

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

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

ЕКОЛОГІЧНІ НАУКИ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

2(59)



Видавничий дім
«Гельветика»
2025

Екологічні науки : науково-практичний журнал / Головний редактор Бондар О.І. – К. :
Видавничий дім «Гельветика», 2025. – № 2(59). – 366 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:

Єрмаков В.М., доктор технічних наук

Іващенко Т.Г., кандидат технічних наук

Коніщук В.В., доктор біологічних наук

Лукаш О.В., доктор біологічних наук

Машков В.А., доктор технічних наук

Нецветов М.В., доктор біологічних наук

Ольшевський С.В., доктор технічних наук

Риженко Н.О., доктор біологічних наук

Улицький О.А., доктор геологічних 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.

Суб'єкт у сфері друкованих медіа – Державний заклад «Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління» (вул. Митрополита Василя Липківського, буд. 35, м. Київ, 03035, dei2005@ukr.net, тел. (044) 206-31-32).

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 (Е1 – Біологія та біохімія), природничих наук (Е2 – Екологія, Е4 – Науки про Землю) та технічних наук (Г2 – 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](https://www.strikeplagiarism.com) від польської компанії [Plagiat.pl](https://www.plagiat.pl).

*Журнал включено до міжнародної наукометричної бази [Index Copernicus International](https://www.indexcopernicus.com)
(Республіка Польща)*

ЗМІСТ

ЕКОЛОГІЯ І ВИРОБНИЦТВО.....	9
Андрейчук Ю.А., Ваньо Н.О., Іванов Є.А., Книш І.Б., Нікішкін К.П. Техногенне родовище корисних копалин «Нововолинське техногенне»: стан, технологія розроблення та оцінка впливу на довкілля.....	9
Дригулич С.П., Орфанова М.М. Дригулич П.Г. Проблемні аспекти управління обладнанням, забрудненого природними радіонуклідами.....	17
Kryvenko G.M. Analysis of greenhouse gas emissions into atmospheric air from oil and gas production facilities.....	26
Примиська С.О., Форись С.М., Усенко А.Ю. Оцінка впливу відновлюваних джерел енергії на скорочення викидів парникових газів в Україні.....	32
Чичул Х.-М.М., Семчук Я.М., Лялюк-Вітер Г.Д., Кривенко Г.М. Дослідження вугільного палива підприємства Бурштинська ТЕС ПАТ «ДТЕК Західенерго» та його вплив на довкілля.....	38
ЕКОЛОГІЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ.....	43
Блага А.О., Шакірзанова Ж.Р. Просторово-часові узагальнення статистичних характеристик рядів мінімального меженного стоку річок Півдня України.....	43
Васільсва Л.А., Шевчук Л.М., Билина Л.В., Герасимчук О.Л. Гідрографічні особливості, екологічний стан та стійкість водних об'єктів міста Житомир.....	55
Голодовська О.Я., Захарко Я.М., Попович О.Р. Стан річкових екосистем Жовківської громади на Львівщині.....	62
Іващенко Т.Г., Зудіков А.О., Зудіков О.Б. Визначення особливостей застосування кавітаційних установок для очищення промислових стічних вод.....	67
Ковров О.С., Кулікова Д.В. Стале управління промисловими стічними водами за допомогою технології нульового скиду рідини.....	75
Мільович С.С., Галла-Бобик С.В., Гаврилюк І.В. Якість питної водопровідної води у м. Ужгород Закарпатської області.....	80
Пилипчук О.Я., Пічкур Т.В. Сучасні методи очищення виробничих стічних вод на залізничному транспорті.....	88
Шаріков С.І., Чомко Д.Ф. Ресурсний потенціал мінеральних радонових вод на прикладі курортної ділянки в м. Немирів.....	93
Яковлев В.В., Дмитренко Т.В., Соколов Ю.П., Рудий М.Г. Техногенні зміни ґрунтових вод на підтоплених урбанізованих територіях на прикладі міста Харкова.....	98
ЕКОЛОГІЯ ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ.....	103
Кособуцька О.О., Трохименко Г.Г. Аналіз ефективності застосування біоорганічних добрив на основі мікробних ценозів.....	103
Мислюк О.О., Єгорова О.В., Хоменко О.М. Оцінка потенційних ризиків для здоров'я населення від забруднення урбоземів важкими металами.....	109
Нікітченко Б.Я., Наумовська О.І. Екологічне обґрунтування способів відновлення ґрунтового покриття за антропогенної трансформації.....	116
Харитонов М.М., Лемішко С.М., Бабенко М.Г. Післядія ґрунтових домішок на врожайність та якість біомаси міскантусу та прутноподібного проса, вирощених на техноземі в Степу України.....	123
Яковишина Т.Ф. Екологічна оцінка збагачення ґрунту урбоекосистеми важкими металами внаслідок тривалої дії антропогенного фактору.....	129
ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ.....	135
Дунаєвська О.Ф., Сокульський І.М., Ковальчук О.М., Махінько Р.Г. Результати проведення радіоекологічного моніторингу ґрунту за вмістом природного радіонукліду калій-40.....	135
Іванов Є.А., Кравців С.С., Войтків П.С. Радіоекологічний моніторинг урбосистем Львова.....	140
Рушак В.О., Чепурний І.В. Оцінка динаміки лісового покриття зсувонебезпечних територій українських Карпат із використанням платформи Google Earth Engine.....	146

Стасевич С.П., Махняк А.Я. Підвищення ефективності екологічного моніторингу засобами штучного інтелекту.....	151
ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ВОЄННИХ ДІЙ	157
Барабаш О.В., Покшевницька Т.В., Хрутьба Ю.С. Оцінка впливу на довкілля як інструмент забезпечення екологічної безпеки та сталого розвитку в умовах антропогенного забруднення та воєнних дій.....	157
Патрушева Л.І. Природно-заповідний фонд України: наслідки російсько-української війни (2014–2025).....	165
Пацева І.Г., Кагукіна А.М. Відновлення деградованих лісових екосистем внаслідок бойових дій в умовах змін клімату.....	173
Старжинський П.С., Жукова О.Г. Еколого-гігієнічна оцінка впливу військових дій на показники якості водопостачання населеного пункту (на прикладі м. Київ).....	178
Тараймович І.В., Совгіра С.В., Душечкіна Н.Ю. Водні ресурси України під загрозою: вплив війни на якість питної води та екосистеми річок.....	187
ТЕОРЕТИЧНА ЕКОЛОГІЯ	192
Долженкова О.В., Котов І.Д. Синергія теоретико-емпіричної та практичної моделей розвитку екологічного вектору міжнародного співробітництва.....	192
РОСЛИННИЦТВО	197
Пикало С.В., Юрченко Т.В., Харченко М.В., Шадчина Т.М. Спосіб оцінювання солестійкості генотипів пшениці на початкових етапах органогенезу.....	197
БІОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА	202
Боярчук О.Д., Грановський О.Е. Вплив екологічних факторів на функціональний стан організму людини.....	202
ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ	208
Волошин В.С., Данилова Т.Г. Про один порівняльний критерій по відношенню до певних екосистем, людини і створених нею систем штучного інтелекту.....	208
ЗМІНА КЛІМАТУ	215
Гуреля І.В., Василенко О.В. Вплив змін клімату на міські зелені зони.....	215
Федонюк В.В. Прояви кліматичних змін на території національного природного парку «Прип'ять – Стохід».....	221
Хоменко С.В., Кірейцева Г.В. Оцінка стану впровадження міжнародних зобов'язань України зі зміни клімату в законодавче та нормативно-правове забезпечення.....	228
Ярмуш С.Х., Польовий А.М., Барсукова О.А. Агрокліматичні умови формування урожаю сочевиці в Західній Україні при зміні клімату.....	236
ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ	244
Андреева О.Ю., Буднік І.П., Іванюк Т.М., Швець М.В., Курбет Т.В. Сезонні біоритми листопадних видів і гібридів роду <i>Magnolia</i> L. у культурних ландшафтах міста Житомира.....	244
Вишневська А.О., Пацюк М.К., Поліщук А.С. Видовий склад флори судинних рослин Житомирської області.....	251
Зубцова І.В. Розмірна структура популяцій <i>Sanguisorba officinalis</i> L. у лучних фітоценозах Крелевецько-Глухівського геоботанічного району.....	258
Кратюк О.Л., Климчук О.О., Весельський М.Ф. Динаміка чисельності та управління популяцією лисиці звичайної (<i>Vulpes vulpes</i> L.) на території Житомирської області.....	265
Кривохижа Є.М., Мостов'як С.М., Воєвода Л.І. Ефективні методи попередження та контролю за хворобами та шкідниками рослин.....	275

Шевчук Л.М., Васільєва Л.А., Герасимчук О.Л. Ландшафти Житомира: структура геосистем міста, природні та техногенні небезпеки регіону.....	283
УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ	291
Василенко О.М., Овдіюк О.М. Оцінка ефективності поводження з рослинними відходами в аграрному секторі Житомирської області.....	291
Івашенко Т.Г., Маркіна Л.М., Рижов Г.О., Власенко О.В., Ковтунов О.В., Коваленко Д.В. Управління екологічною безпекою небезпечних відходів видобувної промисловості.....	298
Макєєв П.В., Байрачний В.Б., Сакун А.О., Зінковський А.О. Особливості утворення складних і некласифікованих відходів споживання в умовах сучасного суспільства.....	307
Пітак І.В., Калашник Т.В., Соболев С.А., Самойленко Н.М., Шестопалов О.В. Комп'ютерна техніка як джерело електронних відходів: екологічні ризики та моделі управління в міжнародній і національній практиці..	311
Шевченко В.Г., Лагутенко О.Т., Щепотко С.Ю. Особливості застосування біопрепаратів для дворового компостування харчових та зелених відходів.....	318
ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ	324
Галактіонов М.С., Бредун В.І. Моделювання та прогнозування в інтелектуальних транспортних системах.....	324
Самойленко Н.М., Гадаєва Ю.С. Актуальні аспекти розробки та використання біополімерних матеріалів для одноразового пакування.....	330
СТАЛИЙ РОЗВИТОК	337
Геков М.В., Сакун А.О. Правові засади екологічної політики у стратегії сталого розвитку міст.....	337
Сабельніков М.П., Сакун А.О. Енергія природи: як зелені технології розвивають локальні спільноти.....	343
Станкевич-Волосянчук О.І., Цап І.Ю. Принципи екосистемного підходу до господарювання у Карпатському регіоні України (на прикладі Боржавського гірського масиву).....	347
Тихомирова Т.С., Новожилова Т.Б., Місик Я.Т., Крючкова В.В., Чікірякін К.В. Створення локального бренду як елемент сталого управління природоохоронними територіями.....	355
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ	360

CONTENTS

ECOLOGY AND PRODUCTION	9
Andreychuk Yu., Vanyo N., Ivanov Ye., Knysh I., Nikishkin K. Technogenic (man-made) mineral deposit “Novovolynske technogenic”: state, development technology and environmental impact assessment.....	9
Dryhulych S., Orfanova M., Dryhulych P. Problem aspects of management of equipment contaminated by natural radionuclides.....	17
Kryvenko G. Analysis of greenhouse gas emissions into atmospheric air from oil and gas production facilities.....	26
Prymyska S., Forys S., Usenko A. Assessment of the impact of renewable energy sources on reducing greenhouse gas emissions in Ukraine.....	32
Chychul K.-M., Semchuk Ya., Lialiuk-Viter H., Kryvenko G. Research of coal fuel used by Burshtyn Thermal Power Plant of PJSC “DTEK Zakhidenergo” and its impact on the environment.....	38
ECOLOGY OF WATER RESOURCES	43
Blaha A., Shakirzanova Zh. Spatial-temporary generalizations of statistical characteristics of minimum low flow series of rivers of Southern Ukraine.....	43
Vasileva L., Shevchuk L., Bylyna L., Herasymchuk O. Hydrographic features, ecological condition, and stability of water bodies in the city of Zhytomyr.....	55
Holodovska O., Zaharko Ya., Popovych O. State of river ecosystems of Zhovkva community in Lviv region.....	62
Ivashchenko T., Zudikov A., Zudikov O. Determining the features of the use of cavitation plants for industrial wastewater treatment.....	67
Kovrov O., Kulikova D. Sustainable management of industrial wastewater using zero-fluid discharge technology.....	75
Milyovich S., Halla-Bobik S., Havrylyuk I. The quality of drinking tap water in Uzhhorod, Zakarpattia region.....	80
Pylypchuk O., Pichkur T. Modern methods of industrial wastewater treatment in railway transport.....	88
Sharikov S., Chomko D. Resource potential of mineral radon waters using the example of a resort site in the city of Nemiriv.....	93
Yakovlev V., Dmytrenko T., Sokolov Yu., Rudyi M. Industry-induced shifts in the chemistry of ground waters in flooded urbanized areas: a case study of Kharkiv.....	98
ECOLOGY OF LAND RESOURCES	103
Kosobutska O., Trokhymenko G. Analysis of the effectiveness of bioorganic fertilisers based on microbial biocenoses.....	103
Mislyuk O., Yehorova O., Khomenko O. Assessment of potential health risks to the population from heavy metal contamination in urban soils.....	109
Nikitchenko B., Naumovska O. Ecological substitution of methods of land cover restoration during anthropogenic transformation.....	116
Kharytonov M., Lemishko S., Babenko M. Long term effect of soil amendments on the yield and biomass quality of Miscanthus and switchgrass grown on technosol in the Steppe of Ukraine.....	123
Yakovyshyna T. Ecological assessment of the soil enrichment of the urban ecosystem by heavy metals due to the long-term effect of anthropogenic factor.....	129
ENVIRONMENTAL MONITORING	135
Dunaievska O., Sokulskyi I., Kovalchuk O., Makhinko R. Results of the radioecological monitoring of soil for the content of natural radionuclide potassium-40.....	135
Ivanov Ye., Kravtsiv S., Voitkiv P. Radioecological monitoring of urbosystems of Lviv.....	140
Rushchak V., Chepurnyi I. Assessment of forest cover dynamics in landsliding-hazardous areas of the Ukrainian Carpathians using the Google Earth Engine platform.....	146
Stasevych S., Makhniak A. Increasing the efficiency of environmental monitoring using artificial intelligence.....	151

ENVIRONMENTAL IMPLICATION OF MILITARY ACTIONS.....	157
Barabash O., Pokshevnytska T., Khrutba Yu. Environmental impact assessment as a tool for ensuring environmental safety and sustainable development in the context of anthropogenic pollution and military operations.....	157
Patrusheva L. Nature Reserve Fund of Ukraine: consequences of the russian-Ukrainian war (2014–2025).....	165
Patseva I., Kahukina A. Restoration of degraded forest ecosystems as a result of hostilities in the context of climate change.....	173
Starzhynskiy P., Zhukova O. Environmental and hygienic assessment of the impact of military operations on drinking water supply quality indicators in urban settlements (case study: Kyiv).....	178
Taraimovych I., Sovhira S., Dushechkina N. Ukraine’s water resources are threatened: the impact of war on the quality of drinking water and river ecosystem.....	187
THEORETICAL ECOLOGY.....	192
Dolzhenkova O., Kotov I. Synergy of theoretical-empirical and practical models of development of ecological vector of international cooperation.....	192
HORTICULTURE.....	197
Pykalo S., Yurchenko T., Kharchenko M., Shadchyna T. Method for assessing the salt tolerance of wheat genotypes at the early stages of organogenesis.....	197
BIOLOGICAL SAFETY.....	202
Boiarchuk O., Granovski O. Influence of environmental factors on the functional state of the human organism.....	202
GENERAL ENVIRONMENTAL SAFETY ISSUES.....	208
Voloshyn V., Danilova T. On a comparative criterion for certain ecosystems, humans and artificial intelligence systems created by them.....	208
CLIMATE CHANGE.....	215
Hurelya I., Vasylenko O. Impact of climate change on urban green areas.....	215
Fedoniuk V. Manifestations of climate change in the territory of the Pripyat-Stokhid National Nature Park.....	221
Khomenko S., Kireitseva H. Assessment of the status of implementation of Ukraine’s international commitments on climate change into legislative and regulatory framework.....	228
Yarmush S., Polevoy A., Barsukova E. Agroclimatic conditions of lentil crop formation in Western Ukraine under climate change.....	236
PRESERVATION OF BIOLOGICAL AND LANDSCAPE DIVERSITY.....	244
Andreieva O., Budnik I., Ivanyuk T., Shvets M., Kurbet T. Seasonal biorhythms of deciduous species and hybrids of the genus <i>Magnolia</i> L. in cultural landscapes of Zhytomyr.....	244
Vyshnevskaya A., Patsyuk M., Polishchuk A. The species composition of the flora of vascular plants of Zhytomyr region.....	251
Zubtsova I. Size structure of populations of <i>Sanguisorba officinalis</i> L. in meadow phytocenoses of the Krolevets-Glukhiv geobotanical region.....	258
Kratiuk O., Klymchuk O., Veselskyi M. Number dynamics and population management of the red fox (<i>Vulpes vulpes</i> L.) on the territory of Zhytomyr region.....	265
Kryvokhyzha Ye., Mostoviyak S., Voievoda L. Effective methods for preventing and controlling plant diseases and pests....	275
Shevchuk L., Vasilieva L., Herasymchuk O. Landscapes of Zhytomyr: the structure of city geosystems, natural and technogenic hazards of the region	283
WASTE MANAGEMENT.....	291
Vasylenko O., Ovdiiuk O. Assessment of the efficiency of plant waste management in the agricultural sector of Zhytomyr region.....	291

Ivashchenko T., Markina L., Ryzhov H., Vlasenko O., Kovtunov O., Kovalenko D. Environmental safety management of hazardous waste from the extractive industry.....	298
Makieiev P., Bairachnyi V., Sakun A., Zinkovskyi A. Features of the formation of complex and unclassified consumer waste in the conditions of modern society.....	307
Pitak I., Kalashnyk T., Sobolev S., Samoilenko N., Shestopalov O. Computer equipment as a source of electronic waste: environmental risks and management models in international and national practice.....	311
Shevchenko V., Lagutenko O., Shchepotko S. Features of the application of bioproducts for yard composting of food and green waste.....	318
INNOVATIVE TECHNOLOGIES	324
Halaktionov M., Bredun V. Modeling and forecasting in intelligent transportation systems.....	324
Samoilenko N., Hadaieva Yu. Current aspects of the development and use of biopolymer materials for disposable packaging.....	330
SUSTAINABLE DEVELOPMENT	337
Hekov M., Sakun A. Legal principles of environmental policy in the strategy for sustainable urban development.....	337
Sabielnikov N., Sakun A. The power of nature: the role of green technologies in the development of local communities...	343
Stankiewicz-Volosianchuk O., Tsap I. Principles of the ecosystem approach to management in the Carpathian region of Ukraine (on the example of the Borzhava mountain range).....	347
Tykhomyrova T., Novozhylova T., Misyk Ya., Kryuchkova V., Chikiriakin K. Local brand's creation as an element of natural protected areas sustainable management.....	355
AUTHORS' CREDENTIALS	360

ТЕХНОГЕННЕ РОДОВИЩЕ КОРИСНИХ КОПАЛИН «НОВОВОЛИНСЬКЕ ТЕХНОГЕННЕ»: СТАН, ТЕХНОЛОГІЯ РОЗРОБЛЕННЯ ТА ОЦІНКА ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ

Андрейчук Ю.А.¹, Ваньо Н.О.¹, Іванов Є.А.¹, Книш І.Б.¹, Нікішкін К.П.²

¹Львівський національний університет імені Івана Франка

вул. Університетська, 1, 79000, м. Львів

²ТОВ «Екоенергоресурси»

вул. Городоцька, 85/143, 79016, м. Львів

yuriy.andreychuk@lnu.edu.ua, nazar.vano@lnu.edu.ua, yevhen.ivanov@lnu.edu.ua,

ivan.knysh@lnu.edu.ua, rawterrikon@gmail.com

Родовище «Нововолинське техногенне», розміщене на площах відвалу ліквідованої вугільної шахти № 6 «Нововолинська», у 0,6 км від смт Благодатне Володимирського району. Площа техногенного родовища становить 14,3 га. Запаси корисних копалин розраховано за категорією C₁ загальною кількістю 2 203,7 тис. м³. Корисними копалинами є аргіліти горілі, аргіліти вуглевмісні негорілі і кам'яне вугілля. Вони придатні як для отримання вторинного палива, так і для використання в енерго-технологічних процесах виробництва цегли, цементу та іншої будівельної продукції як паливний компонент чи в якості будівельної сировини. Проектна продуктивність кар'єру складатиме 70 тис. м³/рік, а очікувана тривалість експлуатації родовища – не менше 31 року.

Основним джерелом забруднення природного середовища в околицях смт Благодатне є породні відвали (терикон) шахти № 6 «Нововолинська». Відстань від відвалу до найближчих житлових будинків змінюється від 280 до 410 м. Без провадження планової діяльності довкілля зазнаватиме значного негативного впливу. Оптимальним шляхом вважаємо розроблення відвалів техногенного родовища і перероблення (утилізацію) породної маси з урахуванням її фізико-хімічних, фізико-механічних, мінералого-геохімічних та інших властивостей та подальшу рекультивацію території.

Розробку кар'єру впроваджують сучасною технікою з урахуванням досягнень в технології проведення розробки родовищ і набутої практики, у межах контуру підрахованих запасів корисних копалин. Під час експлуатації родовища в межах санітарної зони (300 м) відбуватиметься контрольований вплив на атмосферне повітря (у тім числі шумове і вібраційне забруднення), техногенний і ґрунтовий покриви, поверхневі і підземні води тощо. Серед забруднюючих речовин найбільші обсяги припадають на виділення пилу (29,570 т/рік). Радіоактивність гірських порід змінюється від 14,0 до 26,0 мкР/год. Роботи з рекультивації передбачені протягом першого року після завершення гірничих робіт на ділянках родовища. *Ключові слова:* корисна копалина, техногенне родовище, відвал, технологія розроблення, кар'єр, навколишнє природне середовище, екологічний стан, рекультивація.

Technogenic (man-made) mineral deposit “Novovolynske technogenic”: state, development technology and environmental impact assessment. Andreychuk Yu., Vanyo N., Ivanov Ye., Knysh I., Nikishkin K.

The deposit «Novovolynsk technogenic» is located on the dump areas of the liquidated coal mine No. 6 Novovolynska, 0.6 km from the village of Blagodatne, Volodymyr district. The area of the technogenic deposit is 14.3 hectares. Mineral reserves are calculated according to category C₁ with a total amount of 2,203.7 thousand m³. Minerals are argillites burnt, argillites unburned carbonaceous and coal. They are suitable both for obtaining secondary fuel and for use in energy-technological processes of producing bricks, cement and other construction products as a fuel component or as a construction raw material. Projected quarry productivity will be 70 thousand m³/year, and the expected duration of operation of the deposit is at least 31 years.

The main source of environmental pollution in the area of Blagodatne is the waste dumps (stove heaps) of mine No. 6 «Novovolynska». The distance from the dump to the nearest residential buildings varies from 280 to 410 m. Without planned activities, the environment will be significantly negatively affected. We consider the optimal way to develop dumps of a technogenic deposit and process (utilize) the rock mass, taking into account its physicochemical, physicommechanical, mineralogical-geochemical and other properties, and further recultivation of the territory.

Quarry development is implemented using modern technology, taking into account the achievements in the field development technology and the acquired practice, within the contours of the calculated mineral reserves. During the operation of the deposit within the sanitary zone (300 m), there will be a controlled impact on atmospheric air (including noise and vibration pollution), technogenic and soil cover, surface and groundwater, etc. Among the polluting substances, the largest volumes are accounted for by the emission of dust (29,570 t/year). The radioactivity of rocks varies from 14.0 to 26.0 μR/h. Recultivation works are planned during the first year after the completion of mining operations in the deposit areas. *Key words:* mineral, technogenic (man-made) deposit, waste dump, development technology, quarry, natural environment, ecological state, recultivation.

Постановка проблеми. Родовище «Нововолинське техногенне», розміщене на площах відвалу ліквідованої вугільної шахти № 6 «Нововолинська», що розташована в межах Волинської області, у 0,6 км на північний захід від смт Благодатне (до 2016 р. – Жовтнєве) Володимирського району і на відстані 12 км на південний схід від м. Нововолинська. Площа техногенного родовища після детальної геолого-економічної оцінки і затвердження запасів становить 14,3 га. Досліджувана ділянка з півночі, заходу, півдня і сходу межує з дачним селищем «Жовтнєвий», а далі на південний і північний схід розміщена забудова смт Благодатне, відстань від відвалу до найближчих житлових будинків змінюється від 280 до 410 м (рис. 1). На північний захід ділянка межує із промисловими площами ТОВ «Моделпак», що займається виробництвом гофрованого паперу, картону, паперової і картонної тари.

Родовище «Нововолинське техногенне» є техногенним мінерально-сировинним об'єктом, який сформований породними відвалами із відходами вугледобувного виробництва шахти № 6 «Нововолинська». В межах цих відвалів заплановано розробляти як відклади аргіліту горілого (термічно зміцненого), так й аргіліту вуглевмісного негорілого, що придатні як для отримання вторинного палива, так і для використання в енерго-технологічних процесах виробництва цегли, цементу та іншої будівельної продукції як паливний компонент чи в якості будівельної сировини. Супутні корисні копалини в межах родовища відсутні.

Запаси корисних копалин станом на 1 липня 2024 р. ДКЗ розраховано за категорією C_1 загальною кількістю 2 203,7 тис. m^3 , у тім числі аргіліту горілого (термічно зміненого) і придатного для виробництва щебеню – 837,4 тис. m^3 , аргіліту вуглевмісного негорілого і придатного для виробництва цегли, цементу та іншої будівельної продукції як паливний компонент шихти – 1 366,3 тис. m^3 , кам'яного вугілля у складі аргіліту вуглевмісного негорілого – 93,6 тис. m^3 (118,0 тис. т) [11]. Проектна продуктивність кар'єру з видобування корисних копалин з техногенного родовища складає 70 тис. m^3 /рік з врахуванням усіх супутніх експлуатаційних втрат [2]. У свою чергу, середньорічний об'єм розкривних порід складатиме 1,3 тис. m^3 . Очікувана тривалість експлуатації родовища становить не менше 31 року. Враховуючи гірничо-геологічні умови залягання корисних копалин і розкривних порід, їх фізико-механічні властивості, потужність, рельєф та дальність транспортування техногенної сировини до місця перероблення передбачає транспортну систему розроблення родовища відкритим способом з одночасним переміщенням фронту робіт із внутрішнім утворенням відвалів розкривних порід, з подальшим використанням цих порід для рекультивації створених кар'єрних виїмок.

Актуальність дослідження. Гірничі роботи при експлуатації техногенного родовища «Нововолинське техногенне» суттєво впливатимуть на екологічний стан природного середовища. Ці антропогенні впливи включають порушення рельєфу поверхні породних відвалів, пилоутворення



Рис. 1. Схема розташування родовища «Нововолинське техногенне»

під час навантаження і перевезення гірничої маси, віброшумове забруднення від працюючих механізмів, викиди забруднюючих речовин від механізмів із двигунами внутрішнього згоряння тощо. Водночас, відпрацювання родовища суттєво зменшить площі антропогенно змінених ландшафтів породних відвалів (на 14,6 га) [2]. Після розроблення корисних копалин планується рекультивація земель порушених гірничими роботами, що дасть змогу повернути значні площі зайняті наразі відвалами у господарський обіг. Для ефективної реалізації проекту розроблення техногенного родовища «Нововолинське техногенне» слід проаналізувати стан запасів корисних копалин і природних умов та оцінити вплив запропонованих технологічних рішень із розроблення мінеральної сировини на довкілля.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Авторами накопичено власний досвід вивчення постмайнінгових геосистем, що формуються в межах відвалів вугільних шахт Нововолинського гірничопромислового району [3–5], а також системі планування та оптимізації природно-господарських систем [6, 7]. Водночас розглянуто праці, що розкривають особливості формування, стану і розвитку відвалів у районі дослідження [8–10].

Основним документом для аналізу стану району дослідження став робочий проєкт розроблення та рекультивації ділянки «Нововолинська техногенна» [11]. У роботі використано звіти геолого-економічної оцінки запасів кам'яного вугілля із геологічним довивченням [1] та оцінки впливу на довкілля видобування корисних копалин [2]. Загальні властивості екологічної ситуації в околицях Благодатного подано в екологічному паспорті [12] і регіональній доповіді про стан навколишнього природного середовища [13].

Геоінформаційне опрацювання матеріалів району дослідження проведено із використанням теоретико-методологічних основ і методики геоecологічного картографування і моделювання гірничопромислових геосистем [14, 15].

Стан формування породних відвалів і довкілля.

Формування породних відвалів (терикону) шахти № 6 «Нововолинська» розпочато синхронно із проходженням шахтового ствола у 1954–1955 рр. В експлуатацію терикон запущено у 1956 р. водночас із відкриттям шахти, а закрито у 1997 р. також одночасно із її ліквідацією. Спочатку відсипали південно-західний конічний відвал за допомогою вагонетки повітряно-канатної дороги. Північно-східний відвал формувався пізніше, уже як плоский відвал із привезенням породи автотранспортом. У процесі формування й подальшої рекультивації відвали з'єднано в єдиний двохвершинний терикон. Абсолютні відмітки висот відвалів сягають 260,5 і 245,4 м відповідно. У плані терикон має овальну форму, що витягнута у північно-східному напрямку. Найнижчий рівень підосви терикону становить 212,4 м, а макси-

мальне перевищення – 48,1 м. Кути схилів і відкосів коливаються від 15–20° до 30–35° [11].

Прояву небезпечних екзогенних процесів (затоплення, підтоплення, зсуви, обвали) у районі родовища не спостерігаємо. В межах окремих дачних ділянок відзначаємо ознаки вторинного заболочення. Площинна ерозія закритих бортів призводить до розширення площі відвалу.

У 2019–2023 рр. у південно-західній частині відвалу пройдено дослідну кар'єрну виробку для вивчення внутрішньої морфологічної будови терикону та відбору напівпромислових валових проб вуглевмісних відвальних порід. У плані виробка має видовжену овальну форму із в'їзною траншеєю з північного сходу. Довжина кар'єру становить 160 м, а ширина – 30–80 м. Він складається з двох видобувних уступів висотою 7,0 м. Продовження гірничих робіт не потребує додаткового проведення підготовчих і будівельних робіт [1].

Розкривні породи техногенного родовища «Нововолинське техногенне» представлені рекультиваційними суглинками і шаром зачищення. Загальний об'єм розкривних порід на родовищі складає 51,5 тис. м³, у тім числі суглинків рекультиваційний – 44,3 тис. м³ і шару зачищення – 7,2 тис. м³. Потужність суглинків коливається від 0,6 до 0,8 м, а потужність шару зачищення становить 0,2 м. Після завершення відпрацювання запасів кар'єр матиме вигляд виїмки у формі неправильного багатокутника. При цьому утвориться плато довжиною до 530 м і шириною до 325 м [11].

Породні відвали складені сумішшю різнорозмірних кутастих уламків аргілітів, алевролітів, пісковиків, вугілля і карбонатних порід. Частка літологічних типів є близькою для горілих і негорілих порід. У складі суміші порід виділяється великоуламкова (щербенисто-жорствяно) і тонкодисперсна частини. При цьому вміст тонкодисперсної складової коливається від 30 до 50 %, рідко – до 60 %. У складі вуглевмісних порід домінують аргіліти – 31–54 % від об'єму породи, алевроліти – 11–24 %, пісковики – 10–22 %. У перегорілих породах відмічено вміст карбонатних порід, головню мергелів – 11–12 %. Окрім великоуламкової складової, відвальні породи містять до 26 % дрібнодисперсного уламкового і глинистого наповнювача. Для перегорілих порід властиві рожево-червоні, червоно-бурі і ясно-фіолетові, а для негорілих – сірі, сіро-чорні і коричнево-чорні кольори. За гранулометричним складом породи є щебенево-піщаними, що представлені неоднорідною сумішшю фракцій крупністю від часток міліметра до уламків крупністю від 10–40 мм до 40–80 мм і більше. Це породи середньої крупності і дрібні породи. Найбільше міститься піщана фракція (до 5,0 мм). Серед уламкових фракцій за вмістом переважає жорствяна складова (10–5 мм) [11].

Територія району дослідження розташована в межах південно-західної країни

Східноєвропейської платформи. У геологічній будові беруть участь утворення архею, протерозою, палеозою, мезозою і кайнозою [2]. В орогідрографічному відношенні території властиві різні форми рельєфу Волинської височини, що вирізняється пагорбо-пасмовою будовою. Пасма витягнуті у субширотному напрямку, мають плоскі широкі вершини з абсолютними висотами від 260 до 280 м [16]. Розвинена річкова мережа відноситься до басейну Західного Бугу (басейну Вісли). Головними водними об'єктами є р. Західний Буг, Луга і Стрипа. Ґрунтовий покрив представлений ясно-сірими і сірими опідзоленими ґрунтами, неподалік зустрічаємо дерново-підзолисті піщані ґрунти.

Згідно зі схемою фізико-географічного районування територія розташована у межах Волинської височинної області Західноукраїнського краю природної зони широколистяних лісів [16]. Ця область характеризується чергуванням лісових і сільськогосподарських ділянок. Ліси у районі дослідження вкривають значні площі і включають як хвойні, так і листяні породи дерев. Серед листяних лісів домінують дубові і грабові ліси, що ростуть на родючіших ґрунтах, а серед хвойних – соснові ліси, які добре пристосовані до піщаних і супіщаних ґрунтів. Також присутні мішані ліси з сосни, берези, дубу, клену й явору.

На відстані 7,1–11,8 км розміщені найближчі об'єкти природно-заповідного фонду: ландшафтний заказник місцевого значення «Заставненський», загально-зоологічні заказники місцевого значення «Прибужжя» і «Павлівський» та гідрологічний заказник місцевого значення «Луга» [17]. Поряд також відсутні об'єкти Смарагдової мережі Європи, а найближчим є Сокальський (Львівська обл.), що знаходиться у 15,5 км від родовища [18]. Структурно-функціональні елементи регіональної екомережі аналогічно відсутні.

Технологічна схема розроблення корисних копалин. Виходячи з гірничо-геологічних умов залягання корисних копалин та розкривних порід розроблення родовища «Нововолинське техногенне» передбачена відкритим способом. Буде використано транспортну систему розроблення із одночасним переміщенням фронту робіт, із тимчасовим внутрішнім відвалоутворенням розкривних порід, з подальшим використанням їх для рекультивації території кар'єрної виїмки. Розроблення порід пухкого розкриву виконуватимуть за допомогою бульдозера або фронтального навантажувача з подальшим транспортуванням у тимчасовий відвал в межах породних відвалів (рис. 2).

