайно низькими, часто порядку 100 грн, тобто менше 3 євро (див. нижче).

Кримінальна відповідальність в Україні регулюється Кримінальним кодексом України [5]. Розділ VIII цього кодексу містить 18 статей про злочини проти довкілля. Покарання за кримінальні правопорушення є набагато суворішими порівняно з адміністративними правопорушеннями та зазвичай передбачають більші штрафи або позбавлення волі. Наприклад, стаття 236 Кримінального кодексу України про порушення правил екологічної безпеки визначає, що «порушення порядку здійснення оцінки впливу на довкілля, правил екологічної безпеки під час проектування, розміщення, будівництва, реконструкції, введення в експлуатацію, експлуатації та ліквідації підприємств, споруд, пересувних засобів та інших об'єктів, якщо це спричинило загибель людей, екологічне забруднення значних територій або інші тяжкі наслідки, карається позбавленням волі на строк від п'яти до десяти років».

Найсуровіше покарання у сфері охорони довкілля передбачене за екоцид (стаття 441 Кримінального кодексу України): караються масове знищення рослинного і тваринного світу, отруєння повітря чи водних ресурсів, а також будь-які інші дії, які можуть спричинити екологічну катастрофу. Позбавленням волі на строк від восьми до п'ятнадцяти років. Яскравим прикладом екоциду є військові злочини росіян з тотального руйнування довкілля України під час їхньої нинішньої агресії проти України, строго згідно з наведеним вище визначенням [6].

Цивільно-правова відповідальність регулюється в Україні Цивільним кодексом України [7] і передбачає повне відшкодування правопорушником шкоди, заподіяної довкіллю. Але цей закон визначає лише загальні принципи цивільно-правової відповідальності. Розміри стягнень за конкретні правопорушення визначаються відповідними підзаконними актами, наприклад, постановами уряду чи нормативно-правовими актами відповідних міністерств та відомств України. Наприклад, розмір плати за шкоду, заподіяну порушенням законодавства про природно-заповідний фонд, регламентовано Постановою Кабінету Міністрів України від 10 травня 2022 р. № 575 [8].

Загалом українське законодавство про охорону навколишнього природного середовища та природних ресурсів охоплює всі основні питання галузі.

Тим не менш, поточний процес імплементації правових норм ЄС в українське законодавство є надзвичайно важливим як для ефективного регулювання охорони навколишнього середовища, так і для подальшої євроінтеграції країни.

Прогрес України в імплементації екологічного законодавства ЄС. Починаючи з 2014 року, після підписання Угоди про асоціацію між Україною та ЄС, розпочалася активна робота з імплементації екологічного законодавства ЄС в українське законодавство. Уряд України та Європейська Комісія постійно стежать за прогресом України в цьому процесі. Так, згідно з останнім звітом українського уряду [9], на кінець 2023 року Україна виконала 80 % своїх зобов'язань у сфері охорони навколишнього природного середовища порівняно з 77 % загального прогресу у виконанні зобов'язань України в рамках Угоди про асоціацію.

Навіть протягом останніх років, вже під час повномасштабної війни з Росією, Україна продовжує роботу з імплементації законодавчих норм Європейського Союзу в українське законодавство. Наприклад, у 2023 році в Україні було прийнято надзвичайно важливий для країни закон – Закон України «Про управління відходами» [10], який запроваджує ефективні механізми поводження з відходами як на етапі утворення та повторного використання компонентів ресурсної цінності, так і на етапі збору, переробки та утилізації. Закон базується на принципах та найкращих практиках європейського законодавства, визначених Директивою 2008/98/ЄС «Про відходи» [11]. У 2022 році також було прийнято Закон України «Про забезпечення хімічної безпеки та управління хімічною продукцією» [12]. Закон забезпечує імплементацію в національне законодавство вимог Регламенту ЄС № 1907/2006 щодо реєстрації, оцінки, авторизації та обмеження хімічних речовин / REACH [13] та Регламенту ЄС № 1272/2008 щодо класифікації, маркування та пакування речовин і сумішей [14].