Технологічна схема розроблення перегорілих порід включає такі етапи як підготовку перегорілої

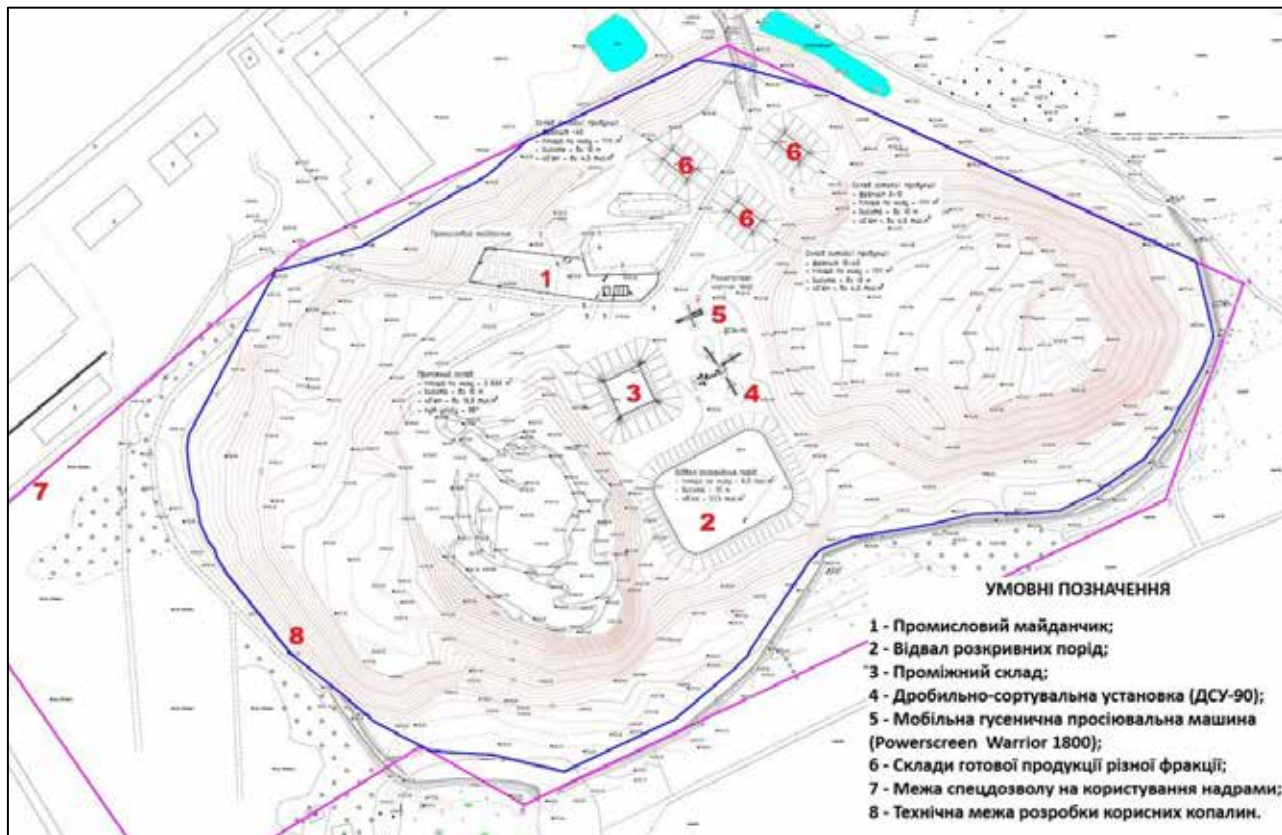


Рис. 2. Технологічна схема розроблення корисних копалин родовища «Нововолинське техногенне». Масштаб 1 : 1 000, зменшений

корисної копалини за допомогою гідромолоту на базі екскаватора, далі навантажують розпушену корисні копалини екскаватором в автосамоскиди і перевозять до приймального бункеру дробильно-сортувальної установки (ДСУ-90) (див. рис. 2), а потім подрібнену і відсортовану породу одразу вантажать замовникам, або транспортують на проміжний склад готової продукції автосамоскидами. Згідно до даних дослідно-промислової розробки розпушення потребуватиме 30 % перегорілої породи [2].

Для інших вуглевмісних порід технологічна схема розроблення не потребує попереднього розпушення гідромолотом та має такі етапи – корисні копалини навантажують екскаватором в автосамоскиди, які транспортують породу на проміжний склад, а далі порода фронтальним навантажувачем потрапляє до приймального бункеру просіювальної машини, із якої відсортовану породу навантажують замовнику, або транспортують на проміжний склад готової продукції автосамоскидами.

Готовою продукцією є просіяна корисна копалина. Грохоти мають сита з розмірами отворів у 5, 10, 13, 20 і 40 мм [1]. Загалом, розроблення відвалів планується проводити сучасною технікою з урахуванням досягнень у технології проведення гірничодобувних робіт та отриманої практики у межах контуру підрахованих і затверджених запасів корисних копалин.

Потреби у влаштуванні нових доріг немає. Транспортування мінеральної сировини зі складів готової продукції передбачено здійснювати по існуючим постійним дорогам. Досліджувана ділянка примикає до автодороги загального користування місцевого значення Благодатне–Заставне–Іваничі, яку приєднано до автошляху територіального значення Нововолинськ–Іваничі–Павлівка–Локачі. Потреба у влаштуванні інженерних мереж також відсутня. Електропостачання підприємства здійснюється через вже створену мережу.

Оцінка впливу на довкілля. Під час експлуатації техногенного родовища в межах санітарної зони відбуватиметься контрольований вплив на атмосферне повітря (у тім числі шумове і вібраційне забруднення), техногенний і ґрунтовий покриви, поверхневі і підземні води тощо.

Вплив на атмосферне повітря планованої діяльності з видобування корисної копалини у кар'єрі виникатиме за рахунок розсіювання пилу при виконанні технологічних процесів та викидів забруднюючих речовин від роботи кар'єрної техніки. Викиди пилу в атмосферне повітря відбуватимуться при розкривних і добувних роботах, при транспортуванні розкривних порід та корисних копалин, при виготовленні готової продукції, при зберіганні відкладів на складах. При роботі кар'єрної техніки, що працює на дизельному паливі в атмосферне повітря надходитимуть оксид вуглецю, оксиди азоту, вуглеводні граничні, діоксид сірки, сажа і бенз(а)пірен.

При визначенні рівня забруднення атмосферного повітря були прийняті максимально-разові концентрації шкідливих речовин в атмосферному повітрі поселень. Сумарна кількість викидів забруднюючих речовин, які викидаються у атмосферне повітря як у процесі розроблення, так і рекультивації родовища наведені в таблиці 1.

Серед забруднюючих речовин найбільші обсяги припадають на виділення пилу та різних твердих суспендованих частинок – 29,570 т/рік, значно менше – на викиди оксиду вуглецю (3,750 т/рік), діоксину азоту (1,194), інші леткі органічні сполуки (1,128), діоксиду сірки (0,752) і сажі (0,577). Водночас в атмосферне повітря потраплятимуть такі парникові гази як діоксид вуглецю (130,227 т/рік), метан (0,091) та оксид азоту (0,005).

Масштаб впливу на атмосферне повітря слід оцінювати за зоною впливу розроблення техногенного родовища на стан атмосферного повітря за головними забруднюючими речовинами (пил, оксиди азоту, діоксид сірки, оксид вуглецю, сажа) з урахуванням фонових концентрацій. Приземні концентрації оксиду вуглецю, діоксиду сірки та сажі навколо джерел викидів є нижчими 0,25 ГДК і безпечними. Понаднормативні концентрації пилу (понад 1,0 ГДК) визначено лише навколо джерел викидів у радіусі до 110 м. При цьому максимальні приземні концентрації сягають 1,52 ГДК. В межі територій із приземними концентраціями 0,25–1,0 ГДК не потрапляють природоохоронні території, зони відпочинку та об'єкти культурної спадщини [2].

Для скорочення викидів при транспортуванні корисних копалин буде здійснюватися регулярний полив автодоріг, під'їздів до місць навантаження автосамоскидів. Очікувана ефективність цих заходів становить 60 %. При відвалоутворенні планується проводити зволоження поверхні пилов'язуючим розчином, що забезпечує пилоподавлення при вітровій ерозії на 85–90 %. Перед навантаженням у бункер дробильно-сортувальної установки та просіювальної машини гірнична маса зрошується, дробарки і грохоти також оснащені системами зрошення, тому після дроблення і просіювання зволожена гірнична маса рухається по транспортерам. Для скорочення викидів при виймально-навантажувальних роботах здійснюватимуть зрошення забоїв із ефективністю у 75 % [11].

Найбільшим чинником негативного впливу на довкілля є порушення земної поверхні при розробленні техногенного родовища, що призводить до зміни структури і погіршення якості, або взагалі зникнення родючого шару, до зміни форм рельєфу, інших ландшафтних порушень. Особливо цінні ґрунти, площі сільськогосподарських угідь, біохімічно та радіаційно забруднені землі в межах родовища відсутні. В межах родовища можливі незначні прояви небезпечних екзогенних процесів і явищ: осипищних, зсувних та ерозійних. Експлуатація

Таблиця 1

Сумарна кількість викидів забруднюючих речовин, які викидаються в атмосферне повітря та їхні основні характеристики [на основі 2]

№ з/п	Найменування речовини	ГДК м.р., мг/м ³	Клас небезпеки	Потужність викиду у процесі, т/рік	
				розроблення родовища	рекультиви-в-ції родовища
1	Пил, тверді суспендовані частинки	0,5	3	20,9	1,27
2	Азоту діоксид	0,2	3	0,97	0,224
3	Вуглецю оксид	5,0	4	3,19	0,56
4	Сірки діоксид	0,5	3	0,64	0,112
5	Сажа	0,15	3	0,49	0,087
6	Неметалеві літкі органічні сполуки	1,0	4	0,96	0,168
7	Бенз(а)пірен (мкг/100 м ³)	0,0001	1	1,3E ⁻⁵	1,6E ⁻⁶
8	Залізо та його сполуки	0,4	3	0,00142	–
9	Хром та його сполуки	0,015	1	0,00004	–
10	Манган та його сполуки	0,01	2	0,0001	–
11	Фтор, фтористий водень	0,02	2	0,00009	–
12	Формальдегід	0,035	2	0,0009	–
	<i>Всього</i>			<i>27,15</i>	<i>2,42</i>
<i>Парникові гази, у тім числі:</i>				<i>112,7</i>	<i>17,6</i>
13	Метан			0,009	0,0014
14	Азоту оксид			0,004	0,0007
15	Вуглецю діоксид			112,654	17,573

техніки виключає попадання нафтопродуктів (дизпалива і мастилі) на земну поверхню, при аварійних розливах – вони збиратимуться разом з ґрунтом. Зібраний ґрунт зберігається у спеціальному місці для утилізації.

Згідно з даними радіометричного проміру радіоактивності гірських порід в межах родовища змінюється від 14,0 до 26,0 мкР/год і в середньому становить 17 мкР/год. У свою чергу, значення ефективної сумарної питомої активності природних радіонуклідів для негорілих вуглевмісних відвальних порід складає 114,9–116,2 Бк/кг, а для перегорілих порід – 110,3–111,3 Бк/кг [2]. Таким чином, вуглевмісні відвальні породи відносять до I-го класу будівельних матеріалів і мінеральної сировини та згідно з «Нормами радіаційної безпеки України» (НРБУ-97) можуть використовуватись для всіх видів будівництва без обмежень.

Родовище «Нововолинське техногенне» знаходиться вище рівня підземних вод, тому в обводненні кар'єру будуть брати участь лише атмосферні опади. Глибина залягання підземних вод змінюється від 12 до 95 м, а потужність зони аерації – 6–12 м. У складі зони аерації присутні піски, супіски і суглинки. За хімічним складом ґрунтові води прісні, гідрокарбонатного кальцієвого складу.

Для відводу атмосферних опадів з поверхні території слід сформувати похил і водовідвідні канали, вода стікатиме у північному напрямку до водозбір-

ника об'ємом 7 280 м³, що забезпечить накопичення трьохгодинного водоприпливу. Ці канали повинні забезпечувати пропускання максимальних витрат води за швидкості, що не перевищує 0,3–0,5 м/с. Вода з водозбірника використовується на технічні потреби підприємства.

Санітарна захисна зона (СЗЗ) підприємства становить 300 м. На основі Основними джерелами шумового і вібраційного забруднення атмосферного повітря є кар'єрна техніка. У кар'єрі визначено дев'ять джерел шуму. Найвищі значення акустичного навантаження мають екскаватор і гідромолот (99 дБА), просіювальна машина (92), автосамоскиди (87) та дробильно-сортувальна установка (85). Результати розрахунків шумового забруднення на межі СЗЗ становить 43,0–45,4 дБА. В межах дачної забудови, що розміщена у санітарно захисній зоні рівень шуму сягатиме 50,3–53,0 дБА [2]. Загалом, розрахунковий рівень шуму не перевищує допустимі норми як в нічний, так і денний період.

Кар'єрна техніка створює коливання з рівнем віброприскорення у діапазоні 42,5–50,5 дБV. Вплив на населення непостійної вібрації від добувних робіт у денний час оцінюється у 40 дБV. Зона впливу кар'єрної техніки на населення становить 5–25 м. Таким чином, санітарні норми для населення виконані вже безпосередньо на межі виробничого майданчику.

При експлуатації кар'єрних машин й автотранспорту у процесі розроблення корисних копалин

та виконання рекультиваційних робіт утворюватимуться такі відходи: відходи видобування, змішані побутові відходи, фільтрувальні матеріали, абсорбенти, свинцеві відходи, синтетичні і моторні мастила, трансмісійні і мастильні оливи, зношені шини тощо.

Техногенне родовище «Нововолинське техногенне» буде розроблятися екскаваторним способом, внаслідок чого на кінець розробки буде утворена виїмка близька до рельєфу довколишніх земель. Роботи з рекультивації будуть провадитися протягом першого року після завершення гірничих робіт. Терміни проведення робіт з рекультивації визначають загальні часові рамки робіт з рекультивації та можуть корегуватися у ході розроблення родовища до більш оптимальних, залежно від умов розробки. Без виконання гідромеліоративних і гідротехнічних заходів доцільнішим є використання цих земель під сіножаті, пасовища, різні види лісонасаджень чи майданчики для будівництва, а із проведенням гідромеліоративних і гідротехнічних заходів – можливі усі види використання, окрім водоймищ.

Роботи слід здійснити у два послідовні етапи: гірничотехнічна і біологічна рекультивація. Для гірничотехнічної рекультивації передбачено застосування комплексу машин і механізмів, що й при розробленні родовища. Ця рекультивація складається з комплексу робіт по підготовці порушених земель до біологічної рекультивації і включає планування поверхні створення ухилу до 5 % та покриття площ суглинком рекультиваційним, що був знятий у період розроблення родовища, товщиною не менше 30 см. Біологічна рекультивація є завершальним етапом відновлення порушених земель і полягає у підборі видового складу рослин, засаджуванні площ та внесення добрив, що покращують агрохімічні властивості ґрунту.

Рациональне використання і охорона надр реалізоване шляхом найповнішого вилучення корисної копалини та комплексне використання отриманої сировини на усіх подальших стадіях переробки.

Втрати відділеної від масиву корисної копалини: 0,3 % – втрати при транспортуванні; 0,4 % – втрати при переробленні і складуванні. Дотримання вимог охорони надр і навколишнього середовища, правил безпеки експлуатації та гігієни праці дає можливість вважати розробку кар'єру безпечною, як для працівників гірничодобувного підприємства, так і жителів поблизу розташованих населених пунктів.

Висновки. Пропонуємо на розгляд такі головні висновки:

1. Родовище «Нововолинське техногенне», розміщене на площах відвалу ліквідованої вугільної шахти № 6 «Нововолинська», у 0,6 км від смт Благодатне Володимирського району. Площа техногенного родовища становить 14,3 га. Запаси корисних копалин розраховано за категорією С₁ загальною кількістю 2 203,7 тис. м³. Корисними копалинами є аргіліти горілі, аргіліти вуглевмісні негорілі і кам'яне вугілля. Проектна продуктивність кар'єру складатиме 70 тис. м³/рік, а очікувана тривалість експлуатації родовища – не менше 31 року.

2. Основним джерелом забруднення природного середовища в околицях смт Благодатне є породні відвали (терикон) шахти № 6 «Нововолинська». Без провадження планової діяльності докільля зазнаватиме значного негативного впливу. Оптимальним шляхом вважаємо розроблення відвалів техногенного родовища і перероблення (утилізацію) породної маси з урахуванням її фізико-хімічних, фізико-механічних, мінералого-геохімічних та інших властивостей.

3. Розробку кар'єру впроваджують сучасною технікою з урахуванням досягнень в технології проведення розробки родовищ і набутої практики, у межах контуру підрахованих запасів корисних копалин. Під час експлуатації родовища в межах санітарної зони (300 м) відбуватиметься контрольований вплив на атмосферне повітря (у тім числі шумове і вібраційне забруднення), техногенний і ґрунтовий покриви, поверхневі і підземні води тощо. Роботи з рекультивації передбачені протягом першого року після завершення гірничих робіт на ділянках родовища.

Література

1. Геолого-економічна оцінка кам'яного вугілля з геологічним довивченням ділянки «Нововолинська техногенна» (відвал шахти № 6 «Нововолинська») у Володимир-Волинському районі Волинської області / ТОВ «Гео-Кратон»; Відпов. виконав.: В. Парфенюк. Київ, 2024.
2. Звіт з оцінки впливу на довкілля видобування корисних копалин з техногенного родовища «Нововолинське техногенне» (відвал шахти № 6 «Нововолинська») / ТОВ «НВП «Укргеологостром». Київ, 2024. 512 с.
3. Іванов Є. А., Андрейчук Ю. М., Пилипович О. В. Постмайнінгові ландшафти Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну, їх формування і розвиток. *Ландшафтознавство* : наук.-теорет. журн. 2024. № 6(2). С. 25–40. <https://doi.org/10.31652/2786-5665-2024-6-25-40>
4. Іванов Є., Ковальчук І., Терещук О. Геоекологія Нововолинського гірничопромислового району : монографія Луцьк : Волин. націон. ун-тет ім. Лесі Українки, 2009. 208 с.
5. Ковальчук І. П., Іванов Є. А., Терещук О. С. Геоекологічна ситуація в межах Нововолинського гірничопромислового району та шляхи її покращення. *Природа Західного Полісся та прилеглих територій* : зб. наук. праць / відп. ред. Ф. В. Зузук. Луцьк : Волин. націон. ун-тет ім. Лесі Українки, 2010. № 7. С. 3–10.
6. Ivanov Y., Koval'chuk I., Tereshchuk O. Konieczność udoskonalenia struktury planowania przestrzennego Lwowsko-Wołyńskiego Zagłębia Kamiennego w warunkach zamknięcia nierentownych kopalń. *Planowanie przestrzenne – szanse i zagrożenia społeczno-środowiskowe* / pod red. S. Kozłowskiego i P. Legutko-Kobus. Lublin, 2007. S. 452–466.

7. Koval'chuk I., Ivanov Y., Tereshchuk O. Optymalizacja rozwoju przyrodniczo-antropo-genicznych procesów w granicach Nowowohłyńskiego rejonu górniczo-przemysłowego. *Możliwości międzynarodowej współpracy w dziedzinie ochrony środowiska i wdrażania zrównoważonego rozwoju w nowym okresie programowania Unii Europejskiej (2007–2013)* / pod red. K. Giordano i P. Legutko-Kobus. Lublin, 2007. S. 181–197.
8. Іванов Є. А., Ковальчук І. П. Накопичення гірничопромислових відходів у Львівсько-Волинському кам'яновугільному басейні: сучасний стан, проблеми і перспективи поводження. *Український журнал природничих наук* : наук. журн. / гол. ред. М. Овчаренко, відп. ред. Ю. Шелюк. 2024. № 7. С. 75–84. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.7.2024.1>
9. Попович В. В. Терикони Нововолинського гірничопромислового району та їхній вплив на довкілля. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2009. Вип. 19.15. С. 136–140.
10. Терещук О. Вплив відвалів гірничодобувної промисловості на навколишнє середовище Нововолинського гірничопромислового району. *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. 2007. Вип. 34. С. 279–285.
11. Робочий проєкт розробки та рекультивації ділянки «Нововолинська техногенна» (відвал шахти № 6 «Нововолинська») у Володимиському районі Волинської області. Київ, 2024.
12. Екологічний паспорт Волинської області за 2023 р. Луцьк, 2023. URL: <https://voladm.gov.ua/article/ekologichniy-pasport-volinskoyi-oblasti-za-2023-rik/>
13. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Волинській області за 2023 р. / Управління екології та природних ресурсів Волинської ОДА. Луцьк, 2023. URL: <https://voladm.gov.ua/article/regionalna-dopovid-pro-standovkillya/>
14. Іванов Є. А., Ковальчук І. П., Андрейчук Ю. М. Теоретико-методологічні основи й методика геоекологічного картографування і моделювання гірничопромислових геокомплексів. *Науковий вісник Волинського державного університету ім. Лесі Українки. Географічні науки*. 2006. № 2. С. 15–23.
15. Ковальчук І., Іванов Є., Ключник В. Картографування геоекологічного стану природно-господарських систем гірничопромислових територій. *Часопис картографії* : зб. наук. праць. 2011. Вип. 2. С. 129–137.
16. Фізико-географічне районування України. *Карти України. Природа України*. URL: <https://geomap.land.kiev.ua/zoning-1.html>
17. Природно-заповідний фонд Волинської області в розрізі територіальних громад. *Природно-заповідний фонд України. Природа України*. URL: <https://pzf.land.kiev.ua/pzf-obl-3.html>
18. Emerald Network – General Viewer / European Environment Agency. URL: <https://emerald.eea.europa.eu>

ПРОБЛЕМНІ АСПЕКТИ УПРАВЛІННЯ ОБЛАДНАННЯМ, ЗАБРУДНЕНОГО ПРИРОДНИМИ РАДІОНУКЛІДАМИ

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

²НАК «Нафтогаз України»

вул. Б. Хмельницького, 6, 01601, м. Київ

serhii.dryhulych@nung.edu.ua, mariia.orfanova@nung.edu.ua, drygulych@naftogaz.com

На підставі аналізу літературних даних та особистих досліджень авторів, розглянуто причини утворення мінерально-бітумних відкладень на внутрішній поверхні насосно-компресорних труб (далі – НКТ), резервуарів, апаратів та іншого обладнання, що містить природні радіонукліди. Доведено, що обладнання нафтогазової галузі з підвищеним фоном питомої активності радіонуклідів, виводиться з експлуатації виключно за технічними, а не радіаційними параметрами. Проаналізовано обсяги накопичення НКТ, обладнання на майданчиках тимчасового зберігання підприємств нафтогазової галузі та спеціалізованих підприємств у Зоні відчуження Чорнобильської АЕС. Встановлено, що на завершальній стадії розробки нафтових родовищ, зростає обводненість продукції, збільшуються обсяги видобування супутньо-пластових вод, з яких на обладнанні відкладаються мінеральні осади, зростає агресивність середовища у свердловині, через що втрачається герметичність ліфтової колони, виходять з ладу глибинні насоси тощо, тому капітальні ремонти свердловин необхідно проводити частіше, внаслідок чого кількість непридатного для подальшої експлуатації НКТ та насосного обладнання збільшується. Наведено інформацію про обводненість продукції деяких родовищ та обсяги видобування супутньо-пластових вод (далі – СПВ) окремими підприємствами нафтогазової галузі України. Серед обладнання, яке містить природні радіонукліди, значну частку займають виведені з експлуатації промислові трубопроводи, що використовуються для транспортування видобутої вуглеводневої сировини та СПВ. Через агресивне середовище у трубопроводах відбувається їх внутрішня корозія та розгерметизація, забруднюються ґрунти, поверхневі та підземні води. Доведено, що відходи буріння не містять природних радіонуклідів понад норму. На даний час в Україні відсутні технології та спеціалізовані підприємства, які можуть надавати послуги з дезактивації цього обладнання та НКТ, захоронення дуже низькоактивних і низькоактивних радіоактивних відходів (шламів), що будуть утворюватися в процесі дезактивації. Також у нормативній базі відсутні будь-які критерії щодо віднесення шламів до низькоактивних радіоактивних відходів, тому необхідно провести додаткові дослідження та внести відповідні зміни до нормативно-правових актів з встановленням таких критеріїв. Запропоновано створити спеціалізоване підприємство з дезактивації НКТ та іншого обладнання нафтогазової галузі, збудувати в Зоні відчуження приповерхнєве та поверхнєве сховище для захоронення шламів та вторинних відходів, які утворюються при дезактивації обладнання. *Ключові слова:* обладнання, насосно-компресорні труби, завершальна стадія, супутньо-пластові води, підземні води, відходи буріння, природні радіонукліди.

Problem aspects of management of equipment contaminated by natural radionuclides. Dryhulych S., Orfanova M., Dryhulych P.

Based on the analysis of literature data and personal research of the authors, the reasons for the formation of mineral-bitumen deposits on the inner surface of pumping and compressor pipes, tanks, apparatus and other equipment containing natural radionuclides are considered. It is proved that oil and gas equipment with an increased background of specific activity of radionuclides is decommissioned solely based on technical, not radiation parameters.

The volumes of pumping and compressor pipes and equipment accumulation at the temporary storage sites of oil and gas enterprises and specialized enterprises in the Chernobyl Exclusion Zone are analyzed. It is established that at the final stage of oil field development, watering of products increases, production of associated formation water increases, from which mineral sediments are deposited on the equipment, the aggressiveness of the environment in the well increases, which causes loss of tightness of the elevator string, failure of submersible pumps, etc., so that workovers of wells need to be carried out more often, resulting in an increase in the amount of tubing and pumping equipment unsuitable for further operation.

The article provides information on water content of products of some fields and volumes of associated formation water (hereinafter referred to as AFW) production by individual enterprises of the oil and gas industry of Ukraine. Among the equipment containing natural radionuclides, a significant share is occupied by decommissioned industrial pipelines used for transportation of extracted hydrocarbon raw materials and AFW. The aggressive environment in pipelines causes internal corrosion and depressurization, contaminating soil, surface and groundwater. It has been proven that drilling wastes do not contain natural radionuclides above the normal level. At present, Ukraine lacks technologies and specialized enterprises that can provide services for decontamination of this equipment and pumping and compressor pipes, disposal of very low-level and low-level radioactive waste (sludge) that will be generated during decontamination. Also, the regulatory framework does not contain any criteria for classifying sludge as low-level radioactive waste, so it is necessary to conduct additional research and make appropriate changes to the regulatory acts to establish such criteria. It is proposed to create a specialized enterprise for decontamination of pumping and compressor pipes and other equipment of the oil and gas industry, to build a near-surface and surface storage facility in the Exclusion Zone for disposal of sludge and secondary waste generated during decontamination of equipment. *Key words:* equipment, pumping and compressor pipes, final stage, associated formation water, groundwater, drilling waste, natural radionuclides.

Постановка проблеми. Під час видобування, підготовки та зберігання сирої нафти, яка містить супутньо-пластові води, на об'єктах нафтогазової галузі України (далі – НГГУ) відбувається відкладення мінерально-бітумних утворень, які на окремих родовищах можуть містити техногенно-підсилені джерела природного походження (ТПДПП), або згідно з міжнародною класифікацією Naturally-Occurring Radioactive Materials (техногенно-підсилені радіоактивні речовини природного походження) (далі – NORM). Ці NORM з'являються в результаті передусім підйому на поверхню СПВ під час видобування вуглеводнів, які містять у собі розчинені різноманітні сполуки, з подальшим осадженням солей та інших утворень на внутрішній поверхні обладнання, що призводить до концентрування природних радіонуклідів і збільшення їх активності порівняно з природним фоном. Зазначене обладнання виводять з експлуатації виключно за технічними, а не радіаційними параметрами. Тобто наявність NORM на обладнанні не є перешкодою для його подальшої експлуатації та дотримання правил радіаційної безпеки. Деякі технологічні операції з видобування, підготовки, транспортування та зберігання нафти, газу і газоконденсату продукують NORM переважно у твердому стані, лише інколи у рідкому та газоподібному. Самі NORM (мінеральні відклади, шлами, плівки, виділення газів тощо) та техногенні об'єкти, що їх вміщують НКТ, нафтопроводи, водоводи, резервуари різного призначення та інше обладнання, є в певних місцях реальною загрозою для персоналу (іонізуюче опромінення), а за відсутності контролю – для населення та довкілля.

Актуальність дослідження. У результаті виробничої діяльності на майданчиках тимчасового зберігання підприємств НГГУ вже накопичено декілька тисяч тон забрудненого природними радіонуклідами обладнання та НКТ. В Україні відсутні технології та спеціалізовані підприємства, які можуть надавати послуги з дезактивації цього обладнання та НКТ, захоронення дуже низькоактивних і низькоактивних радіоактивних відходів (шламів), що будуть утворюватися в процесі дезактивації.

Крім цього, на території Зони відчуження Чорнобильської АЕС на майданчиках Державного спеціалізованого підприємства «Центральне підприємство з поводженням з радіоактивними відходами» (далі – ДСП «ЦППРВ») (THE STATE SPECIALIZED ENTERPRISE CENTRALISED ENTERPRISE FOR THE MANAGEMENT OF RADIOACTIVE WASTE (SSE CEMRW) також орієнтовно вже знаходиться понад п'ять тисяч тон забрудненого природними радіонуклідами НКТ, які були передані з об'єктів НГГУ на зберігання до ДСП «ЦППРВ».

Таким чином, НКТ з виробничих майданчиків підприємств НГГУ згідно договорів з посередниками, які надають послуги з перевезення, за неمالі

кошти, лише переміщається на майданчики спеціалізованого підприємства без будь-яких подальших дій.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. На виконання рішення Ради національної безпеки і оборони України від 23 березня 2021 року «Про виклики і загрози національній безпеці України в екологічній сфері та першочергові заходи щодо їх нейтралізації», введеного в дію Указом Президента України від 23 березня 2021 року [1], Міндовкілля було визначено відповідальним за розроблення Стратегії поводження з матеріалами, обладнанням і відходами нафтогазовидобувної промисловості, забрудненими радіонуклідами природного походження (далі – Стратегія).

Також з метою підготовки проєкту Стратегії відповідно до вимог пункту 2 § 57 Регламенту Кабінету Міністрів України, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 18.07.2007 № 950 Міндовкілля ініціювало надання пропозиції до наповнення Стратегії, зокрема, в частині завдань, спрямованих на досягнення поставлених цілей, етапів їх виконання, очікуваних результатів на кожному етапі, з відображенням запланованого темпу досягнення цільових показників та орієнтовного обсягу необхідних фінансових, матеріально-технічних, людських та інших ресурсів, а також операційного плану реалізації стратегії на трирічний період.

Наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 09.03.2023 № 139 «Про утворення робочої групи з розроблення Стратегії поводження з матеріалами, обладнанням і відходами нафтогазовидобувної промисловості, забрудненими радіонуклідами природного походження» зі змінами від 05.06.2023 р. № 397 [2], було утворено робочу групу, до складу якої увійшли представники центральних органів виконавчої влади та підприємств НГГУ.

У складі робочої групи, автори також брали участь у розробці проєкту Стратегії, який ще у травні 2021 року було надіслано до Міністерства проєкт Стратегії, у листопаді 2023 було доопрацьовано остаточну версію, однак до цього часу Стратегія не затверджена, і не набула чинності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема радіоактивного забруднення нафтопромислового обладнання та територій у місцях видобування нафти та газу в Україні встановлена недавно. Проблема вперше у нафтогазовій галузі досліджували В.О. Шумлянський та ін. [3]. Суттєвий внесок у вивчення стану радіаційної безпеки на нафтових родовищах у Дніпровсько-Донецькій западині (далі – ДДЗ) привнесли наукові дослідження М.Ю. Журавля та ін. [4], Т.О. Павленко та ін. [5], А.В. Пукіш та ін. [6].

Авторами [7-8] розглянуто науково-прикладну задачу з оцінки рівня радіоактивного забруднення довкілля у зоні впливу об'єктів нафтовидобувного

комплексу. Проаналізовано основні джерела та причини надходження радіоактивних ізотопів до відходів буріння свердловин. На основі літературних джерел визначено, що основними природними радіонуклідами при видобутку нафти є ізотопи радію та торію (^{224}Ra , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{228}Th), а при видобутку газу – ізотопи радону, свинцю і полонію (^{220}Rn , ^{222}Rn , ^{210}Pb і ^{210}Po). Однак авторами помилково було встановлено, що забруднення бурового обладнання може сягати до 6000 мкР/год. Наведено основні джерела негативного впливу на довкілля під час буріння та видобування нафти і газу. Запропоновано систему природоохоронних заходів, яка складається з превентивних та комплексів заходів з ліквідації радіоактивного забруднення територій, на яких відбувається буріння та розробка родовищ вуглеводнів.

У статті [9] авторами наведено основні причини забруднення покладів нафти і газу природними радіонуклідами. Встановлено, що основний внесок у радіоактивне забруднення вносять ^{223}Ra , ^{226}Ra , ^{227}Th , ^{232}Th , ^{40}K , ^{210}Pb , ^{212}Pb , ^{214}Pb , ^{228}Ac , ^{235}U , які осідають на поверхні насосно-компресорних труб та іншого обладнання. Розглянуто причини поширення радіоактивних аномалій, в результаті чого ними було встановлено такі закономірності: найвища радіоактивність промислового обладнання і ґрунту характерна для родовищ з тривалим терміном розробки. У цій публікації автори вважають, що поклади нафти і газу забруднені природними радіонуклідами, однак вже доведено, що природні радіонукліди не містяться у нафті чи газі, а привносяться до свердловин і відкладаються на НКТ із супутньо-пластових вод.

У дисертації Ю.М. Сороки [10] запропоновано методологію оцінки ризиків та безпеки населення і довкілля на основі критеріїв потенційного опромінення в місцях видобування і переробки матеріалів з вмістом природних радіонуклідів, яка дозволяє максимально знизити небезпечну дію природних радіонуклідів на персонал, населення та довкілля. Однак вказані дослідження стосувалися об'єктів з видобування уранових руд та підприємств гірничо-рудного комплексу.

О. Соколова на сайті InfoAtom [11] наводить інформацію щодо досліджень, які проводяться у 2013 році науковцями Інституту гігієни та медичної екології ім. Марзєєва НАМН на об'єктах ПАТ «Укрнафта» (НГВУ «Долинанафтогаз», НГВУ «Бориславнафтогаз») та на об'єктах АТ «Укргазвидобування», при яких було виявлено перевищення нормативів по ^{226}Ra у 3-12 разів і по ^{232}Th до 3 разів (при нормативах МАГАТЕ для ^{226}Ra та ^{232}Th – 1 Бк·г-1 (1000 Бк·кг-1)). 12 жовтня 2021 року відбулося засідання Колегії Держатомрегулювання України, на якій після обговорення дійшли висновків, що ризики від NORM мають оцінюватись та контролюватись без невідправданого обмеження використання цих матеріалів та відходів, а регулю-

вання безпеки є необхідною умовою захисту людей та навколишнього середовища.

Під час засідання «круглого столу» на тему: «Проблеми поводження з промисловими відходами, що містять природні радіонукліди», яке відбулося 24.02.2012 р. [12] під егідою Національного інституту стратегічних досліджень спільно з Національною комісією радіаційного захисту населення України та Програмою Європейської комісії із запобігання, готовності та реагування на природні та техногенні катастрофи (PPRD East) було визнано, що на даний час існує нагальна необхідність інвентаризації (картування) полів забруднення природними радіонуклідами та актуальності питання удосконалення моніторингу шляхів надходження їх у навколишнє середовище. Також запропоновано надрокористувачам розглянути питання щодо підвищення рівня радіаційної безпеки вуглевидобувних та нафтогазових басейнів.

Дядін Д.В. та інші [13-14] у своїх публікаціях довели, що найбільші рівні забруднення підземних і поверхневих вод виникають на ділянках експлуатації відкритих споруд підготовки продукції та систем повернення СПВ у надра. Ними було встановлено, що екологічна небезпека супутньо-пластових вод зумовлена високими концентраціями забруднюючих речовин, невластивих поверхневим і підземним водам зони активного водообміну на території басейну. Закономірності впливу СПВ на якісний склад підземних і поверхневих вод проявляються у збільшенні концентрацій таких рухомих компонентів, як іони хлоридів, натрію, стронцію та літію, що істотно перевищують встановлені ГДК.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Фізико-хімічний склад та умови утворення мінеральних та інших відкладень на внутрішніх поверхнях НКТ та іншому обладнанні НГТУ, що містять природні радіонукліди, вивчені достатньо. Хоча окремі науковці помилково вважають, що обладнання забруднюється природними радіонуклідами не тільки під час видобування нафти і газу, але й під час буріння. Відходи буріння (вибурена порода, відпрацьований буровий розчин та бурові стічні води) не містять природних радіонуклідів, а якщо і містять, то у мізерних концентраціях, близьких до природного фону.

Також помилково вважається, що магістральні трубопроводи та резервуарні парки з товарною нафтою та газом, можуть містити природні радіонукліди. Оскільки у товарній продукції відсутні механічні домішки та СПВ, тому й відсутні у них NORM, що і підтверджено нашими замірами під час проведення екологічних аудитів.

На даний час не вирішеною проблемою є управління цим обладнанням, тимчасовим його зберіганням, перевезенням, дезактивацією та іммобілізацією, кондиціонуванням, захороненням вторинних відходів, які утворюються під час дезактивації.

В Україні відсутні будь-які критерії віднесення радіоактивних відходів до класу дуже низькоактивних, у відповідності до вимог статті 1⁻¹ Закону України «Про поводження з радіоактивними відходами» (далі – Закон) [15]. Також відсутні поверхневі та приповерхневі сховища для захоронення дуже низькоактивних та низькоактивних радіоактивних відходів, до яких можна буде віднести шлами та вторинні відходи від дезактивації НКТ та іншого обладнання НГГУ.

Новизна. Вперше за участю авторів було розроблено проєкт Стратегії управління з матеріалами, обладнанням і відходами нафтогазовидобувної промисловості, забрудненими радіонуклідами природного походження, та запропоновано підприємствам Групи Нафтогаз реалізувати проєкт з дезактивації НКТ з будівництвом приповерхневого сховища для захоронення низькоактивних радіоактивних відходів, що утворюються при дезактивації НКТ, та полігону (поверхневого сховища) для захоронення дуже низькоактивних радіоактивних відходів.

Викладення основного матеріалу. Переважна частина НКТ та обладнання забрудненого природними радіонуклідами утворюється у Дніпровсько-Донецькій западині на більшості родовищ нафти і на окремих родовищах газу. ДДЗ – це тектонічна структура, яка є частиною Доно-Дніпровського прогину Східноєвропейської платформи, що знаходиться на Лівобережжі України, і має двоповерхову будову у вигляді рифтогену (авлакогену), ранньокам'яновугільно-антропогенну западину, яка залягає на пізньодевонському рифті. Загальна потужність осадових порід, що беруть участь у будові ДДЗ, змінюється від 500 м на бортах до 18-20 км в осевій зоні рифту [16-17].

Згідно з даними [18-20], класифікація осадових гірських порід ґрунтується на їхньому складі та генезисі. Серед них переважають такі види порід: глинисті (глини, аргіліти, глинисті сланці) – 48-51%, піщані (піски і пісковики, алевроліти) і карбонатні (вапняки, доломіт, тощо) – 23-25%, хемогенні (солі, гіпси, ангідрити) – 2,8-3,1%. Глинисті породи теоретично можуть містити у мізерних кількостях уран, який входить до складу мінералів, які містять фосфор (P), цирконій (Zr), титан (Ti), торій (Th) і групу рідкоземельних хімічних елементів (TR). У ДДЗ породи переважно складаються з кремнезему (SiO_2) – 58-62%, силікатів (Al_2O_3) – 13-14%, оксидів заліза 5-6% (Fe_2O_3 – 3-4%, FeO – 2,0-2,3%), оксиду кальцію (CaO) – 5,4-6,3%, оксиду калію (K_2O) – 2,8-3,0%, оксиду натрію (Na_2O) – 1,1-1,2%. Решта компонентів складають менше 1%. Як видно, з наведеного складу осадових порід нафтогазових родовищ у них відсутні мінерали, які містять природні радіонукліди уранового ряду, що також підтверджується замірами радіаційних параметрів вибуреної породи з нафтогазових свердловин.

У СПВ нафтогазових родовищ ДДЗ згідно матеріалів постійного моніторингу, який здійснюється

працівниками служб радіаційної безпеки юридичних осіб Групи Нафтогаз, та досліджень науковців [3-6, 21] також не виявлено природних радіонуклідів уранового ряду. Однак, передусім в результаті підйому СПВ під час видобування вуглеводнів протягом тривалого періоду відбувається осадження мінеральних солей та інших утворень на поверхні обладнання. Це призводить до концентрування природних радіонуклідів, внаслідок чого відбувається, так зване, збагачення і збільшення їх активності порівняно з природним фоном.

Самі NORM (мінеральні відклади, шлами тощо) та нафтопромислові об'єкти і обладнання, на поверхні яких вони знаходяться: НКТ, насосне обладнання, запірні арматури, нафтопроводи, водоводи, апарати, резервуари різного призначення, обладнання гирл експлуатаційних та нагнітальних свердловин тощо, можуть бути реальною загрозою через іонізуюче опромінення для персоналу, який обслуговує це обладнання, а у разі відсутності належного контролю, то і для довкілля та населення.

Під час експлуатації нафтогазових свердловин періодично проводиться їх ремонт. При ремонті може знадобитися заміна частини чи всього НКТ або насосного обладнання, штанг глибинних насосів, також проведення різних методів з інтенсифікації тощо. Під час ремонту здійснюються спуско-піднімальні операції і працівники постійно контактують з цим НКТ та іншим обладнанням, яке може містити NORM. Також у резервуарах, особливо в яких зберігалася «сира» нафта чи СПВ, утворюються донні осади та нафтошлами, які також містять NORM. При зачистці резервуарів «збагаченні» NORM донні осади та нафтошлами є джерелом радіаційного забруднення довкілля. Ремонт обладнання, обслуговування та зачистка резервуарів є звичайною технологічною операцією у нафтогазовій галузі і жодним чином не відноситься до діяльності у сфері управління з радіоактивними відходами. Але при виконанні цих робіт чи здійсненні інших технологічних операцій, в обов'язковому порядку вживаються заходи з радіаційної безпеки для захисту працівників. Ці шкідливі фактори також враховуються під час проведення атестації робочих місць.

Перевезення придатного чи непридатного для подальшої експлуатації НКТ та іншого обладнання між виробничими об'єктами підприємств здійснюється власним технологічним транспортом, а з майдаників тимчасового зберігання непридатного НКТ перевезення здійснюється виключно автотранспортом спеціалізованих підприємств, хоча радіаційні параметри придатного і непридатного НКТ можуть бути однакові.

На завершальній стадії розробки, особливо нафтових родовищ, зростає обводненість продукції та обсяги видобування СПВ, що у свою чергу призводить до збільшення обсягів утворення мінеральних та бітумних відкладень на внутрішніх поверхнях

НКТ та іншому обладнанні. У таблиці 1 наведено обводненість продукції з деяких нафтових родовищ нафтогазовидобувного управління (далі – НГВУ) «Охтирканафтогаз» ПАТ «Укрнафта» та у таблиці 2 наведено статистичні дані про обсяги видобування супутньо-пластових зі всіх родовищ ПАТ «Укрнафта» за 2015-2024 рр. На відміну від ПАТ «Укрнафта», ситуація в АТ «Укргазвидобування» дещо інша, оскільки Товариство експлуатує переважно газові та газоконденсатні родовища, у яких на завершальній стадії експлуатації знижується енергія пласта, внаслідок чого виноситься менше СПВ. З метою збільшення обсягів видобування газу та виносу рідини, на більшості родовищ АТ «Укргазвидобування» через систему нагнітання інгібітора/деемультгатора з робочим тиском 1000PSI, який виготовлено ТОВ «Везерфорд Україна», у газові свердловини через спеціальний порт подається у трубний простір крапельним методом поверхнево-активна речовина. Результати обсягів видобування СПВ АТ «Укргазвидобування» за 2018-2024 рр. наведено у таблиці 3.

Серед обладнання, яке містить природні радіонукліди, значну частку займають виведені з експлуатації промислові трубопроводи, що використовуються для транспортування видобутої вуглеводневої сировини та СПВ. Через агресивне середовище у трубопроводах відбувається внутрішня корозія та їх розгерметизація, внаслідок чого у довкілля потрапляють СПВ та вуглеводні, забруднюються ґрунти, поверхневі та підземні води.

Через зростання обводненості продукції, тривалий термін експлуатації на майданчиках підпри-

ємств НГУ щороку накопичується у більших обсягах відпрацьоване обладнання, НКТ та шлами, які тимчасово зберігаються на спеціально облаштованих майданчиках (Фото 1). Облаштування підприємствами додаткових майданчиків призведе до додаткових затрат, але не вирішить цю проблему, а лише перенесе її у часі.

Перевезення НКТ у Зону відчуження також не вирішує проблему, а переносить її у просторі: з майданчиків тимчасового зберігання підприємств НГТУ на майданчики ДСП «ЦППРВ», на яких вже накопичено орієнтовно 4-5 тис. т. (Фото 2).

Аналізуючи наявні комерційні пропозиції спеціалізованих підприємств з надання послуг щодо перевезення та зберігання цього обладнання в Зоні відчуження ЧАЕС, лівову частку вартості складають затрати лише на перевезення (орієнтовно 18-20 тис.грн/т). Тому, на нашу думку, придбання власних автомобілів юридичними особами Групи Нафтогаз та отримання відповідних дозвільних документів (санітарних паспортів, сертифікатів, ліцензій) на право провадження діяльності з перевезення радіоактивних матеріалів суттєво зменшить витрати на оплату зазначених послуг, наданих сторонніми організаціями.

На даний час, через відсутність затвердженої Стратегії, зупинена будь-яка діяльність спеціалізованих підприємств щодо поводження з обладнанням та шлами, що забруднені природними радіонуклідами, про що Державне спеціалізоване підприємство «Об'єднання Радон» своїм листом від 23.01.2025 р. № 1.01-1.6/142-25 повідомило юридичні особи Групи

Таблиця 1

Обводненість продукції зі свердловин деяких нафтових родовищ НГВУ «Охтирканафтогаз» ПАТ «Укрнафта»

Обводненість продукції (%) на родовищах						
Рибальське	Бугруватівське	Качанівське	Анастасівське	Козіївське	Коржівське	Артюхівське
88,1-91,0	89,5-90,4	95,7-96,3	91,3-94,2	91,7-94,1	93,0-96,3	83,8-88,7

Таблиця 2

Обсяги видобування СПВ зі свердловин ПАТ «Укрнафта» за 2015-2024 рр.

Обсяги видобування СПВ (млн.м³) по роках									
2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
10,653	10,191	10,517	11,685	12,549	13,574	13,651	12,280	13,294	12,783
Всього млн.м³									108,394

Таблиця 3

Обсяги видобування СПВ зі свердловин АТ «Укргазвидобування» за 2018-2024 рр.

Обсяги видобування СПВ зі свердловин АТ «Укргазвидобування» за 2018-2024 рр.							
Роки	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Обсяги видобування	283,265	299,282	243,798	238,644	265,102	216,133	227,110
ВСЬОГО.							1773,334



Фото 1. Майданчик тимчасового зберігання НКТ з NORM ПАТ «Укрнафта»



Фото 2. Майданчик тимчасового зберігання НКТ з NORM у Зоні відчуження

Нафтогаз. В Україні є чинною Стратегія поводження з радіоактивними відходами, яка схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 19 серпня 2009 р. № 990-р. [22], але згідно [15] обладнання з NORM не відноситься до радіоактивних відходів (далі – РАВ), оскільки можливе подальше використання цих об'єктів та субстанцій в інших технологічних процесах або виробництві.

Законом України від 17.10.2019 № 208-IX «Про внесення змін до деяких законів України щодо вдосконалення законодавства у сфері поводження з радіоактивними відходами», серед іншого, урахувуючи міжнародний досвід, внесено відповідні зміни в існуючу класифікацію РАВ з метою їх захоронення – розділено РАВ на класи відповідно до критеріїв прийнятності захоронення РАВ у чотирьох типах сховищ: у поверхневих, приповерхневих, на проміжних глибинах, у геологічному сховищі. Відповідно встановлені такі класи РАВ:

- дуже низькоактивні (ДНАВ) – прийнятні для захоронення у поверхневих сховищах;
- низькоактивні (НАВ) – прийнятні для захоронення у приповерхневих сховищах;
- середньоактивні (САВ) – прийнятні для захоронення у сховищах на середніх глибинах (можуть захоронюватися також у глибоких геологічних формаціях);
- високоактивні (ВАВ) – можуть бути захоронені виключно в геологічному сховищі.

Загальні вимоги щодо захоронення РАВ у різних типах сховищ встановлені в розділі 1 глави II Загальних положень безпеки при захороненні радіоактивних відходів, затверджених наказом Держатомрегулювання № 331 від 13 серпня 2018 р., зареєстрованих в Міністерстві юстиції України 05 вересня 2018 за № 1008/32460 та в розділі 2 глави III Загальних положень безпеки при поводженні з радіоактивними відходами до їх захоронення,

затверджених наказом Держатомрегулювання № 279 від 08 серпня 2017 р., зареєстрованих в Міністерстві юстиції України 22 серпня 2017 р. за № 1045/30913.

Критерії приймання РАВ в сховище певного типу залежать від низки факторів: характеристики відходів, потужності сховища, характеристик системи його бар'єрів, проектних термінів виконання бар'єрами функцій безпеки, виду та тривалості адміністративного контролю тощо. Обґрунтування цих та інших критеріїв приймання РАВ має здійснюватися експлуатуючою організацією сховища для захоронення РАВ шляхом проведення оцінок безпеки сховища на етапах його експлуатації, закриття та в період після закриття сховища.

Згідно аналізу публікації та проведених моніторингових досліджень службами радіаційної безпеки юридичних осіб Групи Нафтогаз, у шламах з NORM, у переважній більшості випадків, питома активність не перевищує 10 000 Бк/кг. При цьому необхідно врахувати, що питома активність шламів може зменшуватися під час іммобілізації чи кондиціонування (додавання в'язучих матеріалів та води) або зрости під час піролізу, оскільки відбувається, так зване, збагачення природними радіонуклідами через вилучення з нафтошламів води і вуглеводнів [23]. Але зменшення чи збільшення питомої активності цих відходів може змінюватися тільки на декілька відсотків і максимально у декілька разів, але не на порядок. Тому ці відходи можна захоронювати у поверхневих і приповерхневих сховищах.

Потужність експозиційної дози для 85-90% НКТ становить від 100 до 1000 мкР/год. Лише на окремих фрагментах обладнання радіаційні параметри можуть сягати 2000 мкР/год, іноді й більше [24].

В Україні на сьогодні існують тільки сховища приповерхневого типу, які використовуються виключно для зберігання РАВ з об'єктів атомної енергетики. Сховища інших типів не спроектовані. Критерії приймання РАВ в сховища різних типів (крім приповерхневих сховищ) відсутні. У зв'язку з цим мають бути встановлені критерії допустимості (недопустимості) захоронення РАВ у вигляді шламів та вторинних відходів від дезактивації НКТ у сховищах різних типів на основі обґрунтованих припущень.

З цією метою необхідно розробити нормативно-правовий акт, який має встановити загальні критерії класифікації радіоактивних відходів для їх захоронення в сховищах різних типів, в якому мають бути деталізовані вимоги розділення РАВ на класи з метою захоронення у сховищах різних типів. Хоча на практиці точні межі за питомою активністю відходів додатково будуть встановлюватися оператором у критеріях для захоронення дуже низькоактивних відходів у сховищі. Якщо таке сховище у Зоні відчуження буде збудоване, то воно не буде призначене для відходів НГГУ.

Оператора сховища визначає орган управління – Державне агентство України з управління зоною від-

чуження. На даний час єдиним оператором сховищ для захоронення РАВ є ДСП «ЦППРВ», яке не має досвіду з дезактивації НКТ, поводження з обладнанням та матеріалами нафтогазової галузі України, а лише накопичує їх на своїх майданчиках. Якщо ж на державному рівні для цих відходів буде сформована відповідна політика, і наприклад буде встановлено, що для цього типу відходів буде призначено окремого оператора, це може бути, як існуючий оператор, або окреме підприємство НГГУ чи його філія, тоді це підприємство може за власні кошти збудувати таке сховище у Зоні відчуження. Тому з метою створення спеціалізованого підприємства для дезактивації НКТ та будівництва сховища для захоронення РАВ нафтогазової галузі має бути рішення відповідних центральних органів виконавчої влади та бажання і фінансові можливості юридичних осіб Групи Нафтогаз.

Загальнонаукове значення. Дослідженнями підтверджений прямий зв'язок між обводненістю продукції свердловин та обсягами утворення мінеральних і бітумних відкладень на внутрішніх поверхнях НКТ або іншому обладнанні сам під час видобування вуглеводнів, а не під час буріння свердловин. Доведено, що довготривале видобування вуглеводнів приводить до збільшення осадження, передусім, мінеральних солей на поверхні обладнання, що як раз є причиною концентрування природних радіонуклідів та розвитку корозійних процесів, наслідком чого є забруднення компонентів довкілля.

Встановлено, що магістральні трубопроводи та резервуарні парки з товарною нафтою та газом не містять природні радіонукліди, через відсутність в них механічних домішок та СПВ, відповідно в них відсутні NORM.

Головні висновки. Результати моніторингових спостережень свідчать про наступне:

- значне обводнення продукції свердловин на нафтових родовищах НГВУ «Охтирканафтогаз» ПАТ «Укрнафта», яке знаходиться в межах 83,8-96,3%;
- щорічні обсяги видобування СПВ із свердловин ПАТ «Укрнафта» набагато більші ніж із свердловин АТ «Укргазвидобування», млн. м³ і тис.м³, відповідно, що пов'язано з видом вуглеводнів, що видобуваються.

Відходи буріння та бурове обладнання не містять природних радіонуклідів.

Мінерально-бітумні утворення з NORM при потраплянні у довкілля можуть забруднювати ґрунти, поверхневі та підземні води.

Концентрування радіоактивних елементів на поверхні обладнання НГГУ несе пряму небезпеку здоров'ю персоналу, функції якого пов'язані безпосередньо з ремонтом, обслуговуванням тимчасовим зберіганням, перевезенням, дезактивацією обладнання, іммобілізацією, кондиціонуванням, зачищенням резервуарів, захороненням вторинних відходів, які можуть утворюватися під час дезактивації.

Важливим аспектом є перевезення радіоактивно забрудненого обладнання між виробничими об'єктами нафтогазових підприємств та з майданчиків тимчасового його зберігання. Останнє здійснюється виключно автотранспортом спеціалізованих підприємств, при цьому радіоактивні параметри придатного і непридатного обладнання можуть бути однакові. З іншого боку, на даний час призупинена будь-яка діяльність спеціалізованих підприємств щодо управління обладнанням та іншими матеріалами, що забруднені природними радіонуклідами. Тому, доцільним вважається перевезення радіоактивно забрудненого обладнання власним автотранспортом Групи Нафтогаз при умові отримання дозволено-ліцензійних документів на право провадження діяльності з перевезення радіоактивних матеріалів, що дозволить зменшити витрати на оплату послуг сторонніх організацій.

На даний час, все обладнання та відходи забруднені природними радіонуклідами зберігаються на майданчики ДСП «ЦППРВ» у Зоні відчуження, що загалом не вирішує проблеми. В той же час

відсутні сховища для захоронення дуже низькоактивних та низькоактивних радіоактивних відходів, до яких можна буде віднести шлами та вторинні відходи від дезактивації НКТ та деяке інше радіоактивно забруднене обладнання нафтогазових підприємств.

З іншого боку існує проблемне питання, яке пов'язане з тим, що в Стратегії поводження з радіоактивними відходами обладнання з NORM не відноситься до РАВ, оскільки можливе подальше використання цих об'єктів в інших технологічних процесах або виробництві.

Перспективи використання результатів дослідження. Розроблено проєкт Стратегії з дезактивації НКТ з будівництвом приповерхневого сховища для захоронення низькоактивних радіоактивних відходів, що утворюються при дезактивації НКТ, та полігону – поверхневого сховища, для захоронення дуже низькоактивних радіоактивних відходів, що може бути реалізовано при підтримці відповідних центральних органів виконавчої влади та Групи Нафтогаз.

Література

1. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 23 березня 2021 року «Про виклики і загрози національній безпеці України в екологічній сфері та першочергові заходи щодо їх нейтралізації»: Указ Президента України від 23 березня 2021 № 111/2021. URL: <https://surl.li/cc/knagab>.
2. Про утворення робочої групи з розроблення Стратегії поводження з матеріалами, обладнанням і відходами нафтогазовидобувної промисловості, забрудненими радіонуклідами природного походження: Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 09.03.2023 № 139 зі змінами від 05.06.2023 р. № 397. URL: <https://surl.li/ezyrwa>.
3. Шумлянський В. О. Техногенне забруднення радіоактивними елементами на родовищах корисних копалин / В. О. Шумлянський, А. Г. Субботін, А. Х. Бакаржєв та ін. К.: Знання України, 2003. 133 с. URL: <https://surl.li/qkqxem>.
4. Проблема радіоактивного забруднення навколишнього середовища під час розробки нафтових родовищ України / М. Ю. Журавель, П. В. Ключко, С. В. Лощкін та ін. *Нафтова і газова промисловість*. 1997. № 2. С. 48-51.
5. Обстеження радіаційного стану на підприємстві НГВУ «Охтирканнафтогаз» / Т. О. Павленко, М. В. Аксьонов, М. А. Фризюк та ін. *Гігієна населених місць*. 2011. № 58. С. 267-271.
6. Проблемні аспекти поводження з насосно-компресорними трубами, що забруднені природними радіонуклідами / П. Г. Дригулич, А. В. Пукіш, В. А. Новоставський, М. П. Шпек *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2015. № 3(56). С. 134-139. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/rnng_2015_3_18.
7. Пляцук Л. Д., Бурла О. А., Аблєєва І. Ю. Оцінка радіаційного впливу нафтовидобувного комплексу на об'єкти навколишнього середовища. *Екологічна безпека*. 2017. Вип. 2. С. 101-107. URL: <https://surl.li/nvkvuz>.
8. Аблєєва І. Ю. Системний підхід до підвищення екологічної безпеки нафтовидобувних територій: монографія. Суми: Сумський державний університет, 2021. 275 с. URL: <https://surl.li/dshdsu>.
9. Корнус А. О., Третьякова О. М. Радіоактивне забруднення природними радіонуклідами територій нафтогазових родовищ Сумської області. URL: <https://surl.li/jevebz>.
10. Сорока Ю. М. Наукові основи забезпечення екологічної безпеки при поводженні з матеріалами з вмістом природних радіонуклідів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису: дис. д-ра техн. наук: 21.06.01 / Дніпровський державний технічний університет Міністерства освіти і науки України, Кам'янське, 2021. 325 с. URL: <https://surl.li/yptaow>.
11. Чому необхідно регулювати безпеку матеріалів та відходів, що містять радіонукліди природного походження. URL: <https://surl.li/zlpoda>.
12. Круглий стіл «Проблеми поводження з промисловими відходами, що містять природні радіонукліди»: Національний інститут стратегічних досліджень. URL: <https://surl.li/btpyvc>.
13. Дядін Д. В. Моніторинг підземних і поверхневих вод на об'єктах нафтогазопромислового комплексу: дис. ... канд. техн. наук (доктора філософії): 21.06.01 / Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова. Харків, 2019. 224 с. URL: <https://surl.li/kpvoms>.
14. Дядін Д. В., Журавель М. Ю., Ключко П. В. Оцінка стану довкілля на ділянках аварійних свердловин. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2018. № 1. С. 4-13. URL: <https://surl.li/llacui>.
15. Про поводження з радіоактивними відходами: Закон України від 01.01.2024 № 255/95-ВР. URL: <https://surl.gd/ehgofj>.
16. Дніпровсько-Донецька западина. URL: <https://esu.com.ua/article-22212>.
17. Нафтогазоносні регіони України. URL: <https://surl.li/xtctmq>.

18. Білецький В. С. Осадні гірські породи. Велика українська енциклопедія. URL: [https://vue.gov.ua/Осадні гірські породи](https://vue.gov.ua/Осадні_гірські_породи).
19. Білоніжко П. Геохімія біосфери. Geochemistry of the biosphere : монографія. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2018. 182 с. URL: <https://surl.li/byniuuh>.
20. Уранові руди. URL: <https://surl.li/ukrejif>.
21. Рева М.В. Геолого-економічна оцінка супутньо-пластових вод нафтових і газових родовищ Східного нафтогазового регіону України як цінної гідромінеральної сировини : автореферат дис. на здобуття наук. ступеня канд. геол. наук : 04.00.19. К.: КНУ ім. Тараса Шевченка, 2019. – 20 с. URL: <https://surl.li/cecngs>.
22. Про схвалення Стратегії поводження з радіоактивними відходами в Україні : Розпорядження КМУ від 19.03.2009 р. № 990-р. URL: <https://surl.li/puchvc>.
23. Дригулич П. Г. Проблемні аспекти поводження з шламами, забрудненими природними радіонуклідами. *Нафтогазова галузь України*. 2014. № 6 (12). С. 40-45. URL: <https://surl.li/dneigc>.
24. Проблемні аспекти поводження з насосно-компресорними трубами, що забруднені природними радіонуклідами / П. Г. Дригулич, А. В. Пукіш, В. А. Новоставський, М. П. Шпек. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2015. № 3. С. 134-139. URL: <https://surl.li/yooqco>.

UDC 621.532.4

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.2-59.3>

ANALYSIS OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS INTO ATMOSPHERIC AIR FROM OIL AND GAS PRODUCTION FACILITIES

Kryvenko G.M.

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
Karpatska Str., 15, Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine
galyna.kryvenko@nung.edu.ua

The sectors of the national economy have experienced the devastating impact of Russian aggression in Ukraine. The adaptability to challenges during the full-scale war has allowed enterprises in the oil and gas sector to maintain a positive dynamic. Currently, oil and gas companies emit a significant amount of greenhouse gases. Despite wartime conditions, these companies are paying attention to ensuring Ukraine's fulfillment of its international and European integration commitments in the field of climate change mitigation. Ensuring the effective functioning of enterprises is a key objective of environmental policy. The construction of new oil and gas wells will enhance the country's energy potential. However, oil and gas wells pose environmental threats both during technological processes and in emergency situations. Therefore, analyzing greenhouse gas emissions throughout the well's life cycle is highly relevant. The purpose of this study is to analyze greenhouse gas emissions into the atmosphere at various stages of the well life cycle. To achieve this aim, the following research objectives were formulated: to analyze greenhouse gas emissions during the drilling and abandonment stages of wells and to identify measures for their reduction. The object of the study is oil and gas wells located at an industrial site. The subject of the study is greenhouse gas emissions. An analysis of total greenhouse gas emissions during the life cycle was conducted. Combustion products from diesel fuel used by drilling rig engines are the primary sources of impact on the atmospheric air during drilling and abandonment. These stages of the well life cycle account for a significant portion of greenhouse gas emissions. Organized sources of greenhouse gas emissions during the drilling and abandonment stages were considered. Gross emissions of greenhouse gases into the air during the drilling and abandonment of three wells of varying depth and drilling cycle duration were calculated. It has been determined that the enterprise's greenhouse gas emissions pose no risk to the health of personnel. *Key words:* well life cycle, greenhouse gases, environment, emission sources, combustion products, drilling process.

Аналіз викидів парникових газів у атмосферне повітря нафтогазовидобувними об'єктами. Кривенко Г.М.

Галузі вітчизняної економіки відчули на собі руйнівну силу російської агресії в Україні. Адаптивність до викликів в умовах повномасштабної війни дозволила підприємствам нафтогазової галузі зберегти позитивну динаміку. На даний час підприємства нафтогазової галузі викидають значну кількість парникових газів. Незважаючи на військовий стан нафтогазові компанії приділяють увагу забезпеченню виконання Україною її міжнародних та євроінтеграційних зобов'язань у сфері боротьби зі зміною клімату. Гарантування ефективного функціонування підприємств є головним завданням екологічної політики. Спорудження нових нафтогазових свердловин дасть змогу покращити енергетичний потенціал держави. Але нафтогазові свердловини створюють загрозу навколишньому середовищу як при технологічних процесах, так і під час аварійних ситуацій. Отже, аналіз викидів парникових газів під час життєвого циклу свердловини є актуальним. Метою даної роботи є аналіз викидів парникових газів у атмосферне повітря на етапах життєвого циклу свердловини. Для досягнення поставленої мети були сформульовані наступні задачі досліджень: аналіз викидів парникових газів на етапах буріння та ліквідації свердловин та заходи щодо їх мінімізації. Об'єктом дослідження є нафтогазові свердловини на промисловому майданчику. Предмет досліджень: викиди парникових газів. Проведено аналіз сумарних викидів парникових газів під час життєвого циклу. Продукти згорання дизельного палива двигунів бурової установки є джерелами впливу на повітряне середовище при бурінні та ліквідації свердловини. На ці етапи життєвого циклу свердловини припадає значна кількість викидів парникових газів. Розглянуто організовані джерела викиду парникових газів на етапах буріння та ліквідації свердловин. Розраховано валові викиди парникових газів у повітря у процесі буріння та ліквідації трьох свердловин, які відрізняються глибиною та тривалістю циклу буріння. Встановлено, що викиди парникових газів підприємством не несуть загрози здоров'ю персоналу. *Ключові слова:* життєвий цикл свердловини, парникові гази, довкілля, джерела викиду, продукти згорання, процес буріння.

Introduction. Formulation of the problem. The sectors of the national economy have felt the devastating impact of Russian aggression in Ukraine. The oil and gas industry is no exception, as the uninterrupted functioning of all economic sectors depends on its stable operation. The military aggression of the Russian Federation against Ukraine has caused critical damage to the country's energy infrastructure. However, adaptability to challenges under the conditions of full-scale war has enabled oil and gas enterprises to maintain a positive dynamic.

Despite the state of war, oil and gas companies remain committed to ensuring that Ukraine fulfills its international and European integration obligations in the field of climate change mitigation [1]. Over the next two decades, natural gas will play a key role in the country's energy security and will serve as a transitional fuel in the processes of economic decarbonization. The construction of new oil and gas wells will enhance the state's energy potential. However, oil and gas wells pose a threat to the environment both during technological processes and in the event of emergencies.

The relevance of the research and the connection of the author's work with important scientific and practical tasks. The problem remains relevant despite efforts to optimize the structure of the national energy sector by increasing the use of low-carbon energy sources and reducing greenhouse gas emissions. To address it effectively, a detailed analysis of the factors contributing to environmental pollution is necessary. This will make it possible to implement appropriate measures to minimize greenhouse gas emissions. This constitutes the practical significance of the author's work.

Analysis of recent research and publications. The issues of greenhouse gas emissions and the environmental assessment of atmospheric air quality are addressed in scientific works [2, 3, 4]. The improvement of production processes aimed at reducing the environmental impact of industrial enterprises is discussed in works [5, 6, 7]. The analysis of technogenic pressure on the atmospheric environment is presented in studies [8, 9]. Environmental impacts during well drilling may occur not only as a result of emergency situations but also under normal operating conditions. This is primarily due to significant emissions of greenhouse gases and other pollutants into the atmosphere [10, 11]. The release of hydrocarbons and other hazardous substances from wells and their resulting environmental consequences are described in [12].

Highlighting previously unresolved parts of the general problem, to which the specified article is devoted. To date, the issue of reducing greenhouse gas emissions into the atmosphere remains unresolved. Therefore, a comprehensive analysis of greenhouse gas emissions is necessary to identify effective mitigation strategies.

The purpose and objectives of the study. The purpose of this study is to analyze greenhouse gas emissions into the atmosphere at various stages of the well life cycle. To achieve this goal, the following research objectives were formulated: to analyze greenhouse gas emissions during the drilling and abandonment stages of wells; to identify measures aimed at minimizing these emissions. The object of the study is oil and gas wells located at an industrial site. The subject of the study is greenhouse gas emissions.

Novelty and general scientific significance. The novelty of the research lies in the comprehensive investigation of greenhouse gas emissions at different stages of the well life cycle. The results of this scientific work, in combination with other studies, will enable the implementation of appropriate measures to minimize greenhouse gas emissions.

Materials and Methods. The analysis of greenhouse gas emissions into the atmosphere was conducted using the example of three oil and gas wells located within the administrative boundaries of a united territorial community in the Poltava region. The drilling depths of the wells to the top of the productive horizon are 2400 m, 2500 m, and 2750 m, respectively. The drilling method

is rotary, combined (rotary and screw downhole motor). The duration of the drilling cycle for each well is 40, 76, and 99 days, respectively [13].

Oil and gas industry enterprises are associated with emissions of greenhouse gases into the atmosphere, including carbon dioxide, methane, and nitrous oxide, as well as other air pollutants. A diagram illustrating greenhouse gas emissions into the atmosphere by oil and gas sector enterprises in 2021 has been constructed (Fig. 1) [14].

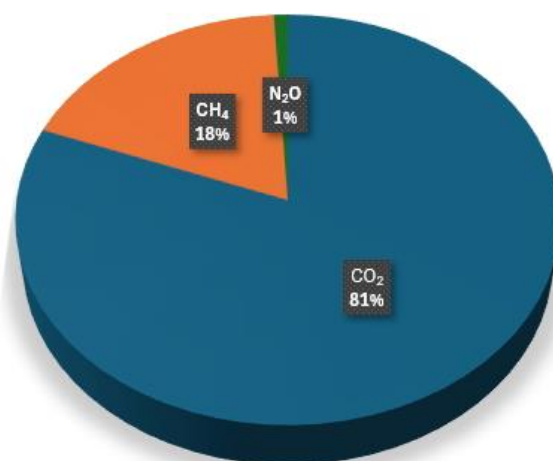


Fig. 1. Structure of Greenhouse Gas Emissions into the Atmosphere by Oil and Gas Sector Enterprise

According to the emission structure shown in Fig. 1, carbon dioxide (CO₂) emissions account for 81% of total atmospheric emissions. Since they represent the majority of emissions, it is reasonable to analyze their specific impact on the environment.

The gross emission of the j -th pollutant M_j released into the atmosphere is determined by the following equation:

$$M_j = \sum_i M_{ji} = 10^{-6} \sum_i k_{ji} B_i (Q_i^r)_i, \quad (1)$$

where M_{ji} – gross emission of the j -th pollutant during the combustion of the i -th type of fuel over the time period t , in tonnes; k_{ji} – emission factor of the j -th pollutant for the i -th fuel, g/GJ; B_i – consumption of the i -th fuel over the time period t , in tonnes; $(Q_i^r)_i$ – lower heating value of the i -th fuel, MJ/kg.

The emission factor carbon dioxide CO₂ during the combustion of organic fuels, in g/GJ, is determined by the formula:

$$k_{co_2} = \frac{44}{12} \cdot \frac{C^I}{100} \cdot \frac{10^6}{Q_i^r} \varepsilon_c = 3.67 k_c \varepsilon_c \quad (2)$$

where C^I – carbon content in the fuel based on working mass, %; Q_i^r – lower heating value of the fuel, MJ/kg; ε_c – oxidation factor of carbon in the fuel (CO₂); k_c – carbon emission factor of the fuel, g/GJ.

Numerical values of the emission factors for methane and nitrogen oxide (NO) are provided in [15].

Presentation of the main material. The life cycle of oil and gas wells, during which greenhouse gas and pollutant emissions are observed, consists of the following stages: site preparation for drilling operations, well drilling, well connection, operation, and well abandonment. Each stage is characterized by a specific percentage of greenhouse gas emissions into the atmosphere as a result of industrial activities.

The structure of greenhouse gas emissions at different stages of the well life cycle is shown in Fig. 2 [13].

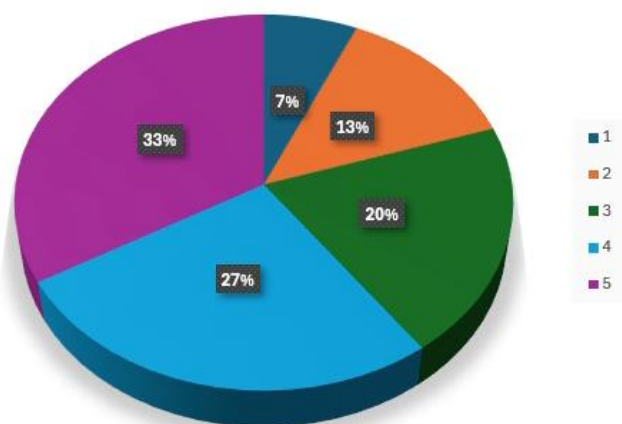


Fig. 2. Structure of Greenhouse Gas Emissions at Different Stages of the Well Life Cycle

1 – site preparation; 2 – drilling; 3 – well connection; 4 – well operation; 5 – abandonment

According to Fig. 2, at the well abandonment stage, greenhouse gas emissions account for 33% of the total emissions over the entire life cycle; during well operation – 27%; well connection – 20%; drilling – 13%; and site preparation for drilling operations – 7%.