У сфері водної політики у 2022 році український уряд прийняв Постанову про затвердження Водної стратегії України на період до 2050 року [15]. Стратегія покликана вирішити основні водні проблеми країни, зокрема забезпечити рівний доступ до якісної та безпечної для здоров'я людини питної води; досягнення «гарного» екологічного стану води; запобігання посухам, повеням та іншим шкідливим діям вод; стале управління водними ресурсами за басейновим принципом [11]. У 2023 році, дотримуючись стратегії та впроваджуючи вимоги Директиви 2000/60/ЄС (Водна Рамкова Директива ЄС) [16], в Україні розроблено дев'ять проектів планів управління річковими басейнами Дунаю, Дністра, Дніпра, Дону, Південного Бугу, Вісли, Азову, Чорного моря та Криму [9].

У лісовій політиці з метою створення правових та організаційних основ виробництва та обігу лісового

репродуктивного матеріалу в Україні, його імпорту та експорту на розгляді Верховної Ради України знаходиться проект Закону про лісові репродуктивні ресурси (реєстр. № 9116 від 17 березня 2023 р.). Цей закон узгоджується з Директивою ЄС 1999/105/ЄС [17] щодо продажу лісового репродуктивного матеріалу [9].

Таким чином, навіть в умовах воєнного стану з терористичною Росією, Україна продовжує роботу з гармонізації екологічного законодавства з вимогами екологічного законодавства Європейського Союзу [18].

Потреби подальшого оновлення екологічного законодавства України. Хоча Україна успішно рухається до законодавчих норм та соціальних стандартів Європейського Союзу, національне законодавство іноді навіть після оновлення не відповідає амбітним екологічним стратегіям Європейського Союзу. Наприклад, вищезазначений Закон України «Про управління відходами» робить значний прогрес у національному законодавстві, впроваджуючи ієрархію поводження з відходами ЄС (стаття 4) та європейську класифікацію відходів (стаття 7). Але згідно зі статтею 37 ухваленого закону, у 2035 році Україна має повторно використовувати чи переробляти лише 25 % побутових відходів, тобто 75 % відходів все ще можуть відправлятися на звалища. Водночас Директива (ЄС) 2018/850 [19] гарантує, що до 2035 року кількість побутових відходів, що вивозяться на звалищах у ЄС, не буде перевищувати 10 % від загальної кількості побутових відходів.

Іншим прикладом стратегічних розбіжностей між Україною та ЄС є перехід на відновлювану енергію. Відповідно до Директиви (ЄС) 2023/2413 (переглянута Директива про відновлювану енергію) [20], обов'язкова ціль ЄС щодо частки відновлюваної енергії у всій споживаній енергії на 2030 рік становить 42,5 %. Водночас, Кабінет міністрів України у 2024 р. затвердив Національний план дій з розвитку відновлюваної енергетики на період до 2030 року [21], в якому заплановано досягти частки відновлюваних джерел енергії у всій спожитій енергії в Україні у 2030 році на рівні 27 %.

Але одним із найгостріших питань екологічного законодавства України є норми юридичної відповідальності за екологічні правопорушення. Більшість статей Кодексу України про адміністративні правопорушення [4] щодо екологічних правопорушень передбачають застарілі та неефективні покарання. Однією з формальних причин цього правового нонсенсу є те, що у Податковому кодексі України [22] використовується застарілий НМДГ, який застосовується для нарахування штрафів у інших законах/кодексах. НМДГ, встановлений пунктом 5 підрозділу 1 розділу XX Податкового кодексу України ще у 2011 р., становить 17 гривень, що на грудень 2024 року становить близько 0,4 євро. Через це окремі статті Кодексу України про адміністративні

правопорушення звучать абсурдно. Так, згідно зі статтею 59 Кодексу України про адміністративні правопорушення, забруднення і засмічення природних вод тягне за собою накладення штрафу на громадян від трьох до семи НМДГ (тобто до 119 грн або 2,8 євро) і на посадових осіб – від п'яти до восьми НМДГ (тобто до 136 грн або 3,2 євро). Крім того, цією статтею передбачено накладення штрафу на посадових осіб за введення в експлуатацію підприємств, комунальних та інших об'єктів без споруд і пристроїв, що запобігають забрудненню та засміченню природних вод, також у розмірі від п'яти до восьми НМДГ (ті ж 136 грн). Подібним чином у статті 78 цього Кодексу встановлено, що викиди забруднюючих речовин у атмосферне повітря без дозволу спеціально уповноваженого органу або перевищення допустимих викидів забруднюючих речовин стаціонарними джерелами під час експлуатації технологічного обладнання, споруд та об'єктів тягне за собою накладення штрафу на посадових осіб від п'яти до восьми НМДГ (знову до 136 грн).