Since the duration of each stage of the oil and gas well life cycle varies, it is recommended to consider the emission intensity of greenhouse gases to assess the degree of environmental pollution.

The drilling stage demonstrates the highest emission intensity. However, its duration is only about 2% of the total well life cycle. The well abandonment stage is characterized by a high emission intensity of greenhouse gases. The operational stage lasts approximately up to 85% of the total well life cycle and is characterized by medium levels of emission intensity.

The greenhouse gas emission intensities at different stages of the well life cycle are presented below. During the site preparation stage, the emission intensity of greenhouse gases is 0.1221675 g/s; during drilling – 121.1757 g/s; during well connection – 0.0486675 g/s; during operation – 0.155325 g/s; and during abandonment – 40.4237 g/s [13].

At the drilling stage, greenhouse gas emissions account for only 13% of the total emissions throughout the well's life cycle, while at the abandonment stage – 33%. However, since the emission intensity at the drilling stage constitutes 74.9% of the total emission intensity, and at the abandonment stage – 24.9%, these two stages will be further considered for a detailed analysis of greenhouse gas emissions.

Greenhouse gas emissions from organized sources during well drilling and abandonment have been determined. We will analyze the emissions of greenhouse gases – CO_2 , CH_4 , and N_2O – into the atmospheric air through the exhaust pipes of diesel engines during the drilling of wells No. 1, No. 2, and No. 3, as well as during their abandonment.

The results of the calculated greenhouse gas emissions from diesel engine exhaust pipes during drilling and abandonment are presented in Figures 3, 4, and 5.

From the analysis of Fig. 3 it follows that during the drilling of wells No. 1, No. 2, No. 3, carbon dioxide

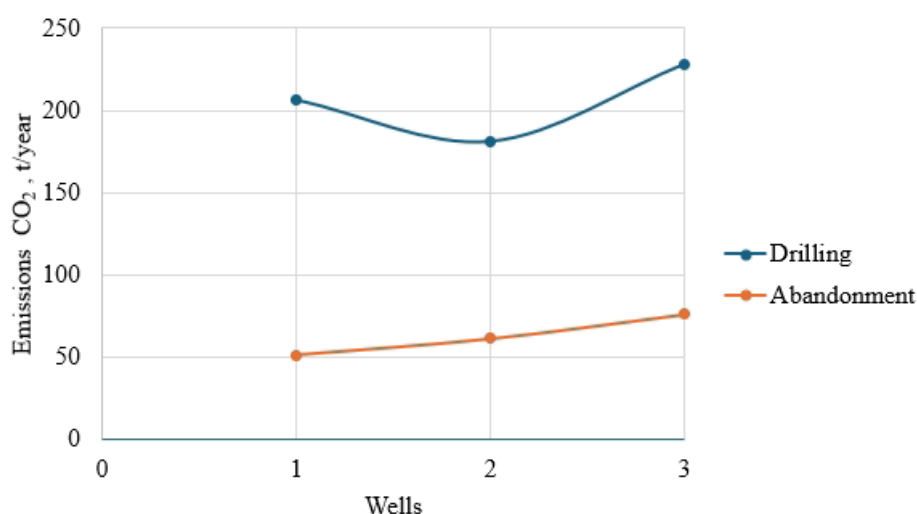


Fig. 3. Carbon dioxide emissions from diesel engine exhaust pipe

emissions of 206.0 t/year, 180.8 t/year and 228.2 t/year are observed through the exhaust pipes of diesel engines, respectively.

A 12% reduction in CO₂ emissions from well No. 2 compared to No. 1 can be explained by an increase in the average drilling rate achieved through the use of upgraded rigs. The 26% increase in greenhouse gas emissions from well No. 3 compared to No. 2 is due to the greater drilling depth of well No. 3 – its vertical depth to the roof of the productive horizon is 250 m deeper than that of well No. 2 – as well as the longer drilling cycle, which is extended by 23 days.

Well abandonment is a set of measures aimed at restoring the natural state of rock formations disrupted by the well, in order to protect subsoil resources. During the abandonment of wells No. 1, No. 2, and No. 3, carbon dioxide emissions amount to 51.5 t/year, 60.3 t/year, and 76.1 t/year, respectively.

Carbon dioxide (CO₂) emissions from organized sources during drilling and abandonment of wells are shown in Figure 4. The first and second sources of greenhouse gas emissions are the exhaust systems of two diesel engines used to drive the rotary table and the drawworks. The third and fourth sources are the exhaust systems of two diesel engines powering the drilling mud pumps. The fifth and sixth sources correspond to the exhaust systems of two diesel engines operating the electric generators.

Analysis of the data indicates that the highest greenhouse gas emissions occur during the drilling stage from the diesel engines powering the mud pumps, reaching 61.52 tonnes per year. During the well abandonment stage, emissions from these sources decrease to 20.53 tonnes per year. The deviation in emissions from the identified organized sources does not exceed 3.4%. Thus, during drilling operations, the sources are used alternately: either the first or second emission source, the third or fourth, and the fifth or sixth, respectively. To

reduce emissions of greenhouse gases and air pollutants, the operation of equipment involved in continuous technological processes is temporally distributed.

Analysis of Fig. 5 indicates that during the drilling of wells, methane (CH₄) emissions through the exhaust pipes of diesel engines range from 0.00769 t/year to 0.00958 t/year, while nitrous oxide (N₂O) emissions range from 0.00615 t/year to 0.00938 t/year.

During well abandonment, CH₄ emissions range from 0.002116 t/year to 0.00313 t/year, and N₂O emissions range from 0.015375 t/year to 0.0175 t/year.

To reduce greenhouse gas emissions into the atmosphere, the following mitigation measures are recommended: improving resource efficiency; reducing methane emissions and leaks; avoiding flaring and well blowouts during technological processes; transitioning to renewable energy sources to meet internal energy demands; prohibiting engine operation in overload mode; and distributing the operation of equipment involved in continuous technological processes over time.

The implementation of these and other measures will contribute to the reduction of emissions at the drilling site.

Since carbon dioxide (CO₂) emissions account for 81%, we will assess its impact on atmospheric air. The assessment of the impact of greenhouse gas emissions on the state of atmospheric air is carried out based on the results of calculations of greenhouse gas content in emissions from organized sources.

The change in ground-level concentration relative to the background concentration (C_f) is determined as follows:

$$\Delta C = \frac{C + C_f}{C_f}, \quad (3)$$

where C is the ground-level concentration of CO₂ emissions, g/m³, and C_f is the background concentration of CO₂ in atmospheric air, g/m³.

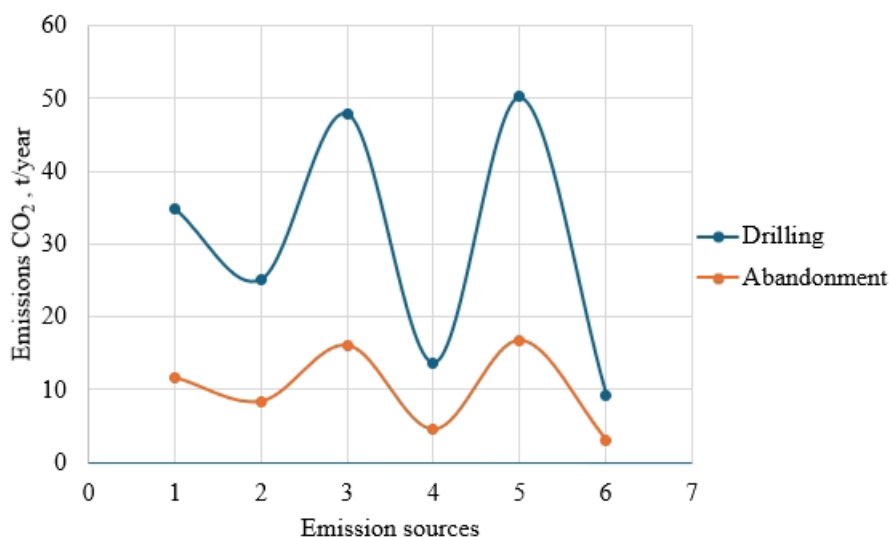


Fig. 4. Carbon dioxide emissions from organized sources

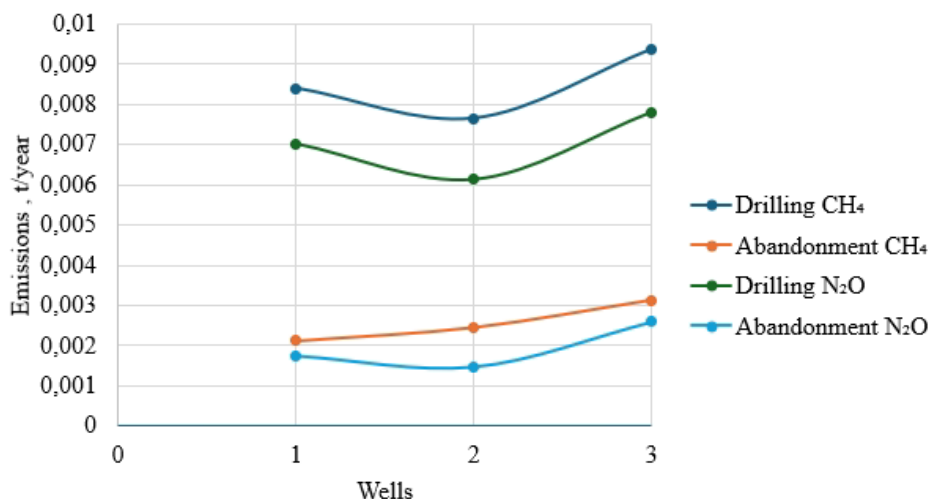


Fig. 5. Emissions of greenhouse gases CH₄ and N₂O

Under normal conditions, approximately 350 cm³ of CO₂ is contained in 1 m³ of atmospheric air, which corresponds to 350 ppm – the optimal concentration of carbon dioxide in the air in terms of its impact on human health. Based on the gas density under standard conditions, the background concentration was calculated to be 0.687 g/m³. According to the results of greenhouse gas emission calculations from six organized sources during the drilling and abandonment of wells, the ground-level concentration of CO₂ was determined using the methodology presented in [16], amounting to 3.326 g/m³ at an emission rate of 119.32 g/s.

Under normal background levels of CO₂, the company's emissions do not pose a threat to personnel health, even at a concentration increase of 4.841 times, which corresponds to 1694 ppm in open space. It should be noted that emissions during drilling operations are temporary in nature. For example, if the life cycle of a well is 10 years, and the average duration of the drilling phase is approximately 70 days, then the

drilling stage accounts for only about 2% of the total well life cycle [13].

Conclusions. An analysis of total greenhouse gas emissions at various life cycle stages of three wells was carried out. Differences in emissions are attributed to the increased average drilling speed achieved by modernized rigs and the varying duration of the drilling cycles. The company's emissions do not pose a threat to personnel health, even with a concentration increase of up to 4.841 times, which corresponds to 1694 ppm in open air. The emissions produced during drilling are short-term and limited to the duration of the drilling phase.

Prospects for the use of research results. The findings of the scientific research presented in this article may be applied to address issues related to greenhouse gas emissions during the drilling and abandonment of oil and gas wells. Future studies will focus on a comprehensive assessment of pollutant emissions at oil and gas industry facilities.

References

1. Уряд схвалив цілі кліматичної політики України до 2030 року. *Урядовий портал*. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/uryad-shvaliv-cili-klimatichnoyipolitiki-ukrayini-do-2030-roku>.
2. Gleick P. H., Adams R. M., Amasino R. M. et al. Climate Change and the Integrity of Science. *Science*. 2010. Vol. 328, Issue 5979. P. 689-690.
3. Oksana Liuta, Ivan Tymchuk, Myroslav Malovanyy, Tsitsino Turkadze. Education in the field of climate agraldaption as an integral part of achieving sustainable development goals. *Journal of Ecological Engineering*. Vol. 9. 1. 2024. P. 21-27.
4. Кривенко Г. М. Аналіз викидів парникових газів у атмосферне повітря об'єктами нафтогазового комплексу. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2020. 2. С. 48-57.
5. Adamenko Ya. The Methodology of Environmental Impacts Assessment of Environmentally Hazardous Facilities. *Environmental Problems*. 2017. 2(1) P. 19-23.
6. Galyna Kryvenko. Emissions of Pollutants into the Atmospheric Air by Stationary Sources. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, 2021. Volume 8. No.2. P. 301-310.
7. Михайлова С.О. Викиди парникових газів в Україні та світі. *Безпека людини у сучасних умовах*. Харків. 2016. С. 256-264.
8. Чугай А. В., Чернякова О. І., Базика Ю. В. Аналіз техногенного навантаження на повітряний басейн окремих промислово-міських агломерацій Східної України (на прикладі міста Дніпро). *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна серія «Екологія»*. 2018. № 19. С. 75-81.
9. Brandt A., Masnadi M., Than K. Climate impacts of super-giant oilfields go up with age, Stanford scientists say. 2017. URL: <https://news.stanford.edu/2017/07/17/climate-impacts-super-giant-oilfields-go-age/>.

10. Broni-Bediako E., Amarin R. Effects of Drilling Fluid Exposure to Oil and Gas Workers Presented with Major Areas of Exposure and Exposure Indicators. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*. 2010. 2(8). p. 710-719.
11. Хомин В. Р. Екологічні ризики під час буріння та освоєння свердловин. *Науковий вісник НЛТУ України. Екологія та довкілля*. 2015. Вип. 25.4 2. С. 110-114.
12. Innovative development of resource-saving technologies for mining. Shkitsa L., Yatsyshyn T., Liakh M. ets. Multi-authored monograph. Sofia: Publishing House "St.Ivan Rilski", 2018. 439 p.
13. Звіт з оцінки впливу на довкілля буріння свердловин. СП «Полтавська газонафтова компанія». 2022. 499 с.
14. Річний звіт 2021. Група Нафтогаз. URL:<https://www.vitrenkolibrary.com/wp-content/uploads/2022/10.pdf>.
15. Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами. Український науковий центр технічної екології. 2004. Том I. 184 с.
16. Звіт з оцінки впливу на довкілля. АТ «Укргазвидобування». 2022. 394 с.

УДК 628.44:333.72(477)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.2-59.4>

ОЦІНКА ВПЛИВУ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА СКОРОЧЕННЯ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ В УКРАЇНІ

Примиська С.О.¹, Форись С.М.², Усенко А.Ю.²¹Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
пр. Перемоги, 37, 03056, м. Київ²Український державний університет науки і технологій
пр. Гагаріна, 26, 49005, м. Дніпро

t3232557@gmail.com, t3232557@gmail.com, t3232557@gmail.com

У статті досліджено актуальні проблеми розвитку відновлюваних джерел енергії та виклики, пов'язані зі зростанням викидів парникових газів в енергетичному секторі України. Основними труднощами є вимушена децентралізація енергетичної системи через відмову від великих енергогенерувальних об'єктів і скорочення обсягів електрогенерації, що зумовлює більшу потребу в автономних джерелах енергії.

Оцінка взаємозв'язку між відновлюваними джерелами енергії та рівнем викидів парникових газів ускладнюється їх різноманітністю, відмінною енергоємністю та дією нових чинників, зокрема бойових дій, які створюють додаткові джерела забруднення. Наголошено на необхідності подальших досліджень впливу руйнівних факторів на оновлення енергетичних технологій і прискорення впровадження інноваційних рішень для зменшення викидів парникових газів.

Встановлено, що для зниження екологічного навантаження потрібен перехід до децентралізованої енергетики із залученням відновлюваних джерел. Проте досвід України вказує на доцільність використання гібридних технологій, які демонструють вищу стійкість до негативних факторів. Повна відмова від невідновлюваних джерел не є доречною. Для досягнення сталого розвитку пріоритетними є підвищення енергоефективності на всіх етапах – від виробництва до споживання енергії, формування екологічної свідомості населення та впровадження інноваційних технологій у сферу енергетики.

Перспективи застосування результатів дослідження полягають у визначенні найбільш ефективних технологій для енергетичного сектору в умовах кризи, а також у розробленні заходів для підвищення енергетичної стійкості, незалежності та гарантування екологічної безпеки держави. *Ключові слова:* енергетичний перехід, декарбонізація економіки, екологічна політика, технології сталого розвитку, управління викидами.

Assessment of the impact of renewable energy sources on reducing greenhouse gas emissions in Ukraine. Prymska S., Forys S., Usenko A.

The article examines the current problems of developing renewable energy sources and the challenges associated with the growth of greenhouse gas emissions in the energy sector of Ukraine. The main difficulties are the forced decentralisation of the energy system due to the abandonment of large power-generating facilities and the reduction of electricity generation, which leads to a greater need for autonomous energy sources.

Their diversity complicates assessing the relationship between renewable energy sources and greenhouse gas emissions, different energy intensities and the impact of new factors, including military operations, which create additional sources of pollution. The author emphasises the need for further research into the impact of destructive factors on the renewal of energy technologies and accelerating the implementation of innovative solutions to reduce greenhouse gas emissions.

It is established that a transition to decentralised energy using renewable sources is required to reduce the environmental burden. However, Ukraine's experience indicates that it is advisable to use hybrid technologies that demonstrate greater resistance to negative factors. A complete rejection of non-renewable sources is not appropriate. In order to achieve sustainable development, the priority is to increase energy efficiency at all stages – from production to consumption, to raise the population's environmental awareness, and to introduce innovative technologies in the energy sector.

Prospects for applying the results of the study are to identify the most effective technologies for the energy sector in times of crisis, as well as to develop measures to increase energy sustainability and independence and ensure the environmental safety of the state. *Key words:* energy transition, decarbonisation of the economy, environmental policy, sustainable development technologies, emissions management.

Постановка проблеми. Кліматичні зміни, значною мірою спричинені антропогенною діяльністю, вимагають більшої уваги до питань екологічної безпеки. Важливою є трансформація політики та економіки в напрямі «озеленення» виробництва та споживання енергії. Відтак посилено вимоги до дотримання екологічних стандартів і контролю за викидами парникових газів – головного чинника, що зумовлює прискорення парникового ефекту й, відповідно, глобальне потепління.

В енергетичному секторі основним джерелом викидів парникових газів є викопне паливо та інші невідновлювані джерела енергії. Така енергія умовно вважається «брудною», на відміну від «чистої», яку генерують переважно з відновлюваних джерел.

Серед держав, що демонструють лідерські позиції у впровадженні відновлюваної енергетики, країни Європейського Союзу (ЄС) стали піонерами в переході до «чистої» енергії, накопичивши значний досвід і досягнення в цій сфері. Від моменту ратифікації

Паризької кліматичної угоди [1] у 2016 році Україна також узяла курс на введення інновацій та адаптацію найкращих міжнародних практик в усіх ключових секторах економіки. Це і поліпшення технологій сталого розвитку, декарбонізація економіки, використання екологічної політики, що охоплює енергетичний перехід до відновлюваних джерел енергії та ефективне управління викидами парникових газів.

Варто зазначити, що 30 липня 2021 року уряд України затвердив нову кліматичну ціль, яка передбачає до 2030 року скорочення викидів парникових газів до рівня 35%, порівняно з 1990 роком [2]. Попри виклики, зумовлені запровадженням воєнного стану, Україна підтвердила узяті на себе міжнародні зобов'язання у сфері декарбонізації економіки та скорочення викидів парникових газів.

Це відобразилося в приєднанні України до Кліматичного клубу, а також укладанні низки міжнародних угод у межах Кліматичних конференцій ООН – COP28 у Дубаї (30 листопада – 13 грудня 2023 року) [3] та COP29 у Баку (11–22 листопада 2024 року) [4]. Ці угоди передбачають поступову відмову від викопного палива, розвиток зеленої енергетики та зменшення викидів парникових газів.

Отже, для України надзвичайно актуальним є нарощення частки відновлюваних джерел енергії в енергетичному балансі держави та зменшення обсягів викидів парникових газів для виконання міжнародних зобов'язань і досягнення цілей сталого розвитку.

Це дослідження присвячене аналізу впливу зростання частки відновлюваних джерел енергії на скорочення викидів парникових газів в Україні. Окреслення такого взаємозв'язку супроводжується низкою труднощів, зумовлених різноманітністю типів відновлюваних джерел енергії, відмінностями в їхній енергоємності, а також появою нових факторів, що спричиняють викиди парникових газів. Зокрема, ідеться про викиди, пов'язані з бойовими діями, які стають додатковим джерелом екологічного навантаження.

До того ж складність полягає у відсутності актуальної статистики щодо моніторингу викидів парникових газів протягом певного періоду, оскільки обов'язкову звітність за цими даними було відновлено лише у 2025 році [5]. Відповідно до встановлених вимог, інформація має бути подана до 31 березня 2025 року, що наразі унеможлиблює її повноцінне використання в дослідженнях на момент проведення цього аналізу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема скорочення викидів парникових газів є однією з найбільш актуальних для наукової спільноти, привертаючи увагу як українських, так і зарубіжних дослідників. Особливого значення вона набуває в контексті необхідності переходу до низьковуглецевої моделі розвитку економіки та виконання зобов'язань України відповідно до Паризької угоди.

Суттєвий внесок у вивчення прогнозів викидів парникових газів в Україні зроблено в рамках проєкту Програми розвитку Організації Об'єднаних Націй (UNDP) «Розбудова спроможності для низьковуглецевого зростання в Україні». Зокрема, у звіті компанії Thomson Reuters Point Carbon [7] наведено сценарії викидів для кожного сектору економіки України на період до 2050 року. Автори пропонують три сценарії розвитку: базовий, плановий та низьковуглецевий. Результати дослідження акцентують увагу на доцільності виконання політик і заходів, які узгоджуються із завданнями енергетичної стратегії України.

Інститут економіки та прогнозування НАН України у 2020 році підготував звіт у рамках проєкту Європейського банку реконструкції і розвитку, спрямований на підтримку уряду України в процесі оновлення національно визначеного внеску до Паризької угоди [6]. У звіті представлено результати моделювання траєкторій викидів до 2050 року з урахуванням різних сценаріїв економічного росту та політичних рішень. Дослідження показало, що перехід до низьковуглецевої моделі розвитку є досяжним за умови реалізації відповідних політик і заходів.

Інноваційний підхід до прогнозування виробництва сонячної енергії запропоновано в роботі Р. Рички [8]. Автор обґрунтував доцільність використання технологій штучного інтелекту для підвищення точності прогнозів генерації сонячної енергії. Результати цього дослідження мають значний потенціал для підвищення ефективності відновлюваних джерел енергії та оптимізації роботи енергетичних систем.

Проблематика переходу до низьковуглецевої економіки розкрита в праці Л. І. Симоненка та О. В. Симоненка [9], у якій проаналізовано вплив структури первинного постачання енергії на енергетичну ефективність і вуглецеємність валового внутрішнього продукту (ВВП). Автори дослідили взаємозв'язок між структурою енергетичних ресурсів і можливостями зниження рівня викидів для сталого економічного розвитку.

Актуальність проблеми впливу війни на довкілля України висвітлено у звіті Л. де Клерка та співавторів (М. Шлапак, А. Шмурак, О. Гасанзаде, О. Михайленко, А. Корсиус, Є. Засядко, А. Андрусевич, І. Городуйський) [10]. Автори наголошують, що зростання рівня викидів парникових газів – це наслідок військових дій, що значно погіршило екологічну ситуацію в Україні та підвищило потребу у впровадженні ефективних заходів для мінімізації шкоди довкіллю.

У дослідженні, яке провела організація «Екодія» [11], визначено основні джерела викидів парникових газів в Україні. Виявлено, що найбільша частка викидів припадає на енергетичний сектор та транспорт, які сумарно відповідають за 61% загальних обсягів викидів. При цьому частка відновлюваних джерел

енергії на 2021 рік становила лише 8%. У 2023 році спостерігалось значне зниження потужностей відновлюваної енергетики: з експлуатації було виведено до 90% вітрових і близько 40–50% сонячних електростанцій.

О. Науменко [12] аналізує виклики, з якими стикаються власники сонячних електростанцій під час блекаутів, а також окреслює перспективи їх подальшого застосування для зменшення енергетичної залежності країни.

Проблематика розвитку зеленої енергетики у 2023 році висвітлена в праці В. Мильцевої [13]. Авторка зазначає, що Україна перебуває на етапі перезавантаження ринку відновлюваної енергетики, запроваджуючи нові інструменти регулювання, такі як механізм ринкової премії, самовиробництво, модернізація аукціонної підтримки та гарантії походження енергії.

В аналітичному огляді [14] проаналізовано передумови підготовки оновленого національно визначеного внеску України до Паризької угоди від 2021 року. У роботі акцентовано увагу на секторальних цілях скорочення викидів парникових газів та зобов'язаннях держави щодо їхнього досягнення.

К. В. Гнедіна і А. В. Сорока [15] дослідили сучасні виклики та перспективи декарбонізації економіки України як важливого чинника формування кліматично нейтрального майбутнього. У статті розглянуто основні загрози, з якими стикається держава під час реалізації проєктів декарбонізації, а також стратегічні напрями подолання цих труднощів.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Незважаючи на суттєвий науковий прогрес у вивченні декарбонізації та розвитку відновлюваної енергетики, низка аспектів залишається невирішеною. Зокрема, недостатньо охарактеризовано адаптацію енергетичного сектору до умов війни та його відновлення після збройного конфлікту. Також актуальними є дослідження щодо впровадження інноваційних підходів до декарбонізації, які б враховували специфіку українського контексту. Вказана наукова стаття має на меті заповнити ці прогалини через комплексний аналіз впливу військових дій на обсяги викидів парникових газів в Україні та оцінку ефективності інноваційних технологій під час відновлення енергетичного сектору.

Мета статті полягає в аналізі актуальних проблем, що виникають у сфері енергетики України, зокрема тих, які пов'язані з розвитком відновлюваних джерел енергії, та викликів, зумовлених зростанням викидів парникових газів.

Завдання статті:

1. Визначити основні тенденції розвитку енергетичного сектору України в сучасних умовах.

2. Дослідити зміни в засобах отримання енергії, які спричинені блекаутами та іншими наслідками воєнних дій.

3. Виявити основні чинники в енергетичній сфері України, що сприяють скороченню обсягів викидів парникових газів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для України було зроблено досить багато прогнозів її розвитку в напрямі декарбонізації економіки та екологічної політики. Наприклад, у звіті [6] наведено їх результати для різних секторів (енергетика, промислові процеси, відходи, сільське господарство, землекористування та лісове господарство) на підставі кількох моделей та сценаріїв. Серед них є прогнози до 2050 року на розвиток відновлюваних ресурсів (для кожного типу ресурсів окремо) та викидів парникових газів. Але, на жаль, ця робота була виконана до 2022 року і тому не враховує наслідки бойових дій. Відзначимо також, що передбачення щодо викидів парникових газів та виробництва електричної енергії за видами технологій змінюються залежно від року, коли було здійснено розрахунки. Так, для прогнозів до 2050 року, які виконано у 2013 в роботі [7], обсяги виробництва для ГЕС та ТЕС (на природному газі) передбачено на рівні, що відповідає енергетичній стратегії України (ЕСУ) та її песимістичному, базовому й оптимістичному сценаріям. До того ж для відновлювальної енергетики під час побудови оптимістичного прогнозу були використані припущення, розраховані за допомогою спеціальних інструментів [7]. У роботі [6], яку реалізовано у 2020 році, передбачення вже мають певні відмінності, пов'язані як із розвитком технологій [8], так і з деякими змінами в ЕСУ [2-4]. Результати, наведені в роботах [6-7], представлено в табл. 1.

У дослідженні Л. І. Симоненка та О. В. Симоненка [9] акцентовано увагу на тому, що енергетичний перехід в Україні здійснюється в умовах значних руйнувань, спричинених бойовими діями, які торкнулися як генерувальних потужностей, так і об'єктів інфраструктури.

У роботі Л. де Клерка [10] подано відомості щодо завданої шкоди українській енергетичній інфраструктурі внаслідок руйнувань, а також розглянуто додаткові джерела викидів парникових газів, зумовлених війною. Так, знищення великих енергогенерувальних об'єктів, зокрема теплоелектростанцій (ТЕС) та гідроелектростанцій (ГЕС), призвело до втрати понад 85% теплової генерації.

Згідно зі звітом «Екодії» [11], у 2022 році генерувальні потужності України скоротилися на 61,4% – від 36 ГВт до 13,9 ГВт. Таке зниження стало наслідком значних втрат через російський енергетичний терор. Також зазначено, що близько 10 ГВт встановленої потужності залишаються на тимчасово окупованих територіях, включаючи Запорізьку атомну електростанцію з потужністю 6 ГВт.

Попри поступове відновлення енергетичної структури, загроза нових пошкоджень є високою. Окремо варто відзначити, що блекаути [12] спричиняють додаткові екологічні проблеми через вико-

Таблиця 1

**Прогнози обсягів виробництва електроенергії за даними робіт [6-7],
включаючи відновлювані джерела енергії, ГВт*год.**

	2013	2015	2020	2025	2030	2040	2050
Виробництво, усього	194	198	213	232	255	305	343
Відновлювані джерела енергії, усього [7]	1	2	4	9	13	21	31
	1	2	4	9	13	21	31
	1	4	11	20	31	56	70
Відновлювані джерела енергії, усього [6]*	11,64	11,88	23,43	30,16	43,35	67,1	82,32
	11,64	11,88	29,82	48,72	76,5	143,35	154,35
	3,88	3,96	36,21	69,6	96,9	155,55	188,65
Вітрогенерація [7]	1	1	2	5	7	13	19
	1	1	2	5	7	13	19
	1	2	6	11	18	30	43
Вітрогенерація [6]	-	-	1,65	-	8	-	24
Сонячна генерація [7]	0	1	1	2	2	4	6
	0	1	1	2	2	4	6
	0	1	3	4	6	10	14
Сонячна генерація [6]	-	-	-	-	30	-	48
Малі ГЕС [7]	0	0	0	1	1	1	1
	0	0	0	1	1	1	1
	0	0	1	1	2	2	3
Інші ВДЕ [7]	0	0	0	1	2	3	5
	0	0	0	1	2	3	5
	0	0	1	3	5	8	10

*прогнозні дані за трьома сценаріями наведено у відсотках від загального обсягу та перераховано авторами

ристання генераторів, що працюють на бензині, дизельному пальному або мазуті. Це, зі свого боку, спричиняє зростання викидів парникових газів у періоди вимушених вимкнень електроенергії.

Також є проблема роботи сонячних електростанцій із мережевими інверторами, які залежать від централізованої електромережі. Для їх стабільного функціонування під час вимкнень світла слід переходити на гібридні перетворювачі [12].

Україна вимушено відмовляється від великих об'єктів, пов'язаних з отриманням електроенергії, переходячи на менші та розподілені джерела, які більш захищені від знищення. Тобто відбувається децентралізація генерації електроенергії по всій території України для поліпшення надійності та стійкості енергозабезпечення [13-15]. Водночас таке розподілення зменшує екологічне навантаження завдяки скороченню викидів парникових газів [15].

Отже, можна сказати, що в Україні здійснюється вимушений відбір найбільш придатних для використання у стресових умовах технологій.

Зауважимо, що згідно з даними звіту [14], від 2020 до 2030 року заплановано збільшити виробництво енергії сонця та вітру майже утричі, що наочно представлено на рис. 1.

Згідно з аналітичним оглядом оновленого національно визначеного внеску України до Паризької угоди [14], передбачено, що частка викидів парникових газів від виробництва енергії та тепла від 2020 до 2030 року зменшиться до 21%. Такий прогноз є важливим етапом у контексті зобов'язань України щодо зниження викидів і поступового переходу до кліматично нейтральної економіки відповідно до міжнародних домовленостей.

У науковій праці О. М. Кушніренко та Н. Г. Гахович [16] розглянуто механізм торгівлі викидами як ефективний інструмент для зменшення обсягів парникових газів. Досвід країн ЄС підтверджує доцільність його використання: протягом 16 років такої реалізації обсяги викидів, пов'язаних із виробництвом електроенергії та енергоємними виробництвами, скоротилися майже на 43%. Застосування таких практик в Україні може значною мірою сприяти досягненню цілей у сфері зменшення викидів.

Отже, для ефективного зниження екологічного навантаження, зокрема парникових викидів, енергетичний сектор України має трансформуватися в напрямі децентралізації та широкого впровадження відновлюваних джерел енергії. Водночас український досвід підтверджує доцільність використання

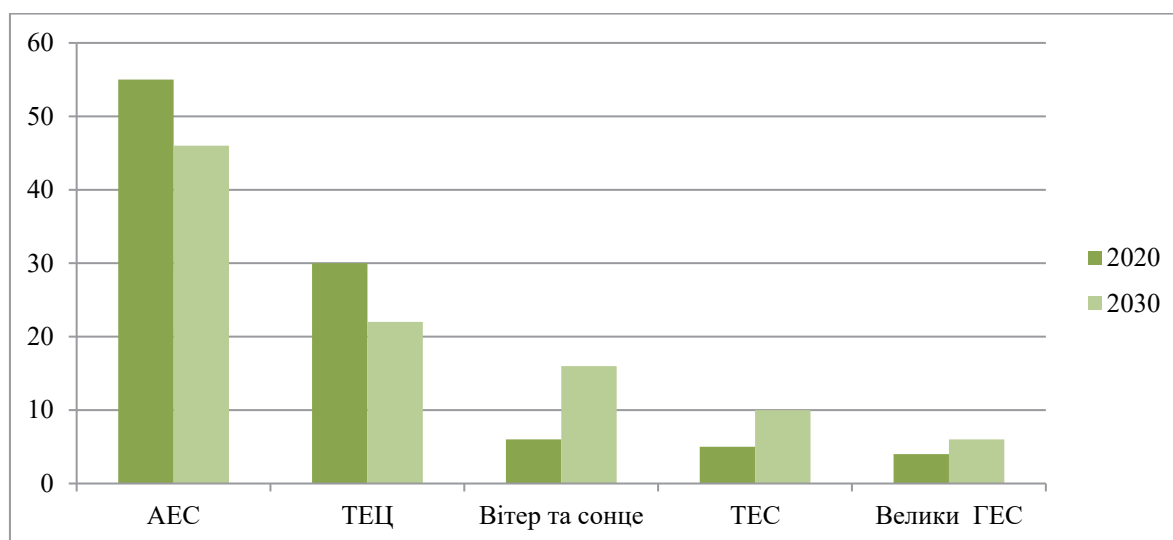


Рис. 1. Розподіл структури виробництва електроенергії: прогнольні значення

Джерело: за даними звіту [14]

гібридних технологій, які демонструють підвищену стійкість до зовнішніх дестабілізаційних факторів. Повна відмова від невідновлюваних джерел енергії не є оптимальним рішенням у сучасних умовах. Для забезпечення сталого розвитку ключовими завданнями є підвищити енергоефективність на всіх етапах – від виробництва до кінцевого споживання, сформувати екологічну свідомість населення та стимулювати розвиток інноваційних технологій у сфері енергетики.

Висновки. Під час дослідження встановлено низку ключових результатів. Основними тенденціями в енергетичному секторі України на сучасному етапі є відмова від будівництва великих енергогенерувальних об'єктів, що супроводжується процесом децентралізації виробництва електроенергії на всій території країни. Цей підхід спрямований на підвищення надійності та стійкості енергозабезпечення. Також відзначається перехід на автономні джерела електроенергії, зокрема через впровадження дахових сонячних панелей та інших альтернативних рішень, які забезпечують енергетичну незалежність споживачів.

Додаткові зміни в способах виробництва електроенергії, спричинені блекаутами та іншими наслідками війни, призвели до значного використання генераторів, які працюють на нафтопродуктах, таких як бензин, дизельне паливо та мазут. Водночас спо-

стерігається збільшення попиту на гібридні сонячні електростанції, що дозволяє забезпечити більш стабільне енергопостачання за несприятливих умов.

Визначено основні фактори в енергетиці України, які сприяють скороченню викидів парникових газів. Серед них варто виділити попит на автономне енергозабезпечення на основі відновлюваних джерел енергії, зокрема вітрових і сонячних електростанцій. До того ж позитивний вплив має поступове виведення з експлуатації великих об'єктів, які виробляли так звану «брудну» енергію, використовуючи викопні ресурси.

Загалом застосування відновлюваних джерел енергії безумовно сприяє скороченню викидів парникових газів, зокрема й в Україні. Проте досягнення цілей сталого розвитку та протидії кліматичним змінам потребує додаткових зусиль: розвитку культури раціонального енергоспоживання, пошуку інноваційних рішень та впровадження технологій, які підвищують енергоефективність на всіх етапах – від отримання до зберігання і використання енергії.

Перспективи застосування результатів дослідження полягають у визначенні найбільш ефективних технологій для енергетичного сектору в умовах кризових явищ, а також у розробленні заходів, спрямованих на підвищення енергетичної стійкості, гарантування енергетичної незалежності та зміцнення екологічної безпеки держави.

Література

1. Про ратифікацію Паризької угоди: Закон України від 14.07.2016 № 1469-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1469-19#Text> (дата звернення: 25.02.2025).
2. Уряд схвалив цілі кліматичної політики України до 2030 року. *Урядовий портал*. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/uryad-shvaliv-cili-klimatichnoyi-politiki-ukrayini-do-2030-roku> (дата звернення: 25.02.2025).
3. Огляд COP28. *Українська кліматична мережа*. 2023. URL: <https://ucn.org.ua/?p=9334> (дата звернення: 25.02.2025).

4. Долінчук С. Результати COP29 для України: наскільки успішною видалася конференція. *Українська Енергетика*. 2024. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/rezultaty-sor29-dlia-ukrainy-naskilky-uspishnoi-vydalasia-konferentsiia> (дата звернення: 25.02.2025).
5. Про внесення змін до деяких законів України щодо відновлення моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів: Закон України від 08.01.2025 № 4187-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4187-20#Text> (дата звернення: 25.02.2025).
6. Support to the government of Ukraine on updating its nationally determined contribution (NDC). Simulation report 3. The Institute for Economics and Forecasting, NASU. 2020. 138 p. URL: <https://surl.li/jaxdqd> (date of access: 25.02.2025).
7. Прогнози викидів ПГ в Україні: шляхи до 2050 року: звіт. Thomson Reuters Point Carbon, 2013. 32 с. URL: https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/ua/UKR_UNDP-CO2-Forecast-vFinal.pdf (дата звернення: 25.02.2025).
8. Rychka, R. Artificial Intelligence to Predict Solar Energy Production: Risks and Economic Efficiency. *Futurity Economics & Law*. 2024. Vol. 4(2). P. 100-111. URL: <https://doi.org/10.57125/FEL.2024.06.25.06> (date of access: 24.02.2025).
9. Симоненко Л. І., Симоненко О. В. Вплив структури первинного постачання енергії на можливості переходу до низьковуглецевої моделі розвитку економіки. *Інвестиції: практика та досвід*. 2023. № 6. С. 108-115.
10. Climate damage caused by russian war in Ukraine in 24 months. *Ecoaction*. URL: <https://en.ecoaction.org.ua/climate-damage-by-russia-24-months.html> (date of access: 25.02.2025).
11. Декарбонізація секторів економіки України. *Екодія*. URL: <https://ecoaction.org.ua/dekarbonizatsia-ekonomiky-ua.html> (дата звернення: 25.02.2025).
12. Науменко О. Перехід на сонячну енергію: як сонячні електростанції знижують енергозалежність у блекаут – Генерація. *Генерація*. URL: <https://generacia.energy/zelenyj-tarif/perehid-na-sonjachnu-energiyu-jak-sonjachni-elektrostantsii-znizhujut-energozalezhnist-u-blekaut/> (дата звернення: 25.02.2025).
13. Мильцева В. Основні тренди зеленої енергетики 2023 року: фокус ЄС та виклики для України. *Juscutum: Технології та інвестиції*. 2023. URL: <https://www.juscutum.com/news/osnovni-trendi-zelenoyi-energetiki-2023-roku-fokus-ies-ta-vikliki-dlya-ukrayini> (дата звернення: 07.02.2025).
14. Аналітичний огляд оновленого національно визначеного внеску України до Паризької угоди від 30 липня 2021. 60 с. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/07/Analitichnyj-oglyad-NVV-lypen-2021.pdf> (дата звернення: 08.02.2025).
15. Гнедіна К. В., Сорока А. В. Декарбонізація економіки як чинник забезпечення кліматично нейтрального майбутнього: сучасні виклики і перспективи в Україні та світі. *Економіка та суспільство*. 2023. Вип. 54. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/2804/2723> (дата звернення: 25.02.2025).
16. Кушніренко О. М., Гахович Н. Г. Європейський зелений курс в Україні: можливості та наслідки для промисловості. *Український соціум*. 2021. № 4(79). С. 46-63.

УДК 691.5

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.2-59.5>

ДОСЛІДЖЕННЯ ВУГІЛЬНОГО ПАЛИВА ПІДПРИЄМСТВА БУРШТИНСЬКА ТЕС ПАТ «ДТЕК ЗАХІДЕНЕРГО» ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ДОВКІЛЛЯ

Чичул Х.-М.М.¹, Семчук Я.М.², Лялюк-Вітер Г.Д.², Кривенко Г.М.²¹ТОВ «Новас»

вул. Івасюка, 23, м. Івано-Франківськ

²Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ

Crischychul27@yahoo.com, bzd@nung.edu.ua

Стаття присвячена аналізу вугільного палива підприємства Бурштинська ТЕС ПАТ «ДТЕК Західенерго» та його впливу на довкілля при спалюванні. Бурштинська ТЕС ПАТ «ДТЕК Західенерго» для виробництва електричної енергії використовує переважно кам'яне вугілля, яке при спалюванні впливає на всі компоненти довкілля. Найбільшого впливу зазнає атмосферне повітря.

Проаналізовано наукові праці українських та закордонних вчених, в яких висвітлюються питання пов'язані з впливом теплових електростанцій на довкілля. Зокрема і праці, які безпосередньо присвячені вивченню впливу на навколишнє середовище підприємства Бурштинська ТЕС ПАТ «ДТЕК Західенерго».

У статті подаються результати дослідження проб вугілля відібраних на підприємстві Бурштинська ТЕС ПАТ «ДТЕК Західенерго». Лабораторні дослідження проводилися за методикою Rock-Eval. Методика Rock-Eval визначення вмісту сухого залишку від спалення полягає в спалюванні зразків вугілля при встановлених умовах і зважуванні залишку спалювання. Одним з найвагоміших техніко-хімічних параметрів вугілля є вміст сухого залишку від спалювання. Процес спалювання обумовлений температурою, відношенням кількості повітря до кількості палива та конструкцією котла. Склад викидів в атмосферу залежить від виду палива, що застосовується та від параметрів процесу спалювання.

Результати дослідження показали, що вугілля, яке використовує підприємство Бурштинська ТЕС ПАТ «ДТЕК Західенерго», як основну сировину, характеризується змінним вмістом сухого залишку спалювання, що є причиною безперервного нагромадження твердих відходів на відвалах та викидів дрібнодисперсного пилу в атмосферу. Отримані дані свідчать про те, що вугілля має відносно високий вміст сірки. Встановлено, що в результаті спалювання такого палива більшість сірки емітується до атмосфери у вигляді SO₂, що негативно впливає на стан атмосферного повітря.

У висновках акцентується увага на важливості отриманих результатів лабораторних досліджень та необхідності проведення ґрунтовніших досліджень, які тимчасово призупинилися через російську агресію. *Ключові слова:* теплова електростанція, довкілля, вугілля, сухий залишок, шлак, виробництво електроенергії.

Research of coal fuel used by Burshtyn Thermal Power Plant of PJSC “DTEK Zakhidenergo” and its impact on the environment. Chychul K.-M., Semchuk Ya., Lialiuk-Viter H., Kryvenko G.

This article is dedicated to the analysis of coal fuel used by Burshtyn Thermal Power Plant of PJSC “DTEK Zakhidenergo” and its environmental impact during combustion. Burshtyn TPP primarily uses bituminous coal for electricity generation, which affects all environmental components during combustion, with the most significant impact on atmospheric air quality.

The study includes a review of scientific literature by Ukrainian and international researchers focusing on the environmental effect on thermal power plants. It also analyzes studies specifically related to the environmental influence of Burshtyn TPP.

The article presents the results of coal sample testing conducted at the Burshtyn TPP site. Laboratory analysis was carried out using the Rock-Eval method. This technique evaluates the combustion residue content by burning coal samples under specified conditions and weighing the combustion residue. One of the most critical thermochemical characteristics of coal is its ash content after combustion. The burning process is influenced by temperature, the air-to-fuel ratio, and boiler design. Emission composition depends on the type of fuel used and combustion parameters.

The study results indicate that the coal used at Burshtyn TPP shows variable ash content, which contributes to the continuous accumulation of solid waste in ash dumps and the emission of fine particulate matter into the atmosphere. The obtained data also reveal a relatively high sulfur content in the coal. It was determined that a significant portion of this sulfur is released into the atmosphere as sulfur dioxide (SO₂) during combustion, negatively impacting air quality.

The conclusion emphasizes the importance of the laboratory findings and highlights the need for more comprehensive research, which has been temporarily suspended due to the Russian aggression. *Key words:* thermal power plant, environment, coal, ash content, slag, electricity generation, pollution emissions, Burshtyn Thermal Power Plant, PJSC “DTEK Zakhidenergo”, impact assessment.

Постановка проблеми. Російсько-українська війна оголила та підсилила проблему енергетичної безпеки України. Росія цілеспрямовано знищує об'єкти електроенергетики України, що створює нові проблеми енергетичного, безпекового та

екологічного характеру. Проблеми забруднення навколишнього природного середовища при продукуванні електричної енергії тепловими електростанціями (ТЕС) і надалі залишаються актуальними. Забруднення довкілля в Україні підсилюється атаками

на об'єкти електроенергетики, зокрема і на підприємство Бурштинська ТЕС ПАТ «ДТЕК Західенерго». Забезпечення екологічної безпеки регіону в межах розташування підприємства Бурштинська ТЕС ПАТ «ДТЕК Західенерго» є важливим завданням.

Актуальність дослідження. Дослідження впливу діяльності на довкілля підприємств теплової електроенергетики і надалі залишається актуальним. Основними виробниками електричної енергії є традиційні електростанції (60%), зокрема теплові електростанції [1-7].

Бурштинська ТЕС ПАТ «ДТЕК Західенерго» для продукції електричної енергії використовує тверде, рідке і газове паливо. На довкілля дана ТЕС, як і всі електростанції такого типу, впливає через викиди димових газів та пилу. Склад викидів залежить від виду палива, що застосовується, а також від параметрів процесу спалювання. Основною сировиною для отримання теплової енергетики Бурштинська ТЕС ПАТ «ДТЕК Західенерго» використовує вугілля, яке є «найбруднішим» з усіх джерел енергії, шляхом спалювання. Процес спалювання обумовлений температурою, відношенням кількості повітря до кількості палива та конструкцією котла. До складу викидів ТЕС входять 6 груп речовин: пил (різного класу дисперсії), діоксиди вуглецю (CO_2), оксиди вуглецю (CO), сірчистий газ (сірчистий ангідрид (SO_2)), три види оксидів азоту (NO_x) і органічні сполуки [1-7].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження спрямоване на вирішення важливої проблеми, що стосується забруднення довкілля підприємством Бурштинська ТЕС ПАТ «ДТЕК Західенерго».

За категорією екологічної безпеки (КЕБ), згідно з С.О. Апостолук та ін. [8], Бурштинська ТЕС належить до підприємств другої категорії небезпеки з нормативною шириною санітарно-захисної зони (СЗЗ) 500 м [7-9].

Наукове значення даного дослідження полягає у комплексному підході до вирішення проблеми забруднення довкілля шляхом дослідження вугільного палива та твердих залишків від його спалювання.

Результати дослідження можна використати для наукових досліджень та з практичною метою для удосконалення системи моніторингу, модернізації, оновленні обладнання, устаткування тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням впливу на навколишнє середовище ТЕС присвятило чимало науковців своїх праць, зокрема: Адаменко О.М., Крижанівський Є., Кошлак Г., Панківський Ю., Ошуркевич-Панківська О., Осташок М. [1-9] та ін, а також закордонні вчені, Michalak J., Lorenz U., Gajda A., Behar F., Beaumont V., Penteado H.L. De B., De Souza G.F.M. (ed.) та ін [10-14]. Численні наукові публікації, які

присвячені дослідженням ТЕС, свідчать про важливість та актуальність таких наукових досліджень.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. У статті пропонується використання іншої методики для аналізу вугільних проб та проб твердого залишку, що дозволить міжнародне, міжлабораторне порівняння результатів досліджень виконаних методиками Rock-Eval. І це сприятиме вирішенню суперечливих питань.

Новизна полягає в комплексному аналізі вугільного палива та його ролі в забрудненні довкілля.

Методологічне або загальнонаукове значення. Для лабораторних досліджень вугільного палива використовували методику за допомогою Rock-Eval [10, 11]. Методика визначення вмісту сухого залишку від спалення описана в документі PN-80/G-04512 [2, 12, 15], в якому детально описується застосування гравіметричного методу з застосуванням швидкого або повільного способу спалювання. В обох випадках методика полягає в повному спалюванні зразків вугілля за встановлених умов і зважуванні залишку спалювання (шлаку). Шлак – це твердий і сталий залишок після спалювання у визначених умовах, вміст шлаку – відношення сталого сухого залишку після спалювання до маси досліджуваного зразку вугілля, виражене у відсотках.

Методика дослідження базується на піролізі проб керну в середовищі інертного газу запропонована спеціалістами Французького Інституту Нафти (IFP) під керівництвом J. Espitalié [11]. Вона є інтегральною частиною більшості геохімічних досліджень.

Піроліз – процес деградації, який відбувається під впливом високої температури і в анаеробних умовах та за відсутності будь-яких сторонніх, навмисне поданих реагентів [11].

Сучасний прилад призначений для реалізації методики називається Rock-Eval 6 [10,11]. Прилад Rock-Eval 6 цілком автоматизований аналізатор, що складається з двох мікрореакторів, які можуть нагріватися в інтервалі температур від 100°C до 850°C. В першому мікрореакторі відбувається процес піролізу, а в другому спалювання.

Методика “Turbo Rock-Eval 6 Complete analysis – Parallel process” базується на запрограмованому розігріванні в умовах піролітичного мікрореактора змеленої проби гірської породи в потоці гелію або нітрогену та селективному аналізі.

Для визначення відсоткової кількості сірки емітованої до атмосфери під час роботи Бурштинської ТЕС ПАТ «ДТЕК Західенерго», а також визначення кількості сірки в золі та шлаках, проби вугілля та відходів відібрані на досліджуваному підприємстві були проаналізовані апаратом EA-1108 CHNS-O Elemental Analyzer [2, 16] з застосуванням сульфаніламиду як стандарту.

Виклад основного матеріалу. Для лабораторних досліджень було відібрано проби вугілля та шлаку

Таблиця 1

Опис відібраних проб

N	Проба	Матеріал	Вага проби, (г)	Місце відбору проби
1	DTEK 1	Кам'яне вугілля	1000	Склад вугілля
2	DTEK 2	Тверді відходи	500	Відвал
3	DTEK 3	Тверді відходи	500	Відвал
4	DTEK 4	Кам'яне вугілля	1000	Склад вугілля
5	DTEK 5	Кам'яне вугілля	1000	Склад вугілля

Таблиця 2

Інтерпретація результатів гравіметричного аналіз вмісту сухого залишку спалювання

DTEK 1		DTEK 4			DTEK 5		
Експеримент 1	Експеримент 2	Експеримент 1	Експеримент 2	Експеримент 3	Експеримент 1	Експеримент 2	Експеримент 3
m_n - мг	m'_m - мг	m_n - г	m'_n - г	m''_n - г	m_n - г	m'_n - г	m''_n - г
m_1 -16159,2 m_2 - 17223,5 m_3 -167374,6	m_1 -15776,3 m_2 - 16854,5 m_3 - 15995,2	m_1 -15,82939 m_2 - 16,76705 m_3 - 15,87352	m_1 -15,93136 m_2 - 16,99521 m_3 - 15,98149	m_1 -14,98983 m_2 - 15,88760 m_3 - 15,03219	m_1 -15,54569 m_2 - 16,57843 m_3 - 15,64814	m_1 -16,16110 m_2 - 17,12087 m_3 - 16,25391	m_1 -17,0959 m_2 -18,05517 m_3 - 17,19023
А %							
20,2 %	20,3 %	4,70 %	4,71 %	4,71 %	9,67 %	9,92 %	9,83 %
20,3 %		4,7 %			9,8 %		
Середній вміст сухого залишку спалювання в досліджуваних пробах вугілля – 11,6 %							

на підприємстві Бурштинська ТЕС ПАТ «ДТЕК Західенерго» (табл. 1). Їх належно підготували до лабораторних досліджень.

Проби вугілля та шлаку до лабораторних досліджень виконували в певній послідовності від подрібнення до просіювання [2].

Вугілля є найважливішим енергетичним ресурсом для підприємства Бурштинська ТЕС ПАТ «ДТЕК Західенерго». Одним з найвагоміших техніко-хімічних параметрів вугілля, зокрема для електроенергетики, є вміст сухого залишку від спалювання [2].

Для визначення сухого залишку спалювання: на аналітичній вазі зважували посудину – керамічний тигель прямокутної форми (з точністю 0,0002 грами). Результат записували як m_1 для першого зразку і m'_1 для другого. До тигля наважували 1 грам вугілля. Масу тигля наповненого зразком вугілля записували як m_2 , m'_2 . Паливо рівномірно розподіляли по дні посудини легким постукуванням по стінках тигля.

Приготовані до дослідження тиглі з зразками вугілля ставили в лабораторну піч. Піч нагрівали до температури 800°C. Проби вугілля спалювали протягом 150 хвилин. Підставку з тиглями вийняли з лабораторної печі, охолодили проби до температури 20°C. Охолоджені тиглі наповнені вже сухим залишком від спалювання зважили на аналітичній вазі, результат записали як m_3 , m'_3 .

За формулою (1) визначили вміст шлаку в аналітичній пробі:

$$A = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot 100\% \quad (1)$$

A – вміст сухого залишку від спалювання (шлаку) в аналітичній пробі палива, [%];

m_1 – маса тигля з залишком після спалення, [мг];

m_2 – маса пустого тигля, [мг];

m_3 – маса тигля наповненого зразком вугілля, [мг].

За формулою 1 обчислювали зольність досліджуваних проб вугілля а розрізі 3-ох паралельних експериментів. Середнє арифметичне розрахунків прийняли за остаточний результат.

Результати аналізів проб вугілля на предмет вмісту сухого залишку від спалювання представлено в таблиці 2. Середній вміст сухого залишку в досліджуваних пробах вугілля становить 11,6% ваг. Зольність коливається в межах від 4,7% до 20,3% ваг.

Результати елементарного аналізу проб вугілля показали, що вугілля спалюване на підприємстві Бурштинська ТЕС ПАТ «ДТЕК Західенерго» характеризується відносно високим вмістом сірки (S) (табл. 3). Середнє значення вмісту сірки для першої проби 1,82%, для другої та третьої відповідно 1,70% та 2,18%. Середнє значення для трьох проб -1,9%. Вміст сірки у вугіллі сприяє високій концентрації диоксиду сірки у димових газах ТЕС.

Диоксид сірки є одним з найтоксичніших газів, який утворюється при спалюванні вугілля на ТЕС і складає понад 90% викидів сірчистих сполук з димовими газами. З киснем (O_2) з SO_2 переходить

Таблиця 3

Результати елементарного аналізу проб вугілля

Проба	Азот	Вуглець	Водень	Сірка
	% ваг.	% ваг.	% ваг.	% ваг.
ДТЕК-1 вугілля	1,38	63,7	4,36	1,89
ДТЕК-1 вугілля	1,33	63,6	4,59	1,75
ДТЕК-1 вугілля (середнє значення)	1,36	63,6	4,48	1,82
ДТЕК-4 вугілля	1,44	77,6	5,85	1,69
ДТЕК-4 вугілля	1,44	78,4	5,94	1,69
ДТЕК-4 вугілля (середнє значення)	1,44	78,0	5,90	1,70
ДТЕК-5 вугілля	1,54	71,8	5,25	2,26
ДТЕК-5 вугілля	1,51	71,5	5,27	2,09
ДТЕК-5 вугілля (середнє значення)	1,53	71,7	5,26	2,18

в SO_3 і при наявності води утворюється сірчана кислота [1, 4]. У вигляді кислотних дощів випадає на поверхню Землі, забруднюючи літосферу, гідросферу, біосферу. Негативний вплив на живі компоненти довкілля залежить від їх концентрації та чинників навколишнього середовища [1, 4].

Проби твердих залишків спалювання аналізувались на предмет елементарного складу з метою обрахунку різниці між вмістом сірки в спалюваному вугіллі та вмістом сірки у відходах від його спалювання.

Результати проб твердих відходів показують наявність 0,07% сірки (S). На підставі порівняння результатів лабораторних досліджень відібраних проб вугілля та відходів від його спалювання можемо стверджувати, що ця частина сірки (S) затримується в твердих відходах спалювання, решта емітує до атмосферного повітря.

Отже, тверді відходи є не менш шкідливими ніж вугілля. Дрібні фракції можуть приводити до підвищеної запиленості повітря. Адже вони легко переносяться повітрям навколо відвалів. Це сприяє додатковому забрудненню приземних шарів атмосферного повітря та забрудненню ґрунтів і ґрунтових вод.

Головні висновки. Таким чином, вугілля, що використовує Бурштинська ТЕС ПАТ «ДТЕК

Західенерго» характеризується змінним вмістом сухого залишку спалювання (неоднорідна зольність) від 5 до 20% (середній показник 11,6%), що є причиною безперервного нагромадження твердих відходів на відвалах та викидів дрібнодисперсного пилу до атмосферного повітря.

На підставі порівняння результатів лабораторних досліджень відібраних проб вугілля та твердих відходів від його спалювання можемо стверджувати, що деяка частина сірки (S) (0,07%) затримується в твердих відходах спалювання, решта міститься в викидах до атмосферного повітря.

На підставі елементарного аналізу та стехіометричних розрахунків можемо стверджувати, що вугілля, яке використовує Бурштинська ТЕС ПАТ «ДТЕК Західенерго» як основну сировину має відносно високий вміст сірки (близько 1,9% ваг.). Встановлено, що в результаті спалювання такого палива більшість сірки (S) емітується до атмосфери у вигляді SO_2 , оскільки в сухих відходах спалювання міститься тільки 0,07% ваг. даного елемента.

Перспективи використання результатів дослідження. Перспективи використання результатів дослідження вбачаємо у продовженні дослідження з метою впровадження новітніх екологічних технологій для зменшення негативного впливу на довкілля.

Література

1. Екологічна безпека територій: монографія. / Адаменко О.М. та ін.; за ред. О. М. Адаменка, Івано-Франківськ, 2014. 442 с.
2. Чичул Х.-М. М. Екологічна оцінка вугільного палива ДТЕК Бурштинської ТЕС та проєкт додаткових природоохоронних заходів. Магістерська робота, м. Івано-Франківськ, 2017. 147 с.
3. Оцінка антропогенного перетворення ландшафту в зоні впливу підприємства Бурштинська ТЕС ПАТ «ДТЕК Західенерго» / Х.-М. М Чичул та ін. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування: науково-технічний журнал ІФНТУНГ*. 2020. № 2 (22). С. 25-31.
4. Крижанівський С. І., Кошляк Г.В. Екологічні проблеми енергетики. *Нафтогазова енергетика*. 2016. № 1. С. 80-90.
5. Кошляк Г.В., Павленко А.М. Зменшення техногенного впливу вугільних ТЕС на довкілля (на прикладі Бурштинської ТЕС). *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування: науково-технічний журнал. ІФНТУНГ*. 2017. № 2 (16). С. 108-118.

6. Шувар І. А., Шувар А. І. Екологічні аспекти формування агроценозів у зоні впливу Бурштинської ТЕС. *VIII Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Спецпроект: аналіз наукових досліджень»* (30–31 травня 2013 р.). URL: https://confcontact.com/2013-specprojekt/eg2_shuvar.htm (дата звернення: 20.04.2025).
7. Оцінювання впливу Бурштинської ТЕС на атмосферне повітря. / Ю.І. Панківський та ін. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017. Вип. 27 (5). С. 59-62.
8. Промислова екологія: навч. посіб. / С.О. Апостолук та ін. Київ: Знання, 2012. 430 с.
9. Пендерецький О.В. Екологічна оцінка впливу на довкілля крупного енергетичного об'єкту (на прикладі Бурштинської ТЕС). *Вісник Харківського інституту соціального прогресу. Серія: екологія, техногенна безпека і соціальний прогрес*. 2004. Вип. 1 (6). С. 62-71.
10. Behar F., Beaumont V., Penteadó H.L., De B. Rock-Eval 6 Technology: Performances and Developments. *Oil & Gas Science and Technology. Rev. IFP*. 2001. № 56 (2), P. 111-134.
11. Espitalié J., Deroo G., Marquis F. La pyrolyse Rock-Eval et ses applications. *Rev. IFP*. 1985. P. 40-41, P.563–579 and P. 755–784.
12. Lorenz U., Skutki spalania węgla kamiennego dla środowiska przyrodniczego i możliwości ich ograniczania. *Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej. Sympozja i Konferencje*, 2002, nr 64, S. 97-112.
13. Kucowski J., Laudyn D., Przekwas M. Energetyka a ochrona środowiska. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1997. 481 s.
14. Czachor K., Chudy P., Poradnik metodyczny w zakresie PRTR dla instalacji spalania paliw. 2007. S. 1-130.
15. PN-80/G-04512 URL: <https://www.minproc.pwr.edu.pl/materialy/dydaktyka/mp/oznaczaniePopiolu.pdf> (дата звернення: 20.04.2025).
16. EA-1108 CHNS-O Consumables for Elemental Analyzer URL: http://s3.ceelantech.com/docs/Consumables_NA1500-EA1108.pdf (дата звернення: 20.04.2025).

УДК 556.535

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.2-59.6>

ПРОСТОРОВО-ЧАСОВІ УЗАГАЛЬНЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЯДІВ МІНІМАЛЬНОГО МЕЖЕННОГО СТОКУ РІЧОК ПІВДНЯ УКРАЇНИ

Блага А.О., Шакірманова Ж.Р.

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова

вул. Львівська, 15, 65016, Одеса

Blagaya2302@gmail.com, jannettodessa@gmail.com

В роботі проаналізовано мінімальний меженний стік річок Півдня України, що знаходиться в зоні недостатнього зволоження та обмежує використання водних ресурсів на сільськогосподарські потреби, на потреби різних галузей виробництва та водопостачання населенню в посушливі періоди року.

В роботі досліджено сучасні кліматичні зміни, які впливають на формування мінімального меженного стоку, а саме зміни в температурному режимі та опадах у період стандартної кліматичної норми (1961-1990 рр.) та в сучасний кліматичний період (1991-2020 рр.).

В результаті дослідження отримано, що у сучасний період спостерігається підвищення температури – на сході території в середньому на 1,5-1,6 °С, в західній частині та в південних областях – на 0,9-1,1 °С, найбільші зміни мають місце в літні та зимові місяці. Сума опадів за рік у двох кліматичних періодах в південних і західних областях зменшилась на 28-41 мм, при цьому на сході розглядуваної території вона збільшилась (на 25-32 мм).

Метою роботи є просторово-часові узагальнення статистичних характеристик рядів мінімального меженного стоку річок Півдня України у умовах зміни сучасного клімату. Для аналізу були проаналізовані сумарні, різницево-інтегральні та хронологічні криві мінімальних 30-ти добових витрат води з початку спостережень та до 2020 року на річках Півдня України.

Сумарні криві мінімальних середніх 30-ти добових витрат води за літньо-осінню та зимову межень річок Півдня України вказують на неоднорідність рядів спостережень, що пов'язані як зі змінами кліматичних чинників умов формування стоку протягом багаторічного періоду, так й антропогенних факторів.

Різницево-інтегральні та хронологічні криві мінімального меженного стоку річок Півдня України свідчать про наявність циклів коливань водності та синхронності мінімального стоку річок. Починаючи з середини 70-х років минулого століття відбувся перехід від фази зниження до фази підвищення циклічних коливань мінімальних витрат води періоду літньо-осінньої межні, а з 2007-2008 років в басейні р. Південний Буг і з 2012-2016 років річок басейну Причорномор'я і Нижнього Дніпра знов настає маловодна фаза, яка триває до 2020 року. Для зимового періоду межні маловодну фазу річок Півдня України, що тривала до 1980-х років змінила багатоводна, а з 2016-2018 років мінімальні витрати води знов почали зменшуватися до 2020 року. *Ключові слова:* меженний стік, зміна клімату, статистичні характеристики, часові ряди.

Spatial-temporary generalizations of statistical characteristics of minimum low flow series of rivers of Southern Ukraine.
Blaha A., Shakirmanova Zh.

The work analyzes the minimum low-flow runoff of rivers in Southern Ukraine, which is located in a zone of insufficient moisture and limits the use of water resources for agricultural needs, the needs of various industries and water supply to the population during dry periods of the year.

The work examines modern climate changes that affect the formation of minimum low-flow runoff, namely changes in temperature and precipitation during the period of the standard climatic norm (1961-1990) and in the modern climatic period (1991-2020).

As a result of the research, it was found that in the modern period there is an increase in temperature – in the east of the territory by an average of 1.5-1.6 °C, in the western part and in the southern regions – by 0.9-1.1 °C, the greatest changes occur in the summer and winter months. The amount of precipitation per year in two climatic periods in the southern and western regions decreased by 28-41 mm, while in the east of the considered territory it increased (by 25-32 mm).

The aim of the work is to generalize the spatial-temporal statistical characteristics of the series of minimum low-flow rivers of Southern Ukraine in the conditions of modern climate change. For the analysis, the total, difference-integral and chronological curves of the minimum 30-day water flows from the beginning of observations and until 2020 on the rivers of Southern Ukraine were analyzed.

The total curves of the minimum average 30-day water flows for the summer-autumn and winter low-flow rivers of Southern Ukraine indicate the heterogeneity of the observation series, which is associated with both changes in climatic factors of the conditions for the formation of runoff over a multi-year period, and anthropogenic factors.

The differential-integral and chronological curves of the minimum low-water flow of the rivers of Southern Ukraine indicate the presence of cycles of fluctuations in water content and synchronicity of the minimum river flow. Starting from the mid-70s of the last century, there was a transition from a phase of decrease to a phase of increase in the cyclical fluctuations of the minimum water flows of the summer-autumn low-water period, and from 2007-2008 in the Southern Bug River basin and from 2012-2016 in the rivers

of the Black Sea and Lower Dnieper basins, a low-water phase has again occurred, which lasts until 2020. For the winter low-water period, the low-water phase of the rivers of Southern Ukraine, which lasted until the 1980s, was replaced by a high-water phase, and from 2016-2018, the minimum water flows began to decrease again until 2020. *Key words:* low flow, climate change, statistical characteristics, time series.

Постановка проблеми. Південь України знаходиться в зоні недостатнього зволоження, що обумовлює незначний постійний або періодичний стік річок в періоди літньо-осінньої та зимової межени. Мінімальний стік обмежує використання водних ресурсів на сільськогосподарські потреби, на потреби різних галузей виробництва та водопостачання населенню.

Для водозабезпечення зазначених галузей економіки необхідним є дослідження багаторічних часових рядів мінімального меженного стоку, їх статистичної обробки та просторово-часові узагальнення статистичних характеристик в умовах сучасної зміни клімату.

Актуальність дослідження. Дослідження гідрологічних характеристик річок є важливими у зв'язку з необхідністю аналізу сучасного стану водних ресурсів, оцінки зміни клімату та її впливу на водний режим, а також прогнозування можливих коливань водності. Значну увагу привертає меженний (мінімальний) стік, який є важливим показником водного режиму річки при плануванні водокористування у посушливі періоди року, особливо в умовах кліматичних змін та зростання антропогенного навантаження.

В такому разі актуальною задачею є дослідження багаторічних часових рядів мінімального меженного стоку річок в межах території Півдня України, їх статистичний аналіз, виявлення направлених тенденцій зміни стоку та просторово-часові узагальнення розрахункових характеристик в умовах сучасних кліматичних змін.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Виконані дослідження багаторічних рядів характеристик мінімального меженного стоку річок Півдня України є важливим етапом при розробці наукових методик інженерних розрахунків та гідрологічного прогнозування водності річок в періоди посушливих сезонів року. Саме в такі сезони року виникає гостра потреба у водних ресурсах для водозабезпечення різних галузей виробництва та виробки гідроенергетичних ресурсів, сільського господарства при зрошенні земель, водопостачання питної води населенню в межах географічних територій недостатньої водності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання дослідження і оцінки водних ресурсів в період формування низького стоку річок поставлені перш за все Всесвітньою метеорологічною організацією у керівництвах з гідрологічної практики [1, 2] та доповідях [3]. Традиційно одним із найпоширеніших застосувань інформації про низький потік було

проектування та експлуатація систем громадського водопостачання. Інформація про частоту низьких потоків води необхідна для оцінки ймовірності того, що забір води не задовольняє очікуваний попит.

Дослідженням характеристик мінімального стоку річок присвячені роботи українських вчених таких як В. В. Гребінь, який застосував гідролого-ландшафтний аналіз для оцінки рядів спостережень [4], Л. О. Горбачова використовувала для вивчення мінімального меженного стоку гідролого-генетичний метод [5, 6]. Також оцінкою багаторічних коливань мінімального стоку займалася Г. В. Больбот [7], Больбот Г. В., Гребінь В. В. [8]. Вивченням мінімального меженного стоку, а також впливом розташування і кліматичних змін на нього займалися такі автори як, В. А. Овчарук, Ж. Р. Шакірзанова, О. М. Прокоф'єв, Л. В. Кущенко, М. В. Гопцій, Г. М. Андреевська [6, 9, 10], Н. С. Лобода, Ю. В. Божок [11].

Питання статистичного аналізу та визначення розрахункових характеристик мінімального стоку річок досконало розглянуто в нормативному документі «ДБН В.2.4-8:2014. Визначення розрахункових гідрологічних характеристик» [12]. Порядок оцінки та інформування про маловоддя (гідрологічну посуху) на водних об'єктах суші України регламентує відповідне Положення [13], яке встановлює діяльність гідрометеорологічних організацій, в тому числі й спостережної мережі, в період загрози настання та формування маловоддя (гідрологічної посухи) на водних об'єктах суші України.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття полягає у необхідності наукових досліджень при подовженні часових рядів гідрологічних стоків спостережень й встановлення сучасних тенденцій і довгострокових прогнозів запасів водних ресурсів в змінних кліматичних умовах.

Новизна. В рамках наукових досліджень характеристик мінімального меженного стоку річок літньо-осіннього і зимового маловодних періодів року на матеріалах сучасних гідрометеорологічних спостережень встановлено сучасні тенденції гідрологічних характеристик – мінімальних 30-добових витрат води в період відкритого русла і зимовий період на річках Півдня України. В роботі досліджено сучасні кліматичні зміни, які впливають на формування мінімального меженного стоку, а саме зміни в температурному режимі та опадах у період стандартної кліматичної норми (1961-1990 рр.) та в сучасний кліматичний період (1991-2020 рр.).

За виявленими просторово-часовими узагальненнями статистичних характеристик багаторічних рядів мінімального стоку річок розглядуваної

території виконана оцінка статистичної однорідності, циклічності та просторово-часових тенденцій у меженні періоди року в різних фізико-географічних умовах річкових водозборів.

Методологічне або загальнонаукове значення.

Використаний гідролого-генетичний та статистичний аналіз мінімального стоку річок меженного періоду за даними сучасних спостережень дозволив в цілому підійти до оцінки стану водності річок за побудованими сумарними, різницево-інтегральними та хронологічними графіками характеристик мінімального стоку, статистичної обробки багаторічних часових рядів стоку та часових та просторових узагальнень мінливості мінімального стоку річок в межах великих територій.