Очевидно, що такі покарання радше провокують порушення довілля, ніж запобігають їм. Для порівняння, відповідно до Федерального закону про контроль над викидами у Німеччині [23], адміністративні штрафи можуть становити до 50 000 євро за менш серйозні порушення навколишнього середовища та вищі за серйозні порушення проти довілля. У Польщі адміністративні штрафи за екологічні правопорушення можуть досягати 1 млн. злотих (близько 230 тис. євро) [24].

З іншого боку, статті Кримінального кодексу України про злочини проти довілля передбачають значно суворіші покарання, ніж адміністративні штрафи. Але визначення кримінальних правопорушень у багатьох випадках подібне до опису адміністративних правопорушень. Так, статтею 241 Кримінального кодексу України передбачено кримінальну відповідальність за забруднення або іншу зміну природних властивостей атмосферного повітря шкідливими речовинами, відходами чи іншими матеріалами, що утворюються в промисловому чи іншому виробництві, внаслідок порушення спеціальних правил, якщо ці дії створили небезпеку для життя і здоров'я людей або довілля. Враховуючи, що будь-яке перевищення допустимих викидів та гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин у атмосферному повітрі може бути небезпечним для здоров'я людини, це визначення по суті подібне до визначення правопорушення у згаданій вище статті 78 Кодексу України про адміністративні правопорушення. Але згідно зі статтею Кримінального кодексу, правопорушення кара-

ється штрафом від тисячі восьмисот до трьох тисяч шестисот НМДГ (до 61200 грн або 1440 євро) або обмеженням волі на строк до трьох років. Тож, залежно від рішення суду те саме правопорушення може кваліфікуватися як адміністративне правопорушення зі штрафом у розмірі близько 3 євро або як кримінальне правопорушення з покаранням до трьох років обмеження волі.

Слід також зазначити, що більшість статей Кримінального кодексу України про екологічні злочини передбачають позбавлення волі у випадку, якщо забруднення навколишнього середовища спричинило загибель людей. Однак у цьому випадку покарання застосовуються фактично за загибель людей через екологічні порушення, а не за екологічні порушення як такі.

Отже, незважаючи на значний прогрес України в імplementації законодавчих норм ЄС у національне законодавство, Україна потребує подальшої модернізації екологічного законодавства в напрямку вимог Європейського Союзу, зокрема щодо належної юридичної відповідальності за екологічні правопорушення.

Висновки. Україна має досить розвинену систему екологічного законодавства, яка базується на Конституції країни, екологічних законах та підзаконних нормативно-правових актах. Протягом останніх років Україна досягла значного прогресу в наближенні національного законодавства до правових норм Європейського Союзу. Останній аналіз українського уряду показує, що Україна імplementувала 80 % правових норм Європейського Союзу з охорони навколишнього природного середовища, зазначених в Угоді про асоціацію між Україною та ЄС. Тим не менш, подальше вдосконалення національного природоохоронного законодавства є вкрай необхідним. Однією із вагомих складових екологічного законодавства України, яка потребує суттєвого і негайного реформування, є норми юридичної відповідальності за правопорушення проти довілля. Це особливо актуально для Кодексу України про адміністративні правопорушення, який у багатьох випадках передбачає абсурдно низькі покарання, біля ста грн (до 3 євро) за серйозні екологічні правопорушення. Вочевидь, належна юридична відповідальність матиме значний позитивний соціальний ефект і вагому користь для захисту довілля країни.

Подяка. За підтримки проєктів програми Erasmus+ #101085243-ProEU-ERASMUS-JMO-2022-HEI-TCHRSCH та #101127449-EcoEurope-ERASMUS-JMO-2023-HEI-TCH-RSCH. Автори вдячні Збройним Силам України за захист.

Література

1. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони. 2014. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text
2. Конституція України. Відомості Верховної Ради України, 1996, № 30, ст. 141.

3. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища». Відомості Верховної Ради України. 1991, № 41, ст.546.
4. Кодекс України про адміністративні правопорушення. Відомості Верховної Ради Української РСР, 1984, додаток до № 51, ст.1122.
5. Кримінальний кодекс України. Відомості Верховної Ради України, 2001, № 25-26, ст.131.
6. Kharchenko, V., A. Kotynsky, and I. Yakymenko Ecocide of the environment of Ukraine as a result of targeted Russia's war crimes, in Selected Papers of the VI International Conference on European Dimensions of Sustainable Development, 15-17 May, 2024, NUFT: Kyiv: 411-421.
7. Цивільний кодекс України. Відомості Верховної Ради України, 2003, №№ 40-44, ст.356.
8. Постанова КМУ «Про затвердження спеціальних такс для обчислення розміру шкоди, заподіяної порушенням законодавства про природно-заповідний фонд», 10 травня 2022 р. № 575.
9. КМУ: Звіт про виконання Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом за 2023 р. https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/55-GOEEI/zvit-pro-vykonannia-ua-za-2023_UA_2.pdf
10. Закон України «Про управління відходами». Відомості Верховної Ради, 2023, № 17, ст.75.
11. КМУ: Звіт про виконання Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом за 2022 р. https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/55-GOEEI/zvit_pro_vykonannya_ugody_pro_asociaciyu_za_2022_rik.pdf
12. Закон України «Про забезпечення хімічної безпеки та управління хімічною продукцією». Відомості Верховної Ради, 2023, № 55, ст.161.
13. Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), establishing a European Chemicals Agency, amending Directive 1999/45/EC and repealing Council Regulation (EEC) No 793/93 and Commission Regulation (EC) No 1488/94 as well as Council Directive 76/769/EEC and Commission Directives 91/155/EEC, 93/67/EEC, 93/105/EC and 2000/21/EC, 2006.
14. Regulation (EC) No 1272/2008 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on classification, labelling and packaging of substances and mixtures, amending and repealing Directives 67/548/EEC and 1999/45/EC, and amending Regulation (EC) No 1907/2006, 2008.
15. Розпорядження КМУ «Про схвалення Водної стратегії України на період до 2050 року». 9 грудня 2022 р. № 1134-р.
16. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy, 2008.
17. Council Directive 1999/105/EC of 22 December 1999 on the marketing of forest reproductive material, 1999.
18. Yakymenko I., Dotsenko O., Negretova V. et al. Environmental Legislation of Ukraine: Towards the European Union Norms. Selected Papers of the VI International Conference on European Dimensions of Sustainable Development, May 15-17, 2024. – Kyiv: NUFT: 61-69.
19. Directive (EU) 2018/850 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 1999/31/EC on the landfill of waste, 2018.
20. Directive (EU) 2023/2413 of the European Parliament and of the Council of 18 October 2023 amending Directive (EU) 2018/2001, Regulation (EU) 2018/1999 and Directive 98/70/EC as regards the promotion of energy from renewable sources, and repealing Council Directive (EU) 2015/652, 2023.
21. Розпорядження КМУ «Про затвердження Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року та плану заходів з його виконання». 13 серпня 2024 р. № 761-р. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/761-2024-%D1%80#Text>
22. Податковий кодекс України. Відомості Верховної Ради України. 2011, № 13-14, № 15-16, № 17, ст.112.
23. Bundestag, Federal Immission Control Act. Germany, 2002. <https://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC124330/>
24. Sejm, Environmental Protection Law. Poland. Act of 27 April 2001. <https://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC060001/>

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Алпатова Оксана Миколаївна (Житомир) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Барабан Катерина Ігорівна (Івано-Франківськ) – аспірант кафедри екології, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;

Белоконь Каріна Володимирівна (Запоріжжя) – кандидат технічних наук, доцент, заступник директора з наукової роботи, доцент кафедри металургійних технологій, екології та техногенної безпеки за сумісництвом, Інженерний навчально-науковий інститут імені Ю.М. Потебні Запорізького національного університету;

Бондар Олександр Богданович (Тернопіль) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри екології та охорони здоров'я, Західноукраїнський національний університет;

Бондар Олександр Іванович (Київ) – доктор біологічних наук, професор, заслужений діяч науки та техніки України, член-кореспондент Національної академії аграрних наук України, ректор, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Боровик Іван Ігорович (Дніпро) – доктор філософії, молодший науковий співробітник науково-дослідної лабораторії гідробіології, іхтіології та радіобіології, Науково-дослідний інститут біології Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