Викладення основного матеріалу. Об'єктом дослідження є мінімальний меженний стік річок Півдня України. Відповідно до фізико-географічного районування України [14] та ландшафтно-гідрологічного районування, виконаного В. В. Гребенем [4] досліджувана територія Півдня України розташована в межах степової та лісостепової географічних зон, що обумовлює широку різноманітність природних умов формування стоку річок.

Відповідно до гідрографічного районування території України за басейновим принципом, виконаного згідно положень Водної Рамкової Директиви Європейського Союзу 2000/60/ЄС (надалі ВРД ЄС) [15] авторами [16] в роботі до аналізу включені три річкові басейни, а саме басейни річок Південного Бугу (середня і нижня частини), Південно-Західного Причорномор'я та суббасейну Нижнього Дніпра.

В умовах сучасних змін клімату важливо досліджувати вплив зміни клімату на формування водного режиму, оскільки водний режим річок напряму залежить від кліматичних факторів, таких як температурний режим, опади, вологість та інших.

Основні риси клімату описуваної території формуються під впливом загальних і місцевих кліматоутворюючих факторів. Основними кліматичними характеристиками є термічний режим, опади, вітер, відносна та абсолютна вологість повітря та дефіцит вологості [17]. Температурний режим залежить від радіаційних чинників і властивостей повітряних потоків, які надходять на дану територію. Значними чинниками характеристики температурного режиму є підстильна поверхня, рослинний і сніговий покрив. Один із основних показників температурного режиму це середньомісячна температура повітря, що характеризує загальний температурний фон території.

Середня річна температура повітря для більшої частини описуваної території становить 9,4-10,0 °С, на півдні – 10,6 °С.

За порівнянням кліматичних характеристик у стандартний (1961-1990 рр., стандартна кліматична норма) та сучасний 30-річний (1991-2020 рр.) кліматичні періоди, використовуючи дані з кліма-

тичного кадастру України [18, 19] встановлено, що підвищення річних температур повітря для двох кліматичних періодів становить на сході території в середньому 1,5-1,6 °С, в західній частині та в південних областях – 0,9-1,1 °С.

На рис. 1 представлений річний хід температури повітря для двох періодів кліматичної норми. По всіх метеорологічних станціях розглядуваної території можна спостерігати підвищення температур повітря у сучасний 30-річний період. Найбільші підвищення температури повітря спостерігаються в зимові місяці й на початку весни (січень-березень) – в південних областях – 1,3-1,9 °С (до 1,7-2,1 °С в окремі місяці на окремих станціях), в західній частині території – 1,8-2,0 °С (до 2,0-2,5 °С) та на сході території – в середньому 1,2-1,7 °С (до 2,1-2,3 °С). Відмічені й підвищення температур повітря за два кліматичних періоди й в літні (липень, серпень) місяці, які становлять – в західній частині та в південних областях 1,8-2,0 °С, на сході території – в середньому 1,5-1,6 °С (до 1,8-2,0 °С).

Одна з найважливіших складових формування гідрологічного режиму річок це опади. Річна кількість опадів зменшується від 510 мм до 441 мм, в напрямку зі сходу на південь [17]. Атмосферні опади розрізняються значною мінливістю за роками. В окремі періоди можуть спостерігатися посухи.

На рис. 2 представлений річний розподіл опадів протягом року за різні кліматичні періоди. Спостерігається нерівномірний перерозподіл опадів по місяцях року та по території: в південних і західних областях у сучасний кліматичний період опади зменшилися у квітні (на 7-10 мм) та у липні (на 11-17 мм), а збільшилися вони у вересні-жовтні на 10-12 мм, дещо менше стало опадів у грудні-лютому. На сході території спостерігається зменшення кількості опадів у липні в середньому на 8-13 мм, збільшилась кількість опадів у вересні-жовтні – на 7-12 мм. Що стосується зимових місяців опадів стало менше на 8-10 мм.

Сума опадів за рік за два кліматичних періоди в південних і західних областях зменшилась на 28-41 мм, при цьому на сході розглядуваної території вона збільшилась (на 25-32 мм).

В порівнянні з періодом 1961-1990 рр. середня швидкість вітру на Півдні України дещо зменшилась, виключенням є Кривий Ріг, де змін майже не спостерігається. Відносна вологість повітря майже не змінилась по місяцях року, значення абсолютної вологості збільшилися в літні місяці на 1,0-2,0 гПа, а дефіцит вологості повітря підвищився в усі місяці року на 0,2-3,1 гПа.

Мінімальний стік є одним із основних понять, якими користуються в гідрології при аналізі й розрахунках стоку, а мінімальна витрата є однією з основних гідрологічних характеристик, яку потрібно розраховувати при проектуванні, будівництві та експлуатації гідротехнічних споруд на річках.

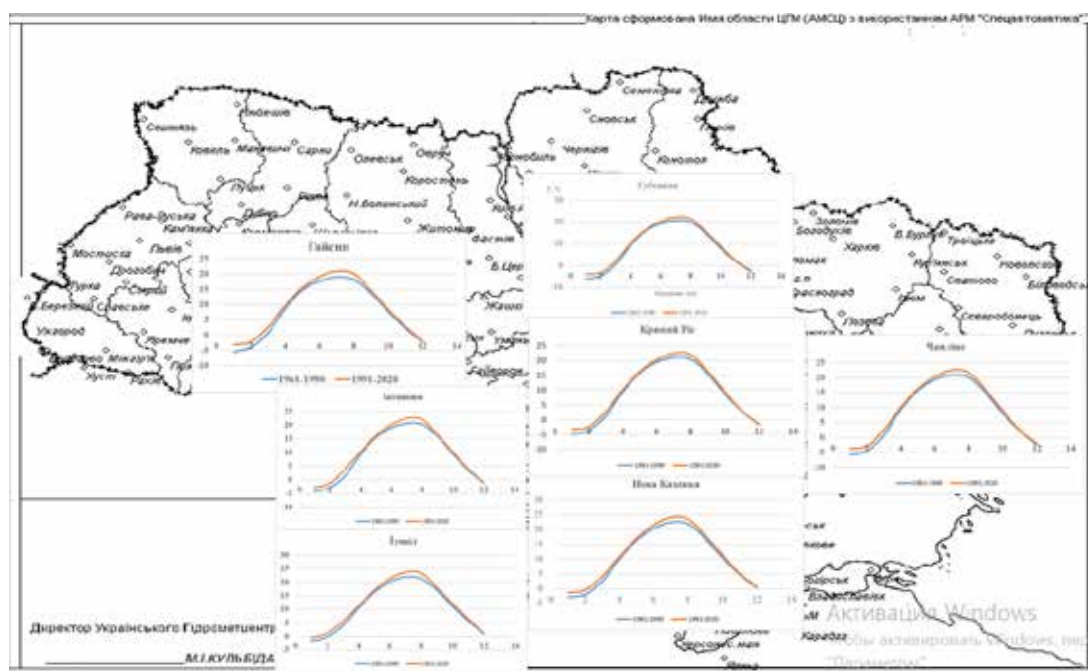


Рис. 1. Розподіл багаторічної середньомісячної температури повітря (°C) по метеостанціях Півдня України за різні кліматичні періоди

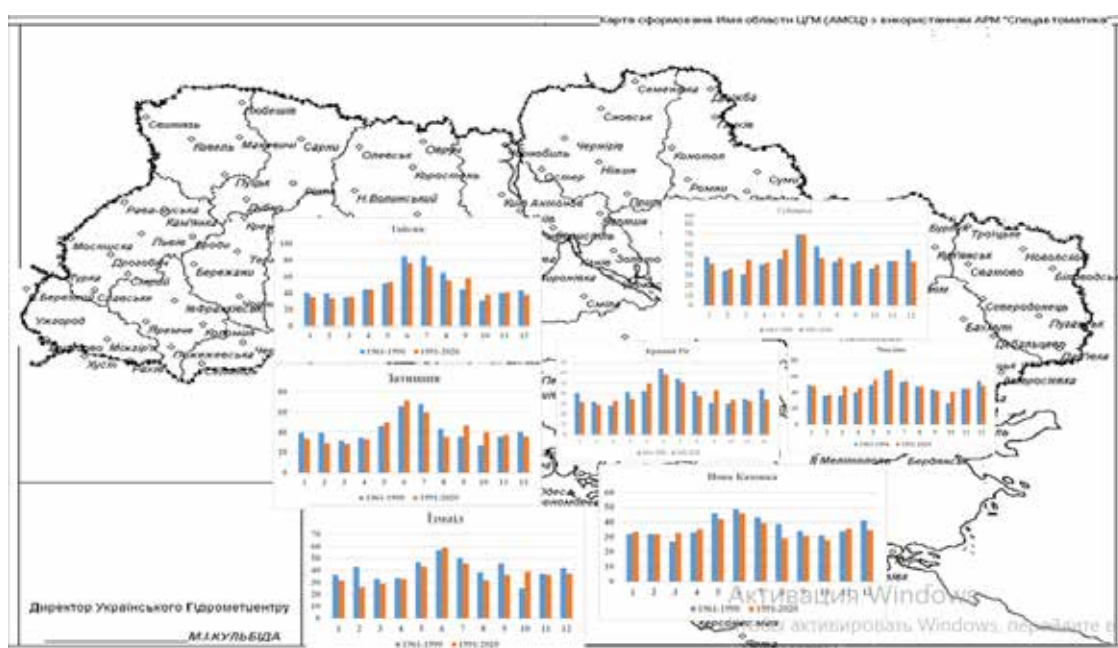


Рис. 2. Розподіл багаторічної місячної кількості опадів (мм) по метеостанціях Півдня України за різні кліматичні періоди

Мінімальні витрати води на річках спостерігаються у періоди низької водності, тобто у маловодний період року, який називається меженню [1, 3].

Межень – фаза водного режиму річки, яка щороку повторюється в одні і ті ж самі сезони (літній та зимовий [20], або літньо-осінній періоди [21, 22]) і характеризується малою водністю, тривалим стоянням, живляться переважно ґрунтовими (підзем-

ними водами). Основним джерелом живлення річок у межений період є природні ресурси підземних вод, які формуються в тій зоні інтенсивного водообміну, яка знаходиться під впливом постійно дренуючої дії річкової мережі.

Одним з головних методів дослідження характеристик рядів мінімального меженного є гідролого-генетичний аналіз [2, 23]. Гідролого-генетичні

методи належать до комбінованих методів гідрологічного аналізу, основні з яких побудова та аналіз сумарних, інтегральних та хронологічних кривих характеристик рядів мінімального меженного стоку [24, 25].

Для просторово-часових узагальнень статистичних характеристик рядів мінімального меженного стоку річок Півдня України були побудовані сумарні, різницево-інтегральні та хронологічні криві для десяти постів в басейнах Південного Бугу, річок Причорномор'я та Нижнього Дніпра з початку гідрологічних стокових спостережень на посту до 2020 року.

На першому етапі дослідження для аналізу однорідності часових рядів мінімального меженного стоку річок Півдня України були побудовані сумарні криві мінімальних середніх 30-ти добових витрат води в період відкритого русла (літньо-осіння межень) (рис. 3) і зимовий період (зимова межень) (рис. 4) для річок зі стійким льодоставом (Форма А в [26, 27]).

Вигляд сумарних кривих мінімальних середніх 30-ти добових витрат води за літньо-осінню та зимову межень річок Півдня України показує, що більшість рядів спостережень є неоднорідними. Сумарні значення мінімальних витрат води дещо



Рис. 3. Сумарні криві мінімальних середніх 30-ти добових витрат води за літньо-осінню межень для деяких річок басейнів Південного Бугу, Причорномор'я та Нижнього Дніпра

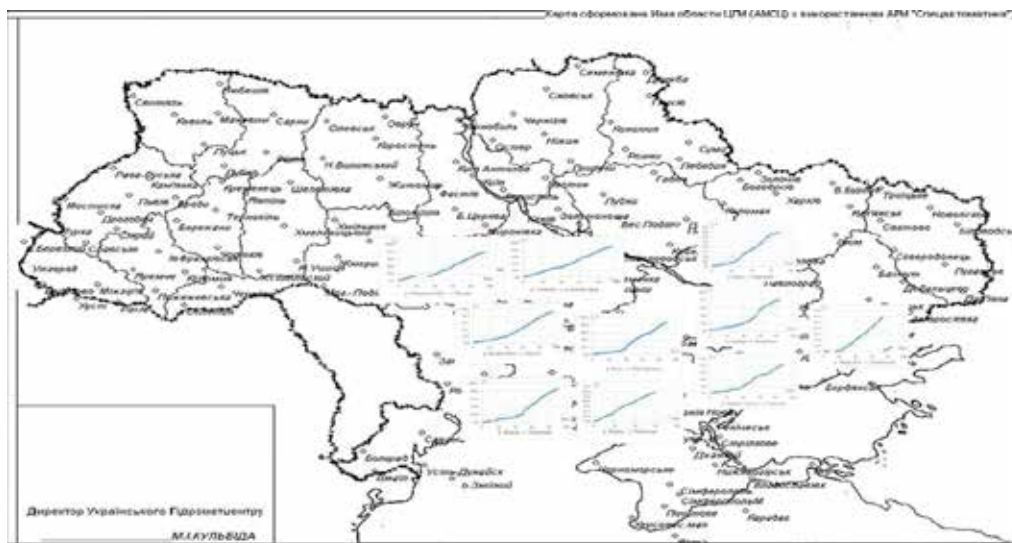
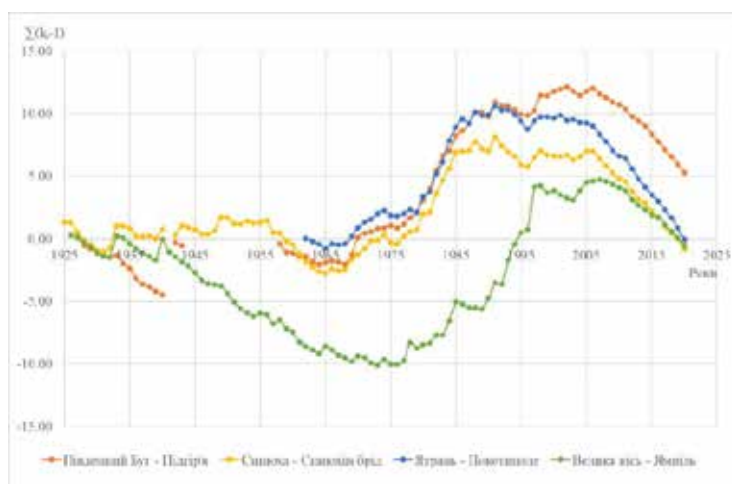
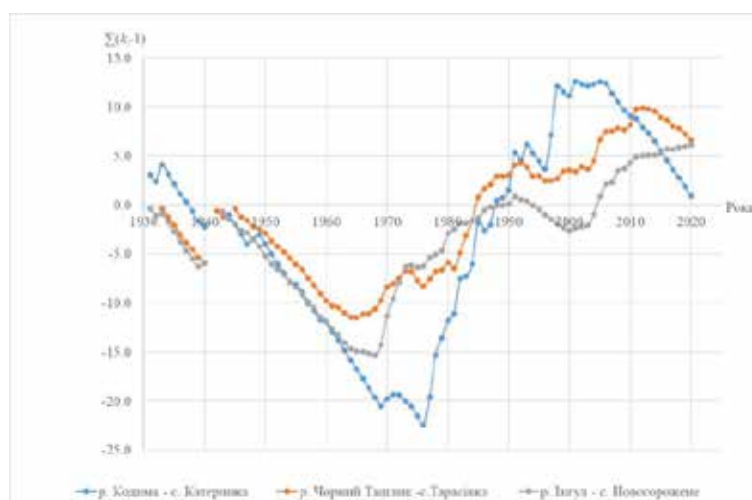


Рис. 4. Сумарні криві мінімальних середніх 30-ти добових витрат води за зимову межень для деяких річок басейнів Південного Бугу, Причорномор'я та Нижнього Дніпра

а)



б)



в)

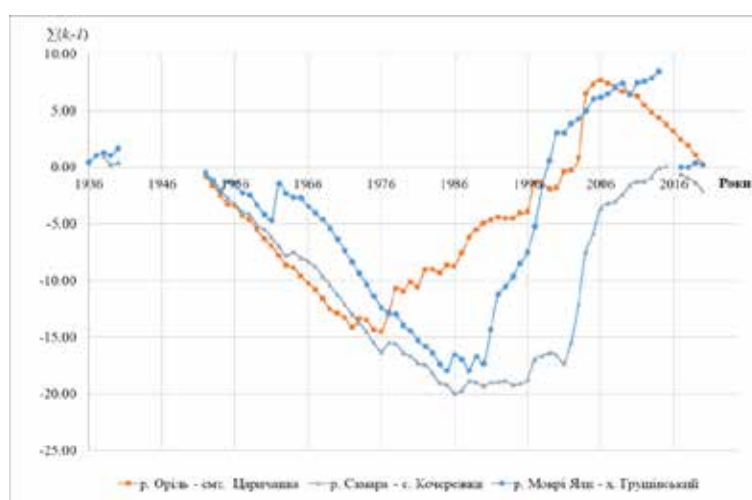
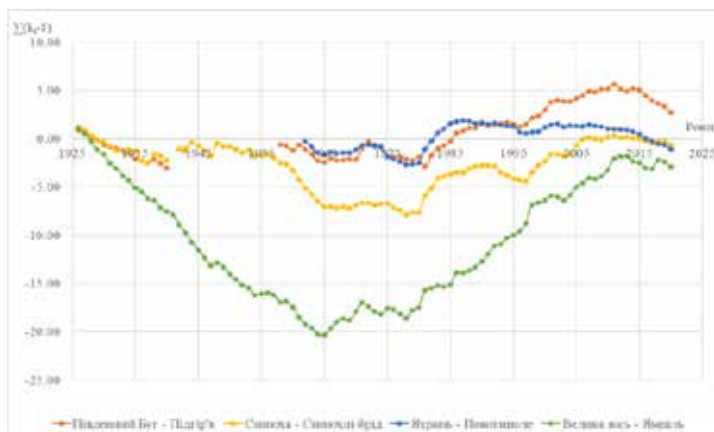


Рис. 5. Різницево-інтегральні криві мінімальних 30-ти добових витрат води річок Півдня України за період відкритого русла а) басейну Південного Бугу; б) річок Причорномор'я; в) Нижнього Дніпра

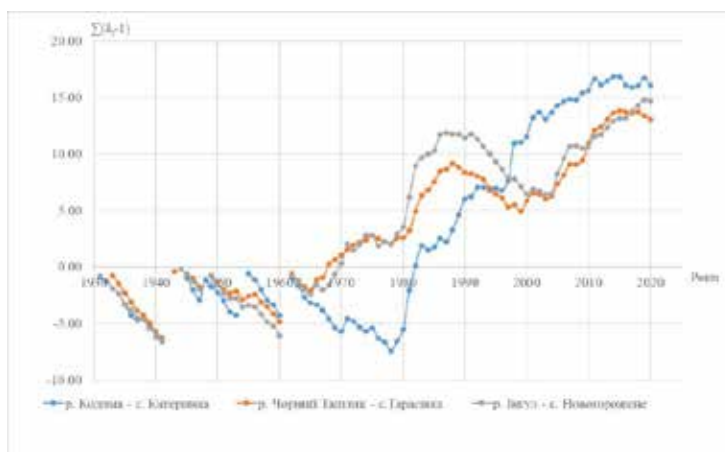
відхиляються від прямої лінії, утворюючи звивисту лінію з перегинами, що говорить про зміни умов формування стоку протягом багаторічного періоду. Такі коливання можуть бути пов'язані як зі змінами кліматичних чинників, так й антропогенними факторами.

Аналізуючи вигляд сумарних кривих спостерігається їх схожість як на окремих річках досліджуваної території, так й для періодів літньо-осінньої (рис. 3) і зимової межени (рис. 4). Але можна виділити і більш однорідні ряди спостережень, що мають місце на постах басейну р. Південний Буг.

а)



б)



в)



Рис. 6. Різницево-інтегральні криві мінімальних 30-ти добових витрат води річок Півдня України за зимовий період а) басейну Південного Бугу; б) річок Причорномор'я; в) Нижнього Дніпра

На другому етапі дослідження для з'ясування причин неоднорідності в рядах мінімального стоку річок були побудовані та проаналізовані різницево-інтегральні криві для виділення фаз водності та циклічності коливань мінімального меженного стоку річок Півдня України в період відкритого русла та

в зимовий період з початку гідрологічних стокових спостережень до 2020 року за даними [26, 27].

Аналіз різницево-інтегральних кривих мінімальних витрат води періоду відкритого русла (літньо-осіння межень) (рис. 5) та зимового періоду (рис. 6) дозволив виділити фази водності на річках, а саме фази підви-

Таблиця 1

Фази водності річок Півдня України за період відкритого русла

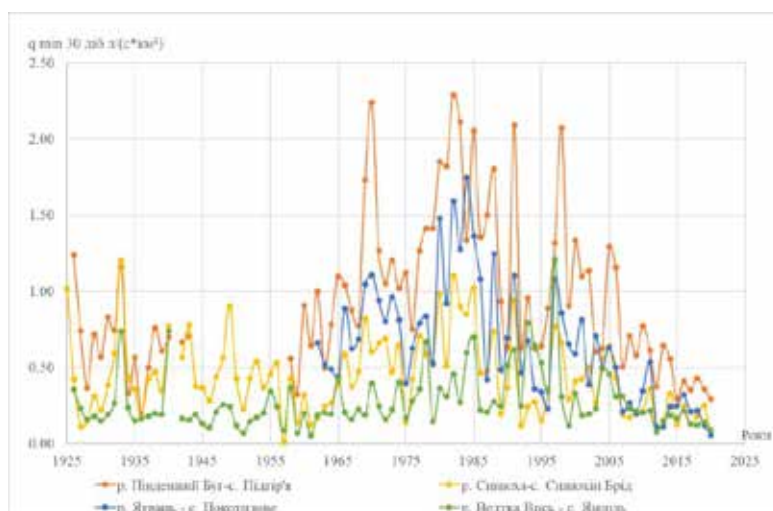
Індекс поста	Річка – пост	Площа водозбору, км ²	Роки спостереження	Маловодна фаза	Багатоводна фаза	Маловодна фаза
81363	Південний Буг – с. Підгір'я	24600	1926-1944, 1958-2020	1926-1968	1969-2006	2007-2020
81417	Синюха – с. Синюхін Брід	16700	1925-2020	1925-1968	1969-2006	2007-2020
81430	Велика Вись – с. Ямпіль	2820	1925-2020	1926-1977	1978-2007	2008-2020
81433	Ятрань – с. Покотилове	2140	1962-2020	1962-1968	1969-2006	2007-2020
81414	Кодима – с. Катеринка	2390	1931-1941, 1944-2020	1931-1976	1977-2006	2007-2020
81438	Чорний Ташлик – с. Тарасівка	2230	1932-2020	1933-1965	1966-2012	2013-2020
81450	Інгул – с. Новогорожене	6670	1931-1941, 1943-2020	1931-1968	1969-2020	-
80473	Оріль – смт Царичанка	9100	1952-2020	1952-1975	1976-2005	2006-2020
80486	Самара – с. Кочережки	19800	1938-1941, 1952-2020	1939-1985	1986-2016	2017-2020
80513	Мокрі Яли – х. Грушівський	2660	1936-41, 1952-55, 1957-62, 1965-2020	1936-1979	1980-2014	2015-2020

Таблиця 2

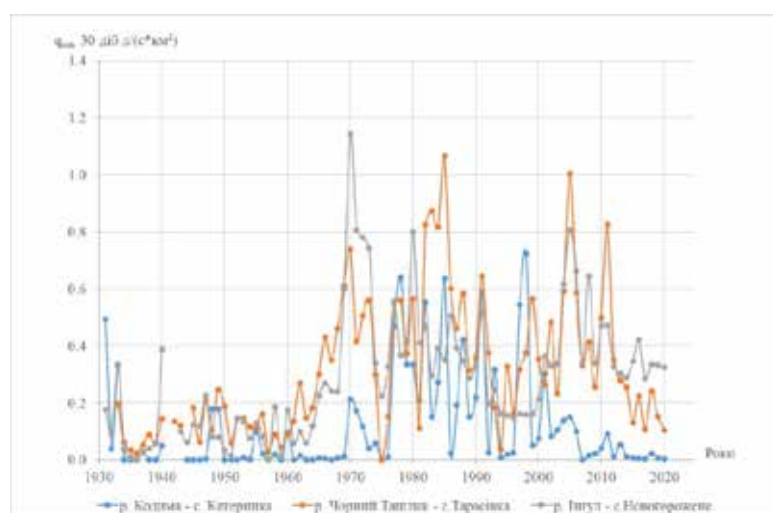
Фази водності річок Півдня України за зимовий період

Індекс поста	Річка – пост	Площа водозбору, км ²	Роки спостереження	Маловодна фаза	Багатоводна фаза	Маловодна фаза
81363	Південний Буг – с. Підгір'я	24600	1926-1944, 1958-2020	1926-1981	1982-2015	2016-2020
81417	Синюха – с. Синюхін Брід	16700	1925-2020	1925-1981	1982-2015	2016-2020
81430	Велика Вись – с. Ямпіль	2820	1925-2020	1926 -1978	1979-2013	2014-2020
81433	Ятрань – с. Покотилове	2140	1962-2020	1962-1980	1981-2015	2016-2020
81414	Кодима – с. Катеринка	2390	1931-1941, 1944-2020	1931-1978	1979-2015	2016-2020
81438	Чорний Ташлик – с. Тарасівка	2230	1932-2020	1933-1965	1966-2017	2018-2020
81450	Інгул – с. Новогорожене	6670	1931-1941, 1943-2020	1931-1965	1966-2017	2018-2020
80473	Оріль – смт Царичанка	9100	1952-2020	1953-1977	1978-2011	2012-2020
80486	Самара – с. Кочережки	19800	1938-1941, 1952-2020	1939-1978	1979-2016	2017-2020
80513	Мокрі Яли – х. Грушівський	2660	1936-41, 1952-55, 1957-62, 1965-2020	1935-1981	1982-2011	2012-2020

а)



б)



в)

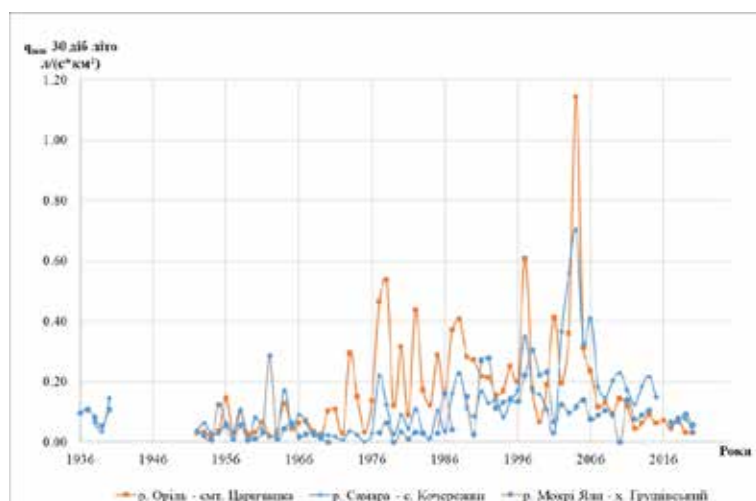
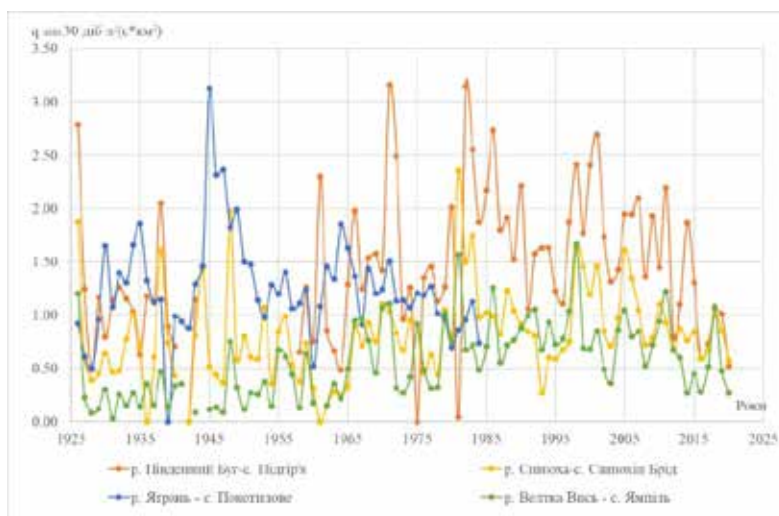
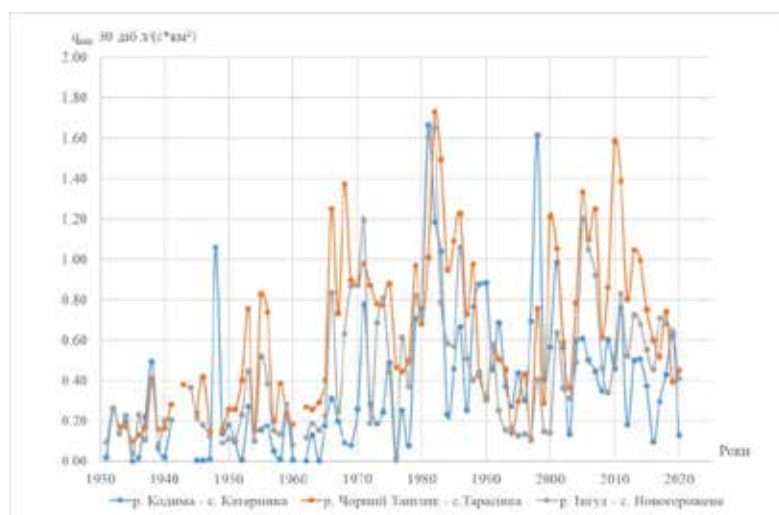


Рис. 7. Хронологічні криві мінімальних 30-ти добових витрат води річок Півдня України за період відкритого русла а) басейну Південного Бугу; б) річок Причорномор'я; в) Нижнього Дніпра

а)



б)



в)

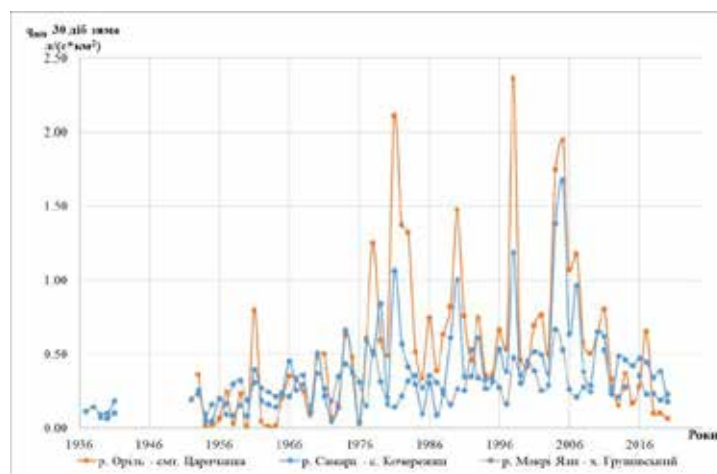


Рис. 8. Хронологічні криві мінімальних 30-ти добових витрат води річок Півдня України за зимовий період
а) басейну Південного Бугу; б) річок Причорномор'я; в) Нижнього Дніпра

щення і фази зниження циклічних коливань, з їхньою значною тривалістю. Так, циклічні коливання мінімальних середніх 30-ти добових витрат води теплого і холодного періодів року річок Півдня України є синхронними як по річках, так і сезонах року.

Для аналізу та просторово-часових тенденцій багаторічного ходу мінімальних витрат води меженного сезону року періодичність фаз водності річок узагальнено по річкових водозборах для літньо-осінньої (в табл. 1) та зимової (в табл. 2) межени.

Так, для теплого періоду літньо-осінньої межени маловодна фаза в басейні Південного Бугу триває з 1920-х років до 1970-х. Багатотоводна фаза триває до 2006-2007 року, а потім з 2007-2008 настає знову маловодна – до 2020 року. Для річок басейну Причорномор'я маловодна фаза починається у 1930-х роках і триває до середини 1970-х. Багатотоводна фаза продовжується до 2012-2016 і майже 2020 років. В басейні річок Нижнього Дніпра спостерігається схожий характер коливань водності – маловодна фаза починається у 1930-х роках і триває до 1970-1980-х років, багатотоводна фаза продовжується до 2014-2016 року, а потім знов настає маловодна фаза до 2020 року (табл. 1).

Різницево-інтегральні криві мінімальних 30-ти добових витрат води річок Півдня України за зимовий період (рис. 6) та дані табл. 2 показують, що для зимового періоду межени маловодну фазу в басейнах річок розглядуваної території Півдня України, що тривала до 1978-1982 років змінила багатотоводна – до 2013-2017 років, а після цього періоду (з 2016-2018 рр.) мінімальні витрати води знов почали зменшуватися до 2020 року.

Побудовані в роботі хронологічні криві мінімального меженного стоку річок Півдня України в зимо-

вий період (рис. 7) та період відкритого русла (рис. 8) (з початку гідрологічних стокових спостережень до 2020 року [26, 27]) також вказують на синхронність коливань стоку на різних річках.

Тож на графіках можна спостерігати, що ряди мають цикли коливань водності, що й обумовлює виражені тренди в часових рядах мінімального стоку. Це дозволяє застосовувати надалі статистичні методи для визначення розрахункових параметрів мінімального меженного стоку річок Півдня України.

Головні висновки. Авторами статті виконано аналіз просторово-часових узагальнень статистичних характеристик рядів мінімального меженного стоку річок Півдня України для оцінки статистичної однорідності часових рядів в сучасних умовах зміни клімату, а також визначення фаз водності річок використовуючи гідролого-генетичний аналіз при побудові сумарних, різницево-інтегральних кривих та хронологічних графіків. Дослідження сумарних кривих 30-ти добових мінімальних витрат води за період відкритого русла і зимовий період показало, що більшість рядів спостережень є неоднорідним, а різницево-інтегральні та хронологічні криві свідчать про наявність циклів коливань водності та синхронності мінімального стоку річок Півдня України.

Перспективи використання результатів дослідження. Дослідження та результати просторово-часових узагальнень багаторічних і сучасних тенденцій стокових величин в умовах несталого клімату будуть використані при розробці нових та удосконаленні існуючих методів інженерних розрахунків і гідрологічного прогнозування характеристик мінімального стоку річок в межах конкретного сезону межени посушливого регіону Півдня України.