Бурко Вадим Анатолійович (Дніпро) – кандидат технічних наук, доцент кафедри промислових теплоенергетичних установок і теплопостачання, Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний університет»;

Вагилевич Тетяна Вікторівна (Івано-Франківськ) – викладач профілюючих дисциплін на спеціальності «Геодезія та землеустрій», Відокремлений структурний підрозділ «Івано-Франківський фаховий коледж Львівського національного університету природокористування»;

Василенко Ольга Миколаївна (Житомир) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та географії, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

Виговський Ігор Вікторович (Рівне) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри природничих наук, Рівненський державний гуманітарний університет;

Власенко Олег Васильович (Київ) – аспірант, науковий співробітник кафедри екологічного аудиту та технологій захисту довкілля, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Волошин В'ячеслав Степанович (Дніпро) – доктор технічних наук, професор кафедри промислових теплоенергетичних установок і теплопостачання, Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний університет»;

Волянюк Костянтин Миколайович (Чернівці) – студент I курсу магістратури географічного факультету, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича;

Гаць Анастасія Костянтинівна (Київ) – аспірантка кафедри екології агросфери та екологічного контролю, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

Голік Юрій Степанович (Полтава) – кандидат технічних наук, доцент, професор, завідувач кафедри теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»;

Головатюк Людмила Михайлівна (Кременець) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри біології, екології та методик їх навчання, Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія імені Тараса Шевченка;

Гончарова Людмила Дмитрівна (Одеса) – кандидат географічних наук, доцент кафедри метеорології та кліматології, Одеський національний університет імені І.І. Мечникова;

Гордієнко Денис Русланович (Запоріжжя) – аспірант кафедри металургійних технологій, екології та техногенної безпеки, Запорізький національний університет;

Грига Марина Юрївна (Київ) – кандидат геологічних наук, співзасновник та головний аналітик, Центр інноваційних досліджень Землі і космічного простору;

Григоренко Алла Володимирівна (Київ) – старший викладач кафедри заповідної справи та рекреаційної діяльності, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Грдяєв Володимир Васильович (Запоріжжя) – доктор філософії, старший викладач кафедри металургійних технологій, екології та техногенної безпеки, Інженерний навчально-науковий інститут імені Ю.М. Потебні Запорізького національного університету;

Грубий Микола Васильович (Миколаїв) – студент II курсу факультету економіки та екології моря, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, науковий співробітник, Регіональний ландшафтний парк «Тилігульський»;

Гудима Олександр Андрійович (Київ) – MBA, експерт зі сталого розвитку, Міжнародний благодійний фонд «Добробут громад»;

Демчук Людмила Іванівна (Житомир) – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Домбровський Костянтин Олегович (Запоріжжя) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри загальної та прикладної екології і зоології, Запорізький національний університет;

Дригулич Петро Григорович (Дрогобич) – кандидат геологічних наук, голова ГО «Центр сталого розвитку громад»;

Дригулич Сергій Петрович (Івано-Франківськ) – аспірант кафедри екології, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;

Дрозд Олена Миколаївна (Харків) – кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри інженерної екології міст, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова;

Дядін Дмитро Володимирович (Харків) – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри інженерної екології міст, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова;

Дяченко-Богун Марина Миколаївна (Полтава) – доктор педагогічних наук, професор, завідувач кафедри ботаніки, екології та методики навчання біології, Полтавський національний педагогічний університет імені В.Г. Короленка;

Єзловецька Інна Сергіївна (Київ) – кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник відділу сорбції і біології очистки води, Інститут колоїдної хімії та хімії води імені А.В. Думанського Національної академії наук України;

Зудіков Андрій Олександрович (Київ) – аспірант кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»;

Кібаров Олег Ігорович (Миколаїв) – аспірант кафедри екології та природоохоронних технологій, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова;

Кірейцева Ганна Вікторівна (Житомир) – кандидат економічних наук, доцент, докторант кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Ковач Валерія Омелянівна (Київ) – доктор наук з державного управління, старший дослідник, провідний науковий співробітник, Центр інформаційно-аналітичного та технічного забезпечення моніторингу об'єктів атомної енергетики Національної академії наук України;