Література

1. Guide to hydrological practices. Data acquisition and processing, analysis, forecasting and other applications. WMO-No. 168. Fifth edition. World Meteorological Organization, 1994. 770 p.
2. Guide to Hydrological Practices. Volume II. Management of Water Resources and Application of Hydrological Practices WMO-No. 168. Sixth edition. World Meteorological Organization, 2009. 302 p.
3. Manual on Low-flow Estimation and Prediction. Operational hydrology report (OHR). No. 50. WMO-No. 1029. 138 P.
4. Гребін В.В. Сучасний водний режим річок України (ланшафтно-гідрологічний аналіз): монографія. Київ: Ніка-Центр, 2010. 316 с.
5. Горбачова Л.О. Просторово-часові тенденції мінімального стоку річок Півдня України. Тези доповідей другого Всеукраїнського гідрометеорологічного з'їзду, 7-9 жовтня 2021 р., Одеса. С. 51-52.
6. Екстремальні гідрологічні явища на річках Півдня України: розрахунки прогнози : монографія / за ред. В.А. Овчарук та Ж.Р. Шакірзанової. Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2024. 674 с.
7. Більбот Г. В. Оцінка багаторічних коливань мінімальних витрат води річок басейну Сіверського Дінця. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2019. № 3 (54). С. 31-33.
8. Більбот Г.В., Гребін В.В. Аналіз сучасних тенденцій у коливаннях мінімального стоку річок басейну Сіверського Дінця. «Перспективи гідроекологічних досліджень в контексті проблем довкілля та соціальних викликів». Збірник матеріалів VIII з'їзду Гідроекологічного товариства України, присвяченого 110-річчю заснування Дніпровської біологічної станції, 6-8 листопада, Київ, 2019. С. 239-241.
9. Куценко Л.В., Овчарук В.А., Прокоф'єв О.М., Гопцій М.В., Андреевська Г.М. Мінімальний та екологічний стік річок в зоні недостатньої водності України. Екологічні науки : науково-практичний журнал / Головний редактор Бондар О.І. – Київ: Видавничий дім «Гельветика», 2021. № 2(35). С. 30-36 DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.2-35.5>
10. Valeriya Ovcharuk, Eugene Gopchenko, Nataliya Kichuk, Zhannetta Shakirzanova, Liliia Kushchenko, and Mariia Myroschnichenko. Extreme hydrological phenomena in the forest steppe and steppe zones of Ukraine under the climate change //

Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences (PIAHS), 383, 229–235, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5194/piahs-383-229-2020> Scopus

11. Лобода Н.С., Божок Ю.В. Вплив змін клімату на водні ресурси водозбору Куяльницького лиману у сценарних кліматичних умовах. Укр. гідрометеорол. ж., 2015, № 16. С. 189-195.
12. ДБН В.2.4-8:2014. Визначення розрахункових гідрологічних характеристик / Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій». – Київ: Мінрегіон України, 2013. – Затверджено Наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України 02.07.2014 № 185 (із змінами: Наказ № 353 від 17.12.2014, Наказ № 149 від 30.06.2015). – 52 с.
13. Положення про порядок оцінки та інформування про маловоддя (гідрологічну посуху) на водних об'єктах суші України. Київ: Український гідрометеорологічний центр, 2020. 13 с.
14. Фізична географія Української РСР / за ред. А.М. Маринича. Київ : Вища школа, 1982. 208 с.
15. Директива 2000/60/ЄС Європейського Парламенту і Ради «Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики» від 23 жовтня 2000 року https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text (дата звернення: 18.04.2021)
16. Хільчевський В. К., Гребін В. В. Гідрографічне та водогосподарське районування території України, затверджене у 2016 р. – реалізація положень ВРД ЄС. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2017. № 1(44). С. 8-20.
17. Клімат України / За ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. Київ: Вид-во Раєвського, 2003. 343 с.
18. Кліматичний кадастр України (електронна версія). Державна гідрометеорологічна служба. УкрНДГМІ. Центральна Геофізична Обсерваторія. Київ, 2006.
19. Кліматичний кадастр України (електронна версія). Державна гідрометеорологічна служба ДСНС України. Центральна Геофізична Обсерваторія імені Бориса Срезневського. Київ, 2023.
20. Загальна гідрологія: підручник / за ред. В.К. Хільчевського, О.Г. Ободовського. Київ: ІПЦ «Київ. ун-т», 2008. 399 с.
21. Горбачова Л.О. Гідрологія: навчальний посібник для вищих навчальних закладів. Київ. НПУ ім. М.П. Драгоманова, 2010. – 125 с.
22. Ющенко Ю.С. Загальна гідрологія: підручник. Чернівці: Чернівецький нац.ун-т, 2017. 591 с.
23. Горбачова Л.О. Місце та роль гідролого-генетичного аналізу серед сучасних методів дослідження водного стоку річок. Наук. праці УкрНДГМІ. 2016. Вип. 268. С. 73-81.
24. Лобода Н.С. Методи статистичного аналізу у гідрологічних розрахунках і прогнозах: навчальний посібник. Одеса: Екологія. 2010. 184 с.
25. Гопченко Є.Д., Лобода Н.С., Овчарук В.А. Гідрологічні розрахунки: підручник. Одеськ. державний екологічний університет. Одеса: ТЕС. 2014. 484 с. <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/6078>
26. Державний водний кадастр. Багаторічні дані про режим та ресурси поверхневих вод суші (за 2016-2020 рр. та весь період спостережень). Ч. 1. Річки. Вип. 2. Басейн Дніпра: довідкове видання. Київ, 2023. 294 с.
27. Державний водний кадастр. Багаторічні дані про режим та ресурси поверхневих вод суші (за 2016-2020 рр. та весь період спостережень). Ч. 1. Річки. Вип. 1. Басейн Вісли, Дунаю, Дністра, Південного Бугу, річки Причорномор'я: Довідкове видання. Київ, 2023. 465 с.

ГІДРОГРАФІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ, ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ТА СТІЙКІСТЬ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ МІСТА ЖИТОМИР

Васильєва Л.А.¹, Шевчук Л.М.¹, Билина Л.В.², Герасимчук О.Л.¹

¹Державний університет «Житомирська політехніка»

вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир

²Бердичівський медичний фаховий коледж

вул. Шевченка, 14, 13300, м. Бердичів, Житомирська область

knz_vla@ztu.edu.ua, knz_shlm@ztu.edu.ua, bylyna.lili@gmail.com, kgt_gol@ztu.edu.ua

Стаття присвячена дослідженню гідрографічних особливостей, екологічного стану та стійкості водних об'єктів міста Житомир – адміністративного центру Житомирської області, Житомирської міської територіальної громади, історичного та регіонального центру Полісся. Гідрографічна мережа міста Житомир представлена річками Тетерів, Кам'янка, Лісна, Крошенка, одним водосховищем, чотирма русловими ставками, шістьма кар'єрами. Проаналізовано природні та антропогенні фактори, що впливають на стан річки Тетерів та її приток, зокрема Кам'янки, Лісної та Крошенки. Виявлено основні проблеми водних ресурсів, серед яких забруднення промисловими та побутовими стоками, евтрофікація, урбанізаційне навантаження та порушення природного гідрологічного режиму. Дослідження якості вод у річці Тетерів виявило перевищення допустимих концентрацій заліза, марганцю. Досліджено процеси самоочищення річкової екосистеми, особливу увагу приділено ролі двостулкових моллюсків у біологічній фільтрації води. Визначено потенціал самовідновлення водних об'єктів та можливості його підсилення шляхом природоохоронних заходів. Запропоновано рекомендації щодо підвищення екологічної стійкості водних об'єктів Житомира, зокрема вдосконалення системи водовідведення, створення буферних зон, модернізації очисних споруд та посилення екологічного моніторингу. Результати дослідження можуть бути використані органами місцевого самоврядування, екологічними службами та науковцями для розробки стратегій збереження та сталого управління водними ресурсами міста, розробки програм з раціонального водокористування, покращення екологічного стану річок, збереження біорізноманіття водних об'єктів міста та оптимізації системи міського водопостачання. *Ключові слова:* гідрографія, екологічний стан, самоочищення, водні ресурси, водні об'єкти, антропогенний вплив, Житомир.

Hydrographic features, ecological condition, and stability of water bodies in the city of Zhytomyr. Vasilieva L., Shevchuk L., Bylyna L., Herasymchuk O.

This article is dedicated to the study of the hydrographic features, ecological condition, and stability of water bodies in the city of Zhytomyr – the administrative center of Zhytomyr region, the Zhytomyr urban territorial community, and a historical and regional hub of Polissia. The hydrographic network of Zhytomyr includes the Teteriv, Kamianka, Lisna, and Kroshenka rivers, one reservoir, four channel ponds, and six quarries. The study analyzes natural and anthropogenic factors affecting the condition of the Teteriv River and its tributaries, particularly Kamianka, Lisna, and Kroshenka. The main issues of water resources have been identified, including pollution from industrial and domestic wastewater, eutrophication, urbanization pressure, and disruptions of the natural hydrological regime.

An analysis of water quality in the Teteriv River revealed exceedances of permissible concentrations of iron and manganese. The study also examines the self-purification processes within the river ecosystem, with special attention to the role of bivalve mollusks in biological water filtration. The potential for self-recovery of water bodies and opportunities to enhance it through environmental protection measures have been assessed.

Recommendations have been proposed to increase the ecological stability of Zhytomyr's water bodies, including improving the wastewater management system, creating buffer zones, modernizing treatment facilities, and strengthening environmental monitoring. The results of the study can be used by local governments, environmental agencies, and researchers to develop strategies for water resource conservation and sustainable management, formulate programs for rational water use, improve the ecological condition of rivers, preserve biodiversity in urban water bodies, and optimize the municipal water supply system. *Key words:* hydrography, ecological condition, self-purification, water resources, water bodies, anthropogenic impact, Zhytomyr.

Постановка проблеми. Водні об'єкти міста Житомир відіграють ключову роль у забезпеченні водопостачання, рекреації та підтриманні екологічної рівноваги регіону. Проте внаслідок антропогенного навантаження, урбанізації та кліматичних змін, значного погіршення процесів до самоочищення їхній екологічний стан погіршується. Забруднення річкових і підземних вод, зміни рівня водності, евтрофікація та деградація берегових зон є актуальними проблемами, що потребують комплексного дослідження. Визначення гідрографічних особли-

востей, оцінка екологічного стану та аналіз стійкості водних об'єктів Житомира дозволять розробити ефективні заходи щодо їхнього збереження та раціонального використання.

Актуальність дослідження. У сучасних умовах підвищеного екологічного навантаження дослідження водних ресурсів міських територій є вкрай важливим. Житомир, як один із історичних, адміністративних центрів Полісся, зазнає значного впливу господарської діяльності, що відображається на стані водних об'єктів. Вода є основним природ-

ним ресурсом для мешканців міста, тому оцінка її якості та стійкості водних об'єктів до антропогенних впливів є необхідною для розробки стратегій екологічної безпеки та сталого розвитку регіону. Дослідження сприятиме формуванню комплексного підходу до моніторингу, охорони та відновлення водних екосистем.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Це дослідження є частиною наукового напрямку, спрямованого на оцінку водних ресурсів міських екосистем та їхню стійкість до змін. Аналіз гідрографічних особливостей та екологічного стану водних об'єктів Житомира дозволяє визначити основні проблеми та розробити рекомендації щодо покращення їхньої якості. Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих результатів місцевими екологічними службами, органами влади та науковими установами для розробки програм з раціонального водокористування, покращення екологічного стану річок, збереження біорізноманіття водних об'єктів міста та оптимізації системи міського водопостачання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження гідрографічних особливостей та екологічного стану водних об'єктів міських територій активно ведуться як в Україні, так і за кордоном. У вітчизняній науковій літературі значна увага приділяється аналізу якості води, антропогенного впливу на річкові басейни та питанню охорони водних ресурсів. Зокрема, численні дослідження річки Тетерів, яка є основною водною артерією Житомира, та її приток проводилися в контексті оцінки її екологічного стану та рівня забруднення, водокористування [1-6]. Проте багато робіт зосереджені на окремих аспектах проблеми без комплексного аналізу стійкості водних об'єктів міста до змін природного та антропогенного походження.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Попри наявність ґрунтовних досліджень, залишається низка питань, що потребують детальнішого аналізу. Зокрема, недостатньо вивченими є механізми впливу міських стоків на екологічний стан річки Тетерів та її приток, а також вплив змін клімату на водний баланс міста. Недостатньо опрацьовані питання стійкості водних екосистем Житомира до урбанізаційних процесів та можливості відновлення деградованих водойм. Ця стаття спрямована на комплексне вивчення зазначених аспектів із урахуванням сучасних методів моніторингу та аналізу.

Новизна. Дослідження пропонує комплексний підхід до оцінки водних об'єктів Житомира, що включає аналіз їхньої стійкості до антропогенних навантажень, змін клімату та гідрологічного режиму. Окрему увагу буде приділено оцінці потенціалу відновлення водних екосистем, що є важли-

вим для формування стратегії сталого водокористування у регіоні.

Методологічне або загальнонаукове значення. Методологічна база дослідження ґрунтується на системному підході до аналізу міських водних об'єктів, що поєднує методи гідрологічного, екологічного досліджень. Отримані результати можуть бути використані у подальших наукових дослідженнях з урбоєкології, гідрології та управління водними ресурсами.

Виклад основного матеріалу. Місто Житомир – це адміністративний центр Житомирської області та Житомирського району, а також Житомирської міської об'єднаної територіальної громади (таблиця 1). До складу громади входять місто Житомир і село Вереси. Станом на 2022 рік населення громади становило 261624 особи. Щільність населення – 2801 особи/км². Площа громади – 93,4 км². Житомирська територіальна громада поєднує Київ та Львів автошляхом М 06. Через м. Житомир пролягають міжнародні та європейські автошляхи М 06, Е 40, Е 583, М 21.

Таблиця 1

Зонування території міста Житомир

Показник	Площа, га
Територія в межах міста	6083,0
Житлова забудова	2416,0
Громадська забудова	383,4
Виробнича забудова	642,4
Комунально-складська забудова	409,0
Транспортна інфраструктура	554,0
Ландшафтно-рекреаційна	479,6
Природоохоронного призначення	71,6

Місто Житомир розташоване на північному заході України у межах **Баранівсько-Високопільського** горбистого долинно-зандрового фізико-географічного району **Західно-Житомирської безморенної підобласті Житомирського Полісся** [7]. Поверхня території міста хвиляста рівна, спостерігається розчленування ярами та балками з загальним нахилом до долини річок. У цілому для території міста характерний позитивний баланс вологи через достатньо близьке залягання ґрунтових вод [8, 9].

Клімат міста Житомир є помірно континентальним з теплим літом, м'якою зимою та достатньою кількістю опадів. Середня річна температура становить 8,5°C, найнижча спостерігається у січні (-3,3°C), найвища – у липні (+25,8°C). Спостерігається тенденція до збільшення середньорічної температури, що відповідає загальним кліматичним змінам у регіоні. Протягом року випадає близько 600 мм опадів, зокрема у теплий період кількість опадів в 2,5 рази більша, ніж в холодний. Середня річна швидкість вітру становить близько 2,4 м/с [9-11].

До водних об'єктів міста відносимо водотоки – річки: Тетерів, Кам'янку, Лісну, Крошенку, та водо-

йми: водосховища, ставки, кар'єри. Також частково збереглися невеликі русла річок Путятинки, Руденки, Коденки (міська канава), Кокаричанки (частково протікає в трубопроводі). Загальна довжина водотоків, які протікають територією громади становить близько 50 км (найбільші з них Тетерів, Кам'янка, Крошенка). Водні поверхні на території Житомирської міської територіально громади займають площу 204,39 га [9].

Річка Тетерів (рис. 1) – права притока Дніпра, належить до середніх річок, бере початок на відрогах Волино-Подільської височини (за 4 км на південний захід від села Носівка Житомирської області). Річка протікає в Житомирській та Київській областях. Загальна довжина річки сягає 365 км, в межах області – 247 км, у межах міста Житомир – 10,7 км. Площа водозбору річки становить 15100 км², в межах області – 10981 км². Ліси займають 15%, а болота – 4,4% басейну [12].

У межах Житомирської області річка Тетерів приймає багато приток, з яких найголовніші: Гнилоп'ять та Гуйва, р. Ірша (найбільша ліва притока). Серед населених пунктів, які існують вздовж Тетерева: Житомир, Коростишів, Радомишль, Чуднів, Іванків та Левків. На р. Тетерів в межах Житомирської області збудовані водосховища: Чуднівське, Денишівське, Відсічне, Житомирське, Білокриницьке, а на її притоках: Андрушівське, Ліщинське, Млинищанське, Старосільське, Бердичівське, Скрагліївське,

Бистрикське, Швайківське, Слободищанське, Рудне-Городищенське, Райківське, Дворищанське, Іршанське, Малинське, Вознянське, Лумлянське, Карабачинське та Червонське водосховища [9].

Тетерів протікає у південній частині міста. Річка має добре зрізані, здебільшого скелясті береги з виходами на денну поверхню гнейсів та гранітів. Природний стік річки зарегульований (створено три дамби). На річці Тетерів на території Житомира розташоване Житомирське водосховище.

Щодо якісного стану вод річки Тетерів, слід відмітити, що у водозаборі (259 км, питний в/з м. Житомир, р. Тетерів,) згідно даних моніторингу Басейнового управління водних ресурсів Середнього Дніпра за 2024 рік [13], спостерігається щомісяця перевищення вмісту заліза загального (норма 0,3 мг/дм³) – від 0,320 мг/дм³ у березні до 0,860 мг/дм³ у травні, та марганцю (норма 0,01 мг/дм³) – від 0,042 мг/дм³ у квітні до 0,168 мг/дм³ у травні-червні (лише у вересні не відмічено перевищення по даному показнику (табл. 2). Серед органічних показників у річці протягом року не було перевищень за виключенням БСК (норма 3 мгО₂/дм³) у листопаді – 3,2 мгО₂/дм³ (табл. 2).

У попередні роки (2018-2023) дослідниками встановлено перевищення ГДК по важких металах Fe³⁺, Cr³⁺, Zn²⁺, Mn²⁺ у поверхневих водах річки Тетерів в межах міста Житомира, що призводить до порушення біохімічних процесів і фізіологічних функцій



Рис. 1. Річка Тетерів, м. Житомир, провулок Політехнічний

Джерело: фото авторів

Таблиця 2

Якість води у місці питного водозабору міста Житомир, річки Тетерів (дані моніторингу Басейнового управління водних ресурсів Середнього Дніпра за 2024 рік [13], зазначені лише дані перевищення вмісту показників, – – перевищення відсутнє)

Місяць	БСК, $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$ (норма 3 $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$)	Залізо загальний, $\text{мг}/\text{дм}^3$ (норма 0,3 $\text{мг}/\text{дм}^3$)	Марганець, $\text{мг}/\text{дм}^3$ (норма 0,01 $\text{мг}/\text{дм}^3$)
Січень	-	0,389	0,105
Лютий	-	0,348	0,049
Березень	-	0,320	0,063
Квітень	-	0,340	0,042
Травень	-	0,860	0,168
Червень	-	0,480	0,168
Липень	-	0,456	0,147
Серпень	-	0,340	0,105
Вересень	-	0,380	-
Жовтень	-	0,360	0,091
Листопад	3,20	0,336	0,084

живих організмів, зумовлює токсикологічний вплив на гідробіотів та порушує процеси самоочищення водойми [4].

На берегах річки Тетерів функціонує два офіційні пляжі, зони відпочинку на території Гідропарку, які достатньо популярними серед місцевих жителів. Також дана річка використовується у рибальстві та спортивних змаганнях з плавання та веслування на човнах. Тобто річка має значення не лише як основне джерело води для міста, чинник мікроклімату Житомира (сприяючи підвищенню вологості повітря, особливо в літній період), а й як рекреаційний об'єкт. Проте річка постійно зазнає забруднення неочищеними стічними водами господарсько- побутового характеру, у прибережно-захисних смугах не рідкими є несанкціоновані сміттєзвалища та незаконне будівництво тощо.

Річка Тетерів, як і будь-яка природна водна система, має здатність до самоочищення, що є важливим механізмом підтримання її екологічної рівноваги. Поруч із осіданням твердих часток та їх накопиченням на дні, розбавленням забруднюючих речовин завдяки течії, окисненням та нейтралізацією небезпечних речовин під впливом хімічних реакцій, значну роль у процесах самоочищення відіграють біологічні процеси: діяльність гідробіотів, які поглинають забруднюючі речовини, такі як органічні залишки, важкі метали та нафтові продукти. У цьому аспекті особливо актуальними є двостулкові молюски – природні фільтратори, які пропускають через себе великі об'єми води, затримуючи зважені частинки, бактерії, органічні речовини та важкі метали [14-16]. Ці безхребетні тварини покращують кисневий режим річки, зменшують кількість органічного забруднення, створюють умови для існування інших водних організмів, підтримують стабільність водної екосистеми. Проте антропоген-

ний вплив загрожує їхній чисельності, видовому різноманіттю тому необхідні термінові комплексні заходи для збереження популяцій молюсків та захисту екосистеми річки [15, 17]. Звісно, що значне антропогенне навантаження на річку Тетерів (зарегулювання, створення водосховищ, ставків, промислові стоки, неочищені каналізаційні води та сміття) погіршують природні можливості річки до самоочищення, тому необхідні додаткові заходи, такі як моніторинг якості води, створення буферних зон, впровадження сучасних очисних споруд та екологічні програми для підтримки екосистеми річки. Лише невелика частина території Житомира має статус об'єкту Смарагдової мережі, а саме долина річки Тетерів (SiteCode: UA0000320, створена в 2023 р.) відповідно до даних European Environment Agency [18].

Річка Кам'янка (рис. 2) – ліва притока Тетерева (впадає на південь від центральної частини Житомира). Довжина Кам'янки становить 32 км, у межах міста – 9,4 км.

У річку надходять стічні води від приватних забудов, частково береги річки містять несанкціоновані сміттєзвалища. Встановлено (з допомогою розрахунку MIR-індексу), що якість води у р. Кам'янка в межах міста Житомир відповідає поганому екологічному стану, лиш в одній обстеженій науковцями ділянці – задовільному [5]. Дослідники зазначають, що це свідчить про значний антропогенний вплив на річку, (наприклад, скидання недостатньо очищених або неочищених стічних вод від житлових, промислових або комунальних об'єктів).

Річка Лісова – права притока річки Кам'янка, у межах міста довжина якої становить 2,5 км. Річка Крошенка – ліва притока річки Кам'янка, протікає на півночі міста Житомир. Річка зарегульована трьома ставками. На території міста її довжина становить 8,2 км.

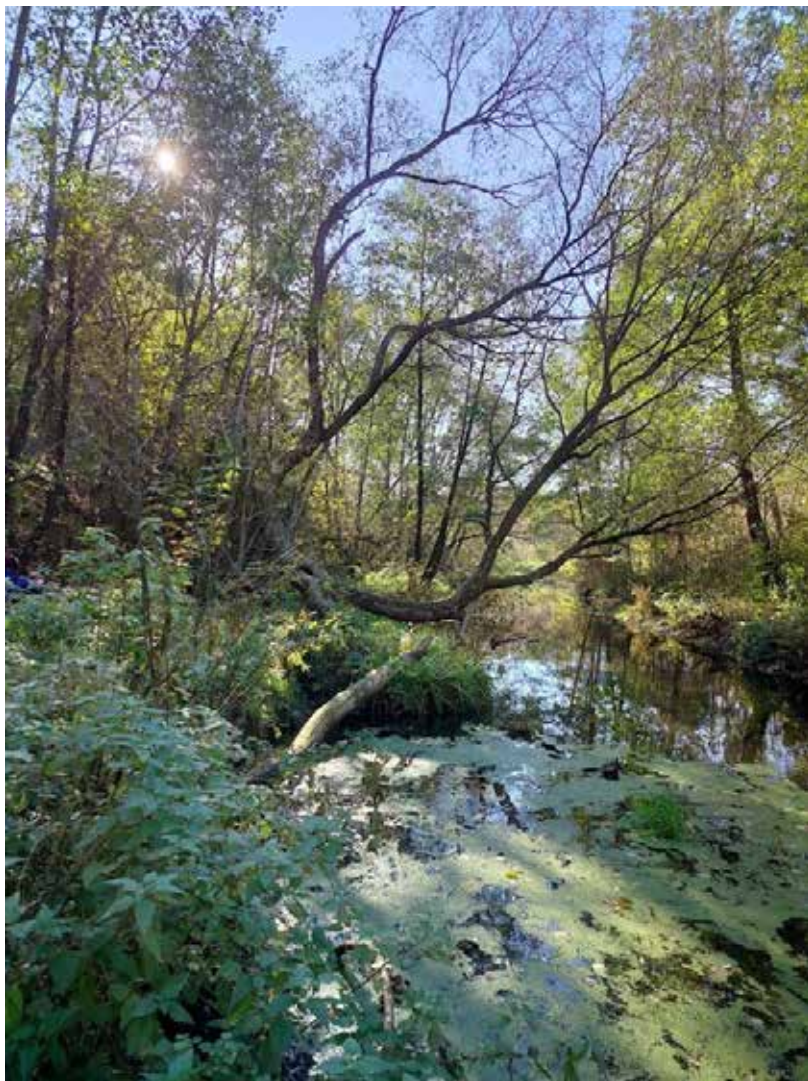


Рис. 2. Річка Кам'янка, м. Житомир, вул. захисників України

Джерело: фото авторів

На території міста є одне водосховище, 4 руслових ставки, 6 кар'єрів (табл. 3).

На річці Тетерів на території Житомира розташоване Житомирське водосховище, але комунальним підприємством «Житомирводоканал» використовується також і регулююче водосховище «Дениші» із греблею та водозабір здійснюється на водосховищі «Відсічне». Майже вся вода, яка забрана для потреб, надходить з поверхневих джерел (99%), а підземні води становлять незначну частину від загального обсягу використання води. Майже 91% (12,091 млн. м³) водних ресурсів забирається житлово-комунальним господарством, 6,7% (0,894 млн. м³) – промисловістю, 0,6% (0,073 млн. м³) – сільським господарством, 1,8% (0,242 млн. м³) іншими галузями [9].

Серед важливих проблем міста, які озвучуються у громаді є: незадовільний технічний стан та недостатня ефективність систем водопостачання і водовідведення, а також значні втрати води через зношеність інфраструктури, забруднення довкілля

внаслідок аварійних скидів неочищених стічних вод [9]. Протягом 2018-2023 років «Житомирводоканал» реєстрував значні втрати питної води при транспортуванні – від 20% до 44%. Стічні води Житомира у 2023 році надходили із 5 точкових джерел. Обсяг скинутих зворотних (стічних) вод у 2023 році у поверхневі водойми становив 15,368 млн.м³, із них 15,092 млн.м³ (98,2%) пройшли очистку на очисних спорудах каналізації міста Житомир, 0,239 млн.м³ – забруднених. Так як система дощової каналізації міста складається з індивідуальних колекторів, що відводять води без додаткового очищення в місцеві водойми це є додатковим навантаженням на дані водні об'єкти. На території міста існує близько 90 місць випуску стоків до водойм (і лише 42 під контролем), які не передбачені для скиду неочищених скидів каналізаційних стоків, проте неодноразово виявляються несанкціоновані водовідведення (у тому числі фекальних стоків) до мереж зливових колекторів мешканцями приватних забудов та підприємств, що

Таблиця 3

Деякі характеристики водойм міста Житомир [12]

Назва об'єкта поверхневих вод	Тип об'єкта гідрографії	Тип об'єкта водного	Назва водотоку, на якому розташовано водний об'єкт	Площа водного дзеркала при НІР, га	Об'єм при НІР, тис. куб. м	Стан гідротехнічної споруди	Можливість регулювання стоку
ставок	ставок	руслівий	р. Тетерів	20.88	580.0	задовільний	так
Соколовський кар'єр	кар'єр	не русловий	р. Тетерів	12.50	120.00	-	ні
Кар'єр цегельного заводу	кар'єр	не русловий	р. Тетерів	9.50	95.00	-	ні
Силікатний кар'єр	кар'єр	не русловий	р. Тетерів	5.05	90.00	-	ні
Силікатний кар'єр	кар'єр	не русловий	р. Тетерів	4.07	80.84	-	ні
Перший Силікатний кар'єр	кар'єр	не русловий	р. Тетерів	5.61	99.00	-	ні
Богунський кар'єр	кар'єр	не русловий	р. Тетерів	2.78	70.00	-	ні
ставок	ставок	руслівий	р. Крошенка	1.06	15.90	задовільний	так
Житомирське водосховище	водосховище	руслівий	р. Тетерів	490.00	1530.00	задовільний	так
ставок	ставок	руслівий	р. Крошенка	2.70	15.90	задовільний	так
ставок	ставок	руслівий	р. Крошенка	7.40	80.00	задовільний	так

звісно спричиняє забруднення водних об'єктів міста [9]. Для водосховищ (у тому числі Житомирського) характерне значне замулення, збільшення фітопланктону.

Майже усі водойми у межах міста використовуються як місця відпочинку, але жодне з них не є офіційним місцем для купання.

На території Житомира є 40 шахтних колодязів та 10 каптажів, які можуть бути використані як альтернативні джерела питного водопостачання. У місті є 80 артезіанських свердловин (3 з яких використовуються) [9].

Головні висновки. Отже, гідрографічна мережа міста Житомир представлена річками Тетерів, Кам'янка, Лісна, Крошенка, водосховищем, ставками та кар'єрами. Ці водні об'єкти Житомира відіграють важливу роль у формуванні природного середовища, кліматичних умов і підтриманні життєдіяльності міста. Водночас зарегулювання річкового стоку, створення водосховищ, ставків і активне використання водних ресурсів у господарській діяльності впливають на екологічний стан річок міста. Дослідження якості вод у річці Тетерів виявило перевищення допустимих концентрацій заліза, марганцю та інших забруднюючих речовин, що є наслідком як природних процесів, так і антропогенного впливу. Проблеми забруднення водних об'єктів міста пов'язані із несанкціонованими стоками, недостатньо ефективною системою водовідведення та збіль-

шенням урбанізаційного навантаження. Особливу загрозу становить несанкціоноване скидання каналізаційних вод, що сприяє евтрофікації та деградації екосистем річок. Попри значний антропогенний тиск, водні об'єкти Житомира мають потенціал до самовідновлення, який можна підсилити завдяки природним механізмам самоочищення, зокрема через біофільтрацію двостулковими моллюсками та іншими гідробіонтами. Проте для підтримки водної рівноваги потрібні комплексні заходи з екологічного моніторингу, створення захисних буферних зон, модернізації очисних споруд та посилення контролю за водокористуванням.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження можуть бути використані органами місцевого самоврядування для розробки програм збереження та раціонального використання водних ресурсів Житомира. Також вони будуть корисними для екологічних організацій та установ, що займаються моніторингом стану довкілля. Запропоновані рекомендації можуть стати основою для впровадження заходів з покращення екологічного стану водних об'єктів міста та підвищення їхньої стійкості до змін природного та антропогенного характеру, покращення якості води та збереження біорізноманіття водних об'єктів міста. Результати дослідження можуть бути використані в освітньому процесі для підвищення екологічної свідомості студентів та учнів.

Література

1. Романчук М.Є., Усачов О.Д. Оцінка якості води р. Тетерів – м. Житомир, як об'єкта рибогосподарського водокористування. Водні біоресурси та аквакультура. 2021. 2(10). С. 152-163. DOI: <https://doi.org/10.32851/wba.2021.2.13>
2. Смілий П.М., Гопчак І.В., Басюк Т.О. Екологічна оцінка якості поверхневих вод Житомирського Полісся. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2021. № 2 (60) С. 41-48. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.2.5>
3. Шелюк Ю. С., Трохимчук Т. М. Багаторічна оцінка якості води р. Тетерів в межах м. Житомир. The 2nd International scientific and practical conference «Progressive research in the modern world» (November 2-4, 2022). С. 51-56.
4. Скиба Г.В., Кірейцева Г.В., Герасимчук О.Л., Циганенко-Дзюбенко І.Ю., Хоменко С.В. Визначення та прогнозування вмісту есенціальних важких металів у поверхневих водах урбанізованих ділянок річки Тетерів (Житомир). Слобожанський науковий вісник. Серія: Природничі науки. 2024, № 2. С. 50-57. DOI: <https://doi.org/10.32782/naturalspu/2024.2.7>
5. Кірейцева Г.В., Герасимчук О.Л., Скиба Г.В., Хоменко С.В., Циганенко-Дзюбенко І.Ю. Біоіндикаційна оцінка екологічного стану р. Кам'янка в м. Житомирі за допомогою MIRіндексу. Вісник Кременчуцького Національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ. 2024. Випуск 3(146). С. 58-65. DOI: <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2024.3.8>
6. 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 у межах Урбоєкосистеми м. Житомира. Екологічні науки. 2024 4 (55). С. 53-58. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.4-55.9>
7. Нестерчук І. К. Геоєкологічний аналіз: концептуальні підходи, сталий розвиток : монографія. – Житомир : ЖдТУ, 2011. – 312 с.
8. Комплексна програма охорони навколишнього природного середовища на 2019-2021 роки. 2019. – 56 с. URL: <https://zt-rada.gov.ua/files/upload/sitefiles/doc1557303823.pdf>
9. Екологічна стратегія Житомирської міської територіальної громади до 2050 року. 2004 – 95 с. URL: https://strapi.zt-rada.gov.ua/uploads/Zvit_pro_strategichnu_ekologichnu_ozinku_5743a87cb3.pdf
10. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Житомирській області у 2020 році. Житомир : Департамент екології та природних ресурсів Житомирської ОДА, 2021. URL: <https://eprdep.zht.gov.ua/Regionalna%20dopovidj%202021.pdf>
11. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Житомирській області у 2021 році. Житомир : Департамент екології та природних ресурсів Житомирської ОДА, 2021. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2022/10/Regionalna-dopovid-ZHytomyska-ODA-2021.pdf>
12. Державне агентство водних ресурсів України. Басейнове управління водних ресурсів річки Прип'ять. URL: https://buvrzt.gov.ua/vodni_resursy.html
13. Державне агентство водних ресурсів України. Басейнове управління водних ресурсів Середнього Дніпра. URL: <https://buvrd.gov.ua/monitoryng/>
14. Shevchuk L., Vasilieva L., Romaniuk R., Pavliuchenko O. Species diversity of unionid mussels (Mollusca: Bivalvia: Unionidae) as a bioindicator of the state water environment of river basins of Ukraine. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 915, Issue 1, P. 1-6. DOI: 10.1088/1755-1315/915/1/012006
15. Шевчук Л.М., Билина Л.В., Васильєва Л.А. Збереження біорізноманіття нативних двостулкових молюсків України (Mollusca, Bivalvia) як необхідність дотримання вимог оселищної концепції та реалізації стратегії сталого розвитку. Екологічні науки. 2023. Випуск 5 (50). С. 153-161. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.5-50.22>
16. Шевчук Л.М., Билина Л.В., Васильєва Л.А., Герасимчук О.Л. Молюски родини Sphaeriidae (Mollusca: Bivalvia) суббасейну Прип'яті: екосистемний підхід до управління водними ресурсами. Екологічні науки. Випуск 5 (56), 2024. С. 60-67. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.8>
17. Shevchuk L. M., Bylyna L. V., Vasilieva L. A., Herasymchuk O. L., Vakaliuk T. A. Assessment of the distribution and population characteristics of Musculium lacustre M"uller, 1774 (Mollusca, Bivalvia, Sphaeriidae) in anthropogenically altered aquatic landscapes of the northern right bank of the Dnipro River in Ukraine. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, Vol. 1415, 2024, 012097. URL: 10.1088/1755-1315/1415/1/012097
18. European Environment Agency. URL: <https://emerald.eea.europa.eu/>

УДК 504.55:556.531

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.2-59.8>

СТАН РІЧКОВИХ ЕКОСИСТЕМ ЖОВКІВСЬКОЇ ГРОМАДИ НА ЛЬВІВЩИНІ

Голодовська О.Я., Захарко Я.М., Попович О.Р.

Інститут сталого розвитку імені В'ячеслава Чорновола

Національного університету «Львівська політехніка»

вул. Степана Бандери, 12, 79013, м. Львів

olena.y.holodovska@lpnu.ua, jaroslava.m.zaharko@lpnu.ua, olena.r.popovych@lpnu.ua

У статті представлено результати комплексного дослідження стану річкових екосистем Жовківської громади на Львівщині, що є важливим елементом екологічної структури регіону. Метою роботи є оцінка сучасного стану річкових екосистем та виявлення основних факторів антропогенного впливу, що призводять до їх деградації. Дослідження базується на аналізі гідрохімічних показників, біоіндикаційних даних та геоінформаційному моделюванні, що дозволило отримати об'єктивну картину екологічного стану річок громади.

Встановлено, що річкові екосистеми Жовківської громади зазнають значного антропогенного тиску, основними джерелами якого є скидання неочищених стічних вод від комунальних господарств та промислових підприємств, а також надходження забруднюючих речовин з сільськогосподарських угідь. Виявлено перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) ряду забруднюючих речовин, таких як нітрати, фосфати, важкі метали та органічні сполуки, що свідчить про високий рівень забруднення водних ресурсів.