Козлов Андрій Володимирович (Хорол) – учитель історії і географії, Опорний заклад «Хорольський заклад загальної середньої освіти I-III ступенів № 1 Хорольської міської ради Лубенського району Полтавської області»;

Копаниця Олексій Борисович (Київ) – аспірант кафедри екологічного аудиту та технологій захисту довкілля, Державна екологічна Академія післядипломної освіти та управління;

Котинський Андрій Валерійович (Київ) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології та екоменеджменту, Національний університет харчових технологій;

Крайнюков Олексій Миколайович (Харків) – доктор географічних наук, професор, професор кафедри екологічної безпеки та екологічної освіти, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;

Красовський Володимир Васильович (Хорол) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, директор, Хорольський ботанічний сад;

Кратко Ольга Вікторівна (Кременець) – кандидат історичних наук, доцент, завідувач кафедри біології, екології та методик їх навчання, Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія імені Тараса Шевченка;

Кривицька Іветта Анатоліївна (Харків) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри екологічної безпеки та екологічної освіти, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;

Крупей Кристина Сергіївна (Запоріжжя) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри мікробіології, вірусології та імунології II медичного факультету, Запорізький державний медико-фармацевтичний університет;

Лапченкова Марія Юрївна (Запоріжжя) – студентка II курсу магістратури біологічного факультету, Запорізький національний університет;

Маджд Світлана Михайлівна (Київ) – доктор технічних наук, професор кафедри екології та екоменеджменту, Національний університет харчових технологій;

Манідіна Євгенія Анатоліївна (Запоріжжя) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри металургійних технологій, екології та техногенної безпеки, Інженерний навчально-науковий інститут імені Ю.М. Потєбні Запорізького національного університету;

Маренков Олег Миколайович (Дніпро) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри загальної біології та водних біоресурсів, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

Маркіна Людмила Миколаївна (Київ) – доктор технічних наук, професор кафедри екологічного аудиту та технологій захисту довкілля, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Маслак-Гудима Наталія Павлівна (Київ) – кандидат хімічних наук, науковий співробітник, Технічний центр Національної академії наук України;

Матісько Богдан Юрійович (Харків) – аспірант, Навчально-науковий інститут екології Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна;

Мисковець Ірина Ярославівна (Луцьк) – кандидат географічних наук, доцент кафедри екології, Луцький національний технічний університет;

Найдьонова Оксана Євгенівна (Харків) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, в.о. завідувача сектору мікробіології ґрунтів, Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»; інженер лабораторії еколого-токсикологічних досліджень, Навчально-науковий інститут екології Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна;

Нестеренко Олег Станіславович (Дніпро) – доктор філософії, старший науковий співробітник науково-дослідної лабораторії гідробіології, іхтіології та радіобіології, Науково-дослідний інститут біології Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

Нестерчук Юрій Віталійович (Житомир) – головний спеціаліст відділу регулювання у сфері природокористування, Департамент екології та природних ресурсів Житомирської обласної державної адміністрації;

Ничик Оксана Василівна (Київ) – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та екоменеджменту, Національний університет харчових технологій;

Олійник Павло Олександрович (Запоріжжя) – аспірант кафедри загальної та прикладної екології і зоології, Запорізький національний університет;

Онищук Ірина Петрівна (Житомир) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та географії, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

Орфанова Марія Михайлівна (Івано-Франківськ) – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;

Паланичко Ольга Вікторівна (Чернівці) – кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри географії України та регіоналістики, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича;

Пацева Ірина Григорівна (Житомир) – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Пацький Владислав Олександрович (Дніпро) – аспірант кафедри загальної біології та водних біоресурсів, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

Пацюк Марина Костянтинівна (Житомир) – доктор біологічних наук, доцент, доцент кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

Пітак Ростислав Олегович (Харків) – студент II курсу, Навчально-науковий інститут Механічної інженерії та транспорту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інституту»;

Погорелова Оксана Мирославівна (Тернопіль) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри екології та охорони здоров'я, Західноукраїнський національний університет;

Прокоф'єв Олег Милославович (Одеса) – кандидат географічних наук, завідувач кафедри метеорології та кліматології, Одеський національний університет імені І.І. Мечникова;

Решетняк Дар'я Сергіївна (Дніпро) – аспірантка кафедри загальної біології та водних біоресурсів, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

Рильський Олександр Федорович (Запоріжжя) – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри загальної та прикладної екології і зоології, Запорізький національний університет;

Рудик Андрій Вікторович (Полтава) – аспірант кафедри ботаніки, екології та методики навчання біології, Полтавський національний педагогічний університет імені В.Г. Короленка;

Сапко Ольга Юрївна (Одеса) – кандидат географічних наук, доцент кафедри екологічного права і контролю, доцент кафедри екологічного права і контролю, Одеський національний університет імені І.І. Мечникова;

Сараненко Інна Іванівна (Херсон) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри географії та екології, Херсонський державний університет;

Семененко Тимур Дмитрович (Запоріжжя) – студент III курсу II медичного факультету, Запорізький державний медико-фармацевтичний університет, студент IV курсу біологічного факультету, Запорізький національний університет;

Серга Тетяна Миколаївна (Полтава) – асистент кафедри прикладної екології та природокористування, аспірантка, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»;

Строкаль Віта Петрівна (Київ) – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри екології агросфери та екологічного контролю, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

Сульженко Марина Ярославівна (Житомир) – начальник відділу регулювання у сфері природокористування, Департамент екології та природних ресурсів Житомирської обласної державної адміністрації;

Тарабан Євгенія Василівна (Запоріжжя) – аспірант, асистент кафедри металургійних технологій, екології та техногенної безпеки, Запорізький національний університет;

Титаренко Андрій Ігорович (Харків) – аспірант кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Тихомирова Тетяна Сергіївна (Харків) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Трохименко Ганна Григорівна (Миколаїв) – доктор технічних наук, професор, завідувачка кафедри екології та природоохоронних технологій, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова;

Уваєва Олена Іванівна (Житомир) – доктор біологічних наук, професор, професор кафедри наук про Землю, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Філатов Віктор Миколайович (Харків) – аспірант, Навчально-науковий інститут екології Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна;

Харченко Вячеслав Валерійович (Київ) – кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри екології та екоменеджменту, Національний університет харчових технологій;

Хом'як Іван Владиславович (Житомир) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та географії, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

Хрутьба Ольга Володимирівна (Київ) – аспірант кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний транспортний університет;

Хрутьба Юлія Сергіївна (Житомир) – кандидат економічних наук, докторантка кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Черняк Таїсія Василівна (Хорол) – завідувач сектору дендрології, розмноження рослин та еколого-освітньої діяльності, науковий співробітник, Хорольський ботанічний сад;

Шевченко Роман Юрійович (Київ) – кандидат географічних наук, доцент кафедри заповідної справи та рекреаційної діяльності, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Якименко Ігор Леонідович (Київ) – доктор біологічних наук, професор, професор кафедри екології та екоменеджменту, Національний університет харчових технологій;

Яковлев Ігор Олегович (Київ) – аспірант кафедри екологічного аудиту та технологій захисту довкілля, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Ящук Людмила Борисівна (Черкаси) – кандидат хімічних наук, доцент кафедри екології, Черкаський державний технологічний університет.

НОТАТКИ

ЕКОЛОГІЧНІ НАУКИ

- *Природно-заповідний фонд України*
- *Екологія і виробництво*
- *Екологія водних ресурсів*
- *Екологічні наслідки воєнних дій*
- *Екологія земельних ресурсів*
- *Екологічний моніторинг*
- *Управління відходами*
- *Інноваційні технології у сфері захисту довкілля*
- *Біологічна безпека*
- *Загальні проблеми екологічної безпеки*
- *Збереження біологічного та ландшафтного різноманіття*
- *Зміна клімату*
- *Євроінтеграційні процеси*

Адреса редакції:

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корпус 2, Київ, 03035;
тел. +380 99 428 67 00;
www.ecoj.dea.kiev.ua
e-mail: info@ecoj.dea.kiev.ua

Видавничий дім «Гельветика»

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7623 від 22.06.2022 р.
Україна, 65101, м. Одеса, вул. Інглєзі, 6/1
Тел. +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua

Підписано до друку 30.11.2024. Формат 64x84/8.

Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman. Цифровий друк.
Ум. друк. арк. 30,23. Тираж 100. Замовлення № 0225/148.
Ціна договірна. Віддруковано з готового оригінал-макета