Дослідження біорізноманіття річкових екосистем показало зменшення популяцій чутливих до забруднення видів риб та безхребетних, а також поширення інвазійних видів рослин, що свідчить про порушення екологічної рівноваги. Геоінформаційний аналіз дозволив картографувати зони екологічного ризику та визначити пріоритетні території для відновлення річкових екосистем.

Результати дослідження свідчать про необхідність вжиття термінових заходів для зменшення антропогенного тиску на річкові екосистеми Жовківської громади. Пропонується розробити та впровадити комплекс заходів, спрямованих на покращення очищення стічних вод, зменшення використання хімічних добрив та пестицидів у сільському господарстві, а також проведення екологічної освіти та виховання населення.

Практичне значення дослідження полягає у можливості використання отриманих результатів для розробки стратегій управління водними ресурсами та прийняття екологічно обґрунтованих рішень щодо розвитку промисловості та сільського господарства в регіоні. Результати дослідження також можуть бути використані для проведення екологічного моніторингу та оцінки ефективності заходів з відновлення річкових екосистем. *Ключові слова:* річкові екосистеми, Жовківська громада, Львівщина, антропогенний вплив, екологічний стан, гідрохімічний аналіз, біоіндикація, геоінформаційні системи, забруднення водних ресурсів, відновлення річкових екосистем.

State of river ecosystems of Zhovkva community in Lviv region. Holodovska O., Zaharko Ya., Popovych O.

This article presents the results of a comprehensive study on the state of river ecosystems in the Zhovkva community, Lviv region, which is an important element of the region's ecological structure. The aim of this work is to assess the current state of river ecosystems and identify the main factors of anthropogenic impact that lead to their degradation. The study is based on the analysis of hydrochemical indicators, bioindication data, and geoinformation modeling, which allowed for obtaining an objective picture of the ecological state of the community's rivers.

It was found that the river ecosystems of the Zhovkva community are under significant anthropogenic pressure, with the main sources being the discharge of untreated wastewater from municipal and industrial enterprises, as well as the inflow of pollutants from agricultural lands. Exceedances of the maximum permissible concentrations (MPC) of a number of pollutants, such as nitrates, phosphates, heavy metals, and organic compounds, were detected, indicating a high level of water resource pollution.

The study of the biodiversity of river ecosystems showed a decrease in the populations of pollution-sensitive fish and invertebrate species, as well as the spread of invasive plant species, indicating a disruption of ecological balance. Geoinformation analysis allowed for mapping areas of ecological risk and identifying priority areas for the restoration of river ecosystems.

The results of the study indicate the need for urgent measures to reduce anthropogenic pressure on the river ecosystems of the Zhovkva community. It is proposed to develop and implement a set of measures aimed at improving wastewater treatment, reducing the use of chemical fertilizers and pesticides in agriculture, as well as conducting environmental education and public awareness campaigns.

The practical significance of the study lies in the possibility of using the obtained results for the development of water resource management strategies and the adoption of environmentally sound decisions regarding the development of industry and agriculture in the region. The results of the study can also be used for environmental monitoring and evaluation of the effectiveness of river ecosystem restoration measures. *Key words:* river ecosystems, Zhovkva community, Lviv region, anthropogenic impact, ecological state, hydrochemical analysis, bioindication, geoinformation systems, water resource pollution, river ecosystem restoration.

Постановка проблеми. Річкові екосистеми відіграють ключову роль у підтримці біорізноманіття, водопостачанні та забезпеченні сталого розвитку

регіону. Їхні багатогранні екосистемні функції, включаючи регулювання водного режиму, природну фільтрацію забруднюючих речовин і збереження

різноманітного середовища для водних організмів, є критично важливими для екологічної стабільності [2, 3]. Однак, в умовах постійно зростаючого антропогенного тиску, зокрема через забруднення стічними водами, зміни гідрологічного режиму внаслідок гідротехнічного будівництва та інтенсивну деградацію прибережних зон, стан цих екосистем зазнає значного погіршення [4]. Це вимагає комплексного аналізу сучасного стану річкових екосистем Жовківської громади, що дозволить розробити ефективні стратегії їх збереження та відновлення, з урахуванням особливостей місцевого ландшафту та специфіки антропогенного впливу.

Актуальність дослідження. Проблема збереження річкових екосистем є надзвичайно актуальною, оскільки водні ресурси відіграють важливу роль у забезпеченні життєдіяльності населення, сільськогосподарської та промислової діяльності регіону. Річки є основою функціонування річкових басейнових систем, адже формують стік великих водотоків, є джерелом водопостачання для сільських регіонів та основою для біорізноманіття. Проте наявні екологічні проблеми, такі як недостатнє очищення води, забруднення промисловими і побутовими відходами, а також інтенсивне сільськогосподарське використання земель уздовж річок призводять до зниження якості води та втрати природної рівноваги екосистем, потребують детального дослідження [6]. Проведення комплексного дослідження стану річкових екосистем дозволить отримати об'єктивну інформацію про їхній стан, виявити основні проблеми та розробити ефективні заходи щодо їх вирішення.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження спрямоване на оцінку якості води, аналіз флори та фауни річкових екосистем Жовківської громади, визначення основних загроз та формулювання рекомендацій щодо їх охорони. Отримані результати можуть бути використані місцевими органами влади, екологічними організаціями та науковими установами для розробки стратегій екологічного менеджменту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика стану річкових екосистем активно вивчається як вітчизняними, так і зарубіжними науковцями. Зокрема, дослідження присвячені питанням забруднення водних ресурсів, впливу кліматичних змін, заходам з відновлення річкових ландшафтів [3,6]. Окремі праці присвячені аналізу екологічного моніторингу та використанню біоіндикаторів у визначенні рівня забруднення води [7]. У дослідженні «Концептуальні основи реабілітації водних об'єктів басейну річки Прип'ять та Шацького національного природного парку» розглядається зниження видового різноманіття та продуктивності аборигенних видів риб у річках Західного Полісся [8]. Основні причини цього явища включають осушення боліт, регулювання та спрямлення русел

річок, перевилів риби та аварійні скиди стічних вод. Для відновлення іхтіофауни та підвищення стійкості екосистем автори пропонують реалізацію світової стратегії охорони природи, зокрема збереження природних місць відтворення видового різноманіття та покращення якості води.

Сучасні наукові публікації підкреслюють критичний стан річкових екосистем України, спричинений антропогенними факторами, та наголошують на необхідності впровадження комплексних заходів для їх відновлення та збереження біорізноманіття.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Аналіз існуючих досліджень щодо річкових екосистем України показує, що значна частина уваги приділялася питанням забруднення вод, зміні біорізноманіття та впливу антропогенного навантаження. Однак, певні питання локального моніторингу річок Жовківської громади залишається недостатньо вивченим. Особливо актуальним є питання оцінки впливу місцевих джерел забруднення та визначення ефективних заходів для зменшення негативного впливу на екосистеми.

Новизна. Дослідження полягає у комплексному підході до оцінки стану річкових екосистем Жовківської громади з використанням сучасних методів дослідження та урахуванням специфіки регіону.

Методологічне або загальнонаукове значення. Результати дослідження можуть бути використані для розробки методичних підходів до оцінки та моніторингу стану річок в інших регіонах України, а також для впровадження заходів з відновлення та збереження річкових екосистем.

Виклад основного матеріалу. Річкова мережа Жовківщини є невід'ємною частиною гідрографічної системи басейну Західного Бугу, однієї з найбільших річок Західної України. Цей басейн характеризується розгалуженою мережею водотоків, які відіграють важливу роль у формуванні місцевого ландшафту та екосистеми. Проте останніми роками спостерігається значний вплив антропогенних факторів, зокрема сільськогосподарської та промислової діяльності, що призводить до забруднення води та деградації екосистем.

Основними водними артеріями є річки: Рата, Свиня, Біла, Думний Потік, Деревенка, Мошанка, Желдець. Окрім річок, на території Жовківщини розташовано багато ставків. Вони є важливими елементами місцевого ландшафту та відіграють значну роль у житті громади. Ставки виконують різні функції:

- Регулювання водного режиму.
- Підтримання біорізноманіття.
- Місця для риболовлі.
- Місця масового відпочинку населення району.

Значні площі ставків розташовані біля таких населених пунктів: сіл Великі Грибовичі, Блищиводи,

Крехів, Цитуля, Нова Скварява, Любеля, Потелич, Зашків, Зіболки.

В ході дослідження проведено відбір проб води та аналіз її якості, здійснено моніторинг стану берегових зон, а також проаналізовано динаміку змін екосистем. Загальна характеристика річок області представлена у таблиці 1.

Поверхневі води на даний час продовжують належати до числа забруднених природних ресурсів. На екологічний стан поверхневих вод впливають різноманітні фактори, які тісно пов'язані, а саме: забруднення ґрунтів, атмосфери, зміна ландшафтною структури та техногенне перевантаження території, неефективна робота каналізаційно-очисних споруд, не винесення в натуру і картографічних матеріалів прибережних захисних смуг і водоохоронних зон, а також їх недодержання, насамперед в населених пунктах.

Екологічний стан річок Жовківської громади

Моніторинг якості поверхневих вод у межах Жовківської громади, яка входить до басейну річки Західний Буг, здійснюється трьома основними структурами:

- Державною екологічною інспекцією у Львівській області;
- Львівським обласним виробничим управлінням водного господарства;
- Обласною санітарно-епідеміологічною станцією.

Річка Рата

Одна з основних річок громади – Рата, ліва притока Західного Бугу.

- У межах міста Рава-Руська (04.07.2024 р.) було зафіксовано перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) для водойм рибогосподарського призначення: фосфати – 7,24 ГДК, залізо загальне – 4,3 ГДК, СПАР – 3,93 ГДК.

- За інформацією санітарної служби, у пробі, відібраній 0,5 км нижче міста, всі показники залишались у межах нормативів.

- У с. Волиця в лютому та квітні 2024 р. зафіксовано перевищення по залізу (1,3–5 ГДК), фосфатах (1,12–1,41 ГДК) та сульфатах (1,05 ГДК).

Річка Деревенка

У межах населених пунктів, через які протікає р. Деревенка (притока Рати), зафіксовані перевищення показників для водойм рибогосподарського призначення, хоча конкретні значення не уточнено.

Річка Думний потік

- У травні 2024 р. (Держекоінспекція) виявлено значні перевищення: іони амонію – 4,88 ГДК, нітриту – 12,5 ГДК, фосфати – 15,88 ГДК, залізо – 3 ГДК.
- Львівське управління водного господарства у лютому та квітні зафіксувало перевищення по залізу (до 3 ГДК), фосфатах (до 2,35 ГДК), нітритах і сульфатах.

- Водночас СЕС у I півріччі 2024 року зафіксувала відповідність показників затвердженим нормам.

Річка Свиня

- У межах м. Жовква (травень 2024 р.) виявлено суттєві перевищення: амоній – до 14,28 ГДК, фосфати – до 18,82 ГДК, залізо – до 9,5 ГДК.

- Інші дослідження виявили також підвищення рівня нітритів, сульфатів, СПАР та загального фосфору (до 3,77 ГДК).

- СЕС підтвердила локальні перевищення фосфору вище та нижче міста.

Річка Біла

- У травні 2024 року зафіксовано наднормативні концентрації амонію (до 13,2 ГДК), нітритів (до 4,5 ГДК), фосфатів (до 19,95 ГДК) та заліза.

- У другому півріччі, згідно з даними СЕС, якість води відповідала нормам.

Таблиця 1

Характеристика річок на території Жовківської громади

Назва річки	Протяжність по території регіону, км	Річковий басейн, до якого відноситься річка	Кількість населених пунктів вздовж берегової смуги, од.	Кількість гребель (водосховищ), од	Кількість трубопроводів, що проходять через річку, од.				Кількість напірних каналізаційних колекторів, що перетинають водний об'єкт, од
					газо -	нафто -	аміако -	продукто -	
Рата	68	Зх. Буг	12	1	1	-	-	-	-
Свиня	44	Зх. Буг	7	-	1	-	-	-	1
Біла	40	Зх. Буг	5	-	1	-	-	-	-
Думний потік	57,6	Зх. Буг	11	-	-	-	-	-	-
Деревенка	36	Зх. Буг	5	-	1	-	-	-	-
Мощанка	36	Зх. Буг	4	-	-	-	-	-	-
Желдець	43	Зх. Буг	11	-	1	-	-	-	-

Спостереження за поверхневими водами

№ п/п	Басейн	Річка	К-ть відібраних проб	% від усіх проб в межах басейну	Кількість компоненто визначень	Кількість проб з перевищеннями ГДК	% від загальної кількості перевищень
1.	Західний Буг	Рата	12	37,50	303	12	37,5
2.		Свиня	6	18,75	174	6	18,8
3.		Біла	4	12,50	98	4	12,5
4.		Думний потік	2	6,25	56	2	6,3
5.		Деревенка	3	9,38	72	3	9,4
6.		Мошанка	3	9,38	72	3	9,4
7.		Желдець	1	3,13	20	1	3,1
Всього			31	96,89	795	31	97

Річка Мошанка

• За результатами спостережень (квітень–липень 2024 р.) встановлено перевищення по фосфатах (до 6,47 ГДК), залізу (до 3,1 ГДК) та сульфатах.

• СЕС у II кварталі підтвердила перевищення ГДК по залізу (3 ГДК).

Річка Желдець

• У першій половині 2024 року виявлено перевищення по сульфатах (1,1 ГДК), амонію (1,56 ГДК), фосфатах (до 14,71 ГДК), СПАР (12,5 ГДК) та залізу (3,4 ГДК).

• Санітарно-епідеміологічна служба також відзначила підвищення рівня фосфатів – 5,29 ГДК.

У 2024 році екологічними службами було відібрано 31 пробу води в річках Жовківської громади. Загалом здійснено 795 визначень окремих компонентів, з яких у 4,4 % випадків зафіксовано перевищення гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин. Найчастіше виявлялись перевищення по фосфатах, іонах амонію, нітритах, залізу загальному, СПАР і сульфатах. Це свідчить про стійке антропогенне навантаження на водні об'єкти регіону та необхідність впровадження системного моніторингу та природоохоронних заходів. Детальна інформація подана у таблиці 2.

Головні висновки. Аналіз результатів моніторингу поверхневих вод Жовківської громади у 2024 році дозволяє зробити наступні головні висновки:

1. Стан річкових екосистем Жовківської громади є переважно незадовільним, що пов'язано із зростаючим антропогенним навантаженням: несанкціоновані скиди стічних вод, інтенсивне сільськогосподарське використання земель, а також порушення природних русел.

2. Найбільш уразливими є річки Свиня, Рата та Мошанка, які характеризуються зниженим рівнем кисню, підвищеною концентрацією біогенних речовин (нітратів, фосфатів) та органічних забруднювачів.

3. Виявлено деградацію прибережно-водної рослинності, що свідчить про послаблення самоочисної здатності річкових систем, а також скорочення чисельності видів, чутливих до забруднення.

4. Існує нагальна потреба у впровадженні інтегрованого підходу до управління водними ресурсами, з урахуванням екологічної, соціальної та економічної складової розвитку громади.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження екологічного стану річок Жовківської громади у 2024 році мають важливе практичне значення та можуть бути використані для:

1. Результати можуть стати основою для створення локальної програми моніторингу та охорони водних об'єктів Жовківської громади, із залученням науковців, місцевої влади та громадськості.

2. Отримані дані можуть бути використані при плануванні територіального розвитку, зокрема при ухваленні рішень щодо розміщення об'єктів інфраструктури, господарської діяльності та рекреаційних зон.

3. Наукові висновки мають потенціал до впровадження в освітні програми місцевих шкіл, як приклад дослідження локального екологічного середовища, що підвищить екологічну свідомість молоді.

4. Розроблені рекомендації щодо збереження та відновлення річок можуть бути інтегровані у стратегії адаптації до змін клімату, які набувають актуальності в контексті глобального потепління та зміни гідрологічного режиму.

Література

1. Голодовська О. Я., Ріпак Н. С., Мальований М. С. Вплив недостатньо очищених на каналізаційних очисних спорудах Львова стоків на якість води Західного Бугу. *Водопостачання та водовідведення: проектування, будова, експлуатація, моніторинг* : матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф. 18–19 жовтня 2017 р. Львів : НУЛП. 2017. С. 72–74.

2. Дзюбенко О.В. Біоіндикаційні дослідження водних екосистем у межах міста Переяслав. *Екологічні науки*. 2021. № 7(34). С. 40–45. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.4-37.5>
3. Басейнове управління річок Західного Бугу та Сяну. Веб-сайт. URL: <https://buvrzbts.davr.gov.ua/>
4. Караїм О., Ахнюк М., Лавринюк З., Джам О., Гулай Л. Гідрохімічний аналіз поверхневих вод в аспекті управління водними ресурсами річки Жидувка. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2022. № 1. С. 10–17. DOI: <https://doi.org/10.32782/pesd-2022-1-2>
5. Скок С.В. Біоіндикаційні методи оцінки рівня забруднення водних екосистем. *Водні біоресурси та аквакультура*. 2022. № 1. С. 131–143. DOI: <https://doi.org/10.32851/wba.2022.1.11>
6. Яцик А.В., Пашенюк І.А., Гопчак І.В., Басюк Т.О. Екологічна оцінка сучасного стану якості води річки Луга. *Вісник сільськогосподарської науки*. 2019 № 2. С. 61–65. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201902-08>
7. Вембер В. В., Глушко О. В., Лавриненко О. М., Існюк С. Ю. Використання біохімічних показників в процесі екологічного моніторингу поверхневих вод. *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження»*. 2023. № 4 (22). С. 49–55. DOI: 10.20535/2617-9741.4.2023.294327
8. Гриб Й. В., Куньчик Т. М., Войтишина Д. Й., Михальчук М. А. Концептуальні основи реабілітації водних об'єктів басейну річки Прип'ять та Шацького національного природного парку. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Сер.: Сільськогосподарські науки*. 2016. Вип. 1. С. 130–142. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vnuvgr_sg_2016_1_18.

ВИЗНАЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ КАВІТАЦІЙНИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД

Іващенко Т.Г.¹, Зудіков А.О.², Зудіков О.Б.³

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

²Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
пр. Дмитра Яворницького, 19, 49005, м. Дніпро

³ТОВ «ІнЕкоТех України»
вул. Смоленська, 72, 52001, м. Підгородне
ema.dea@ukr.net

Розглянуті особливості застосування кавітаційних установок для очищення стічних вод. Кавітація є ефективним методом, що дозволяє значно підвищити якість очищення води завдяки утворенню мікрочастинок, які руйнують забруднювачі. Досліджені різні типи кавітаційних установок, включаючи гідродинамічні та ультразвукові системи, та їх вплив на ефективність очищення.

Забруднення навколишнього середовища стічними водами є глобальною проблемою, що вимагає ефективних та екологічно чистих методів очищення. Традиційні методи очищення, такі як біологічне очищення та хімічна обробка, часто мають обмеження щодо ефективності, вартості та впливу на навколишнє середовище. Тому виникає потреба у розробці нових, більш ефективних та екологічно безпечних технологій очищення стічних вод. Кавітаційні технології, засновані на явищі утворення та колапсу кавітаційних бульбашок у рідині, демонструють високий потенціал для ефективного видалення органічних та неорганічних забруднювачів.

Основна увага приділена аналізу фізико-хімічних процесів, що відбуваються під час кавітації, показникам та їх впливу на різні типи забруднювачів, включаючи органічні та неорганічні сполуки. Проведено порівняння ефективності кавітаційного очищення з традиційними методами, такими як коагуляція, флоатція та біологічне очищення.

Експериментальні дослідження показали, що кавітаційні установки можуть значно знизити концентрацію забруднювачів у стічних водах, зокрема важких металів, нафтопродуктів та органічних сполук. Виявлено, що оптимізація параметрів кавітації, таких як тиск, частота та інтенсивність, дозволяє досягти максимального ефекту очищення.

Результати дослідження свідчать про ефективність та перспективність застосування кавітаційних установок для очищення стічних вод, що може сприяти покращенню екологічної ситуації та зниженню негативного впливу промислових стічних вод та відходів на навколишнє середовище. *Ключові слова:* кавітація, очищення стічних вод, екологічно чисті технології, ефективність, економічна доцільність, параметри процесу, екологічна безпека.

Determining the features of the use of cavitation plants for industrial wastewater treatment. Ivashchenko T., Zudikov A., Zudikov O.

Environmental pollution by wastewater is a global problem that requires effective and environmentally friendly treatment methods. Traditional treatment methods, such as biological treatment and chemical processing, often have limitations in terms of efficiency, cost, and environmental impact. Therefore, there is a need to develop new, more efficient, and environmentally safe wastewater treatment technologies. Cavitation technologies, based on the phenomenon of the formation and collapse of cavitation bubbles in a liquid, show high potential for the effective removal of organic and inorganic pollutants.

This article examines the features of using cavitation installations for wastewater treatment. Cavitation is an effective method that significantly improves water treatment quality by generating micro-particles that destroy pollutants. Various types of cavitation installations, including hydrodynamic and ultrasonic systems, and their impact on treatment efficiency are investigated.

The main focus is on analyzing the physicochemical processes occurring during cavitation and their impact on different types of pollutants, including organic and inorganic compounds. The efficiency of cavitation treatment is compared with traditional methods such as coagulation, flotation, and biological treatment.

Experimental studies have shown that cavitation installations can significantly reduce the concentration of pollutants in wastewater, including heavy metals, petroleum products, and organic compounds. It has been found that optimizing cavitation parameters, such as pressure, frequency, and intensity, allows achieving maximum treatment efficiency.

The article also discusses the economic aspects of using cavitation installations, including installation and operating costs, as well as potential advantages compared to other treatment methods. Recommendations for the industrial-scale implementation of cavitation technologies and prospects for further research in this field are proposed.

The research results indicate the effectiveness and prospects of using cavitation installations for wastewater treatment, which can contribute to improving the environmental situation and reducing the negative impact of industrial waste on the environment. *Key words:* cavitation, wastewater treatment, environmentally friendly technologies, efficiency, economic feasibility, cavitation parameters.

Постановка проблеми. Забруднення довкілля промисловими стічними водами є глобальною проблемою, що вимагає ефективних та екологічно чистих методів очищення їх. Традиційні методи, такі як біологічне очищення та хімічна обробка, часто мають обмеження щодо ефективності, вартості та впливу на навколишнє середовище. Унаслідок деградації природних водних ресурсів зростає необхідність застосування високотехнологічних методів очищення води перед її використанням у промислових процесах. Недостатнє очищення стічних вод призводить до забруднення водойм, що викликає серйозні екологічні проблеми, такі як накопичення небезпечних речовин (свинцю, кадмію, хрому, тощо) у воді.

Внаслідок військових дій в Україні, багато енергооб'єктів і водозабірних систем зазнали руйнувань, що ускладнює процес очищення стічних вод. Процес потребує впровадження сучасних технологій і спеціальних очисних споруд, які здатні ефективно видаляти забруднюючі домішки. Нехтування проблемою очищення стічних вод може призвести до економічних втрат, пов'язаних із лікуванням захворювань, викликаних забрудненою водою, а також до зниження якості життя населення. Це особливо важливо в умовах, коли доступ до чистої води стає обмеженим.

Ці фактори підкреслюють, що очищення промислових стічних вод є не лише екологічною, але й соціальною та економічною проблемою, яка потребує термінового вирішення [1].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Метою даного дослідження є встановлення основних закономірностей впливу параметрів кавітаційної обробки на процес очищення стічних вод та розробка рекомендацій щодо оптимізації цих параметрів для досягнення максимального ефекту очищення. Кавітаційні технології, засновані на явищі утворення та колапсу кавітаційних бульбашок у рідині, демонструють високий потенціал для ефективного видалення органічних та неорганічних забруднювачів. Дослідження спрямоване на визначення оптимальних умов експлуатації кавітаційних установок для мінімізації ризиків та підвищення ефективності процесу очищення стічних вод.

Важливим є те, що використання кавітаційних установок може зменшити потребу в хімічних реагентах, що позитивно впливає на екологічну безпеку.

Постійно розвиваються нові технології, які покращують ефективність кавітаційних установок, що робить їх ще більш привабливими для впровадження.

Вивчення сучасних досліджень та розробок в галузі кавітаційного очищення стічних вод. Огляд досліджень показує, що кавітаційні технології активно досліджуються та застосовуються для очищення стічних вод у різних галузях промисловості.

Кавітаційного пристрої використовуються для знезаражування, очищення стічних вод та осадів комунальних і промислових підприємств, тваринницьких комплексів, а також для зниження концентрації патогенних флори і фауни в рідких середовищах і розчинах, також можуть бути застосовані в очисних спорудах, в системах водопідготовки та для пастеризації рідких продуктів.

Дослідження показали, що кавітація ефективно руйнує органічні забруднення у стічних водах пивоварної промисловості, побутових стоках [7-9, 11]. Інші дослідження зосереджені на розробці кавітаційно-флотаційних процесів для очищення стічних вод, що дозволяє знизити витрати на обслуговування та підвищити ефективність очищення [2, 3, 5, 6]. Дослідження також показують, що параметри процесу, такі як температура, тиск та швидкість потоку, мають значний вплив на ефективність кавітаційного очищення [4, 10, 12, 13]. Наприклад, підвищення температури та тиску може збільшити ризик виникнення кавітації, тоді як збільшення швидкості потоку може сприяти зниженню цього ризику.

Таким чином, огляд літератури свідчить про важливість подальших досліджень у галузі кавітаційного очищення стічних вод та встановлення показників ризиків для забезпечення ефективної та безпечної експлуатації обладнання.

Методологічне або загальнонаукове значення: теоретичні основи кавітаційних процесів. Кавітація є фізичним явищем, що виникає в рідині при швидкому зниженні тиску, що призводить до утворення та подальшого руйнування бульбашок газу або пари. Це явище має і позитивні і негативні наслідки для обладнання [6].

Існує кілька типів кавітаційних установок, які використовуються для очищення стічних вод.

Гідродинамічні кавітаційні установки використовують швидке зниження тиску в рідині для утворення кавітаційних бульбашок. Ці установки часто використовуються для руйнування органічних забруднень та знезараження води (рис. 1, 2), наприклад гідродинамічний кавітаційний реактор КР-300 [14].

Ультразвукові кавітаційні установки використовують високочастотні звукові хвилі для утворення кавітаційних бульбашок, ефективні для видалення органічних та неорганічних забруднень, а також для знезараження води [15].

Кавітаційно-флотаційні установки поєднують процеси кавітації та флотації для ефективного видалення забруднень. Ці установки дозволяють знизити витрати на обслуговування та підвищити ефективність очищення [15].

Термодинамічні кавітаційні установки використовують термодинамічні ефекти для утворення кавітаційних бульбашок. Ці установки можуть бути ефективними для очищення води від специфічних забруднень, таких як важкі метали [15].

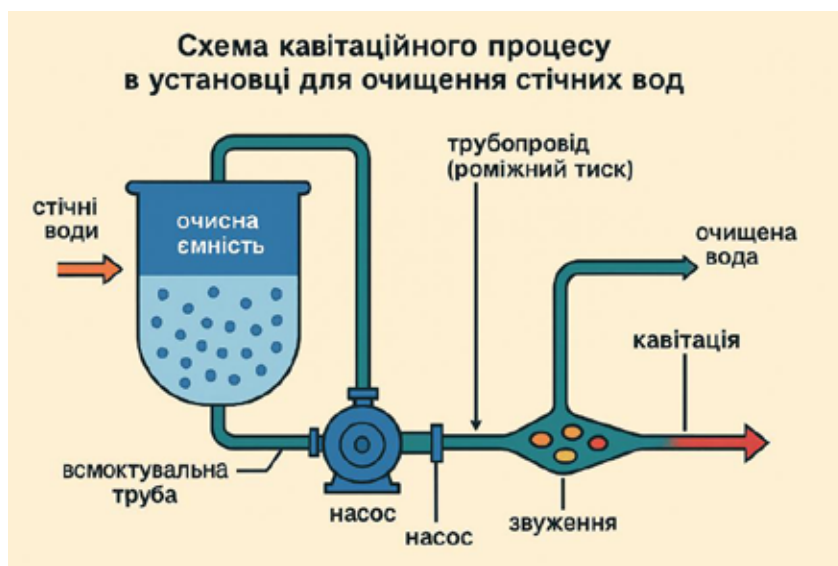


Рис. 1. Детальна схема кавітаційного процесу в установці для очищення стічних вод з позначками до елементів

1. Вода до очищення. Потік стічної води, яка надходить в систему для очищення.
2. Насос високого тиску. Насос, який забезпечує необхідний тиск для процесу кавітації.
3. Кавітаційна камера. Місце, де відбувається процес кавітації.
4. Очищена вода. Потік води після очищення, яка виходить із системи.

Основний компонент – **кавітаційна камера**, де відбувається процес кавітації. Вода проходить через цю камеру, де створюються бульбашки кавітації, які руйнують забруднення. Наприклад, кавітаційний реактор КР-300 (рис. 2) [14].

Основні принципи кавітації включають зниження тиску (кавітація виникає, коли тиск рідини знижується нижче її парціального тиску), утворення бульбашок (при зниженні тиску в рідині утворюються бульбашки, які можуть швидко зростати і зникати), вивільнення енергії (коли бульбашки колапсують, це призводить до вивільнення великої кількості енергії, що може викликати руйнування матеріалів) [7].

Знезаражувальний ефект кавітації в обладнанні КР-300 базується на процесах, що виникають у турбулентному русі рідини [14]. Під час кавітаційних течій у рідині генеруються інтенсивні гідродинамічні коливання, які зумовлені утворенням і зникненням кавітаційних бульбашок. Такі коливання сприяють фазовим переходам у мікрооб'ємах рідини, при цьому за мікросекундні проміжки часу температура локально може сягати кількох тисяч градусів, а тиск – підніматися до сотень атмосфер. Додатково, у процесі формування й руйнування кавітаційних бульбашок у малих газонаповнених порожнинах створюються умови для виникнення ультразвукових хвиль, електричних зарядів, а також електричних і магнітних полів. Унаслідок цього кавітаційно оброблена рідина зазнає одночасного термобаричного, ультразвукового та електромагнітного впливу. Для мікроорганізмів особливо небезпечним є поєднання механічного руйнування з електромагнітним впливом, оскільки індуковані електричні потенціали

можуть пробивати їхні клітинні оболонки та мембрани. Кавітація має кілька недоліків, які варто враховувати:

1. Пошкодження обладнання: кавітаційні бульбашки можуть створювати високі тиски та температури, що призводить до ерозії та пошкодження поверхонь обладнання.
2. Енерговитрати: процеси кавітації потребують значної кількості енергії, що може збільшувати витрати на експлуатацію.
3. Обмежена ефективність: кавітація може бути менш ефективною при високих концентраціях забруднень або при певних типах забруднень, таких як тверді частинки.
4. Шум: ультразвукові кавітаційні установки можуть створювати високий рівень шуму, що може бути неприємним для операторів та потребувати додаткових заходів для зниження шуму.

Кожен тип кавітаційних установок має відповідні переваги і недоліки, тому вибір конкретного типу залежить від характеру забруднень та умов експлуатації (табл. 1).

Гідродинамічні установки складаються з роторного реактора, системи подачі стічних вод, датчиків температури, тиску та швидкості потоку. Ультразвукові установки використовують високочастотні звукові хвилі для утворення кавітаційних бульбашок та включають ультразвуковий генератор, камеру для обробки води та датчики для контролю параметрів [16].

Розроблений пристрій (рис. 3) для знезараження та очищення стічних вод складається з елементів, розміщених на спільній несучій рамі. До його складу входять: подавальний або відвідний насос із привод-

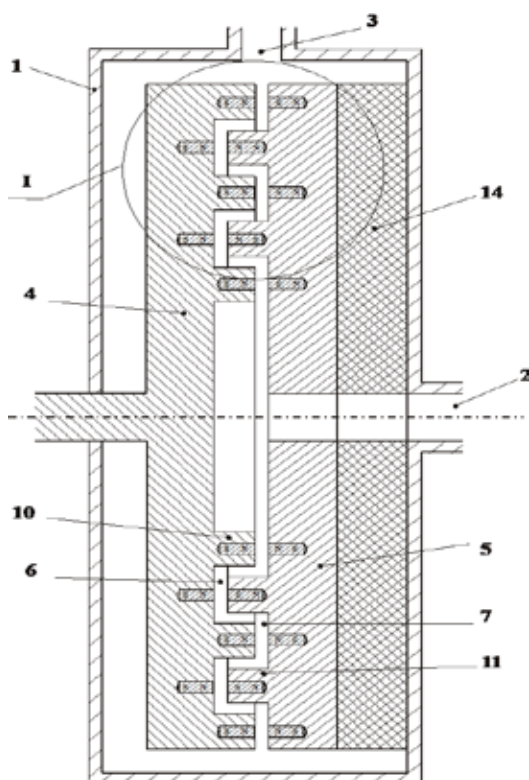


Рис. 2. Загальний вигляд пристрою для знезаражування та очищення стічних вод

1 – корпус; 2 – вхідний отвір; 3 – вихідний отвір; 4 – ротор; 5 – статор; 6 – кругові пази ротору; 7 – кругові пази статору; 8 – радіальна канавка ротору; 9 – радіальна канавка статору; 10 – виступи ротору; 11 – виступи на статорі; 12 – отвори для монтажу магнітів; 13 – магніти; 14 – ізолятор.

ним електродвигуном, пульт автоматичного керування та кавітаційний реактор, обладнаний власним електродвигуном. Реактор має корпус з вхідним та вихідним отворами для переміщення рідини. У середині корпусу розташовані ротор і статор у вигляді дисків, на яких виконані радіальні канавки, кругові пази й виступи, причому статор електрично ізолюваний від корпусу. У роторі та статорі також передбачені технологічні отвори, в які вмонтовано постійні магніти.

Особливістю обладнання є специфічне розташування магнітів у роторі та статорі: якщо в одній із цих парних частин (роторі або статорі) всі магніти орієнтовані однойменними полюсами в одному напрямку, то в іншій частині (відповідно, статорі або роторі) магніти розміщені з чергуванням – через один, чергуючи полюси однакової та протилежної полярності відносно полюсів магнітів першої частини. А також у вхідному отворі корпусу вмонтовані автоматичні електрохімічні датчики, в корпус пристрою вмонтовані вібродатчики, що фіксують показники вібрації у трьох площинах, що забезпечує підвищений рівень екологічної безпеки та знижує ризики. Всі датчики приєднані до пульта автоматичного регулювання, а в сам пульт автоматичного регулювання вмонтований програмно-апаратний комплекс із штучним інтелектом.

Знезаражування кавітаційним методом здійснюється за проточною схемою, тобто не потребує проміжних контактних посудин (резервуарів).

Кавітаційні процеси мають ряд фізико-хімічних властивостей, які впливають на їх ефективність це:

- температура (висока температура може зменшити в'язкість рідини, що сприяє кавітації);
- склад рідини (наявність домішок або газів може впливати на процеси кавітації);
- тиск (зміни тиску в системі можуть суттєво впливати на інтенсивність кавітаційних явищ) (табл. 2).

Для проведення експериментів з кавітаційного очищення стічних вод використовувалися статистичні дані з різних типів кавітаційних установок, включаючи гідродинамічні та ультразвукові системи, а також дані з авторської розробки – гідродинамічного кавітаційного реактору КР-300.

Залежність тиску та інтенсивності кавітації від часу дає розуміння та можливість контролю цього процесу в інженерних системах, таких як гідравлічні машини, гвинтові насоси тощо (рис. 4).

Саме зміна тиску з часом визначає утворення та колапс кавітаційних бульбашок. Чим швидше змінюється тиск, тим інтенсивніша кавітація. Це пов'язано з тим, що бульбашки не встигають повністю роз-

Таблиця 1

Порівняння різних типів кавітаційних установок для очищення стічних вод (розроблено автором)

Тип кавітаційної установки	Переваги	Недоліки	Основні параметри
Установки з гідродинамічною кавітацією	Висока ефективність при обробці органічних забруднень	Потрібна висока енергія для підтримки процесу	Потужність, температура, тиск
Установки з акустичною кавітацією	Низьке енергоспоживання, хороша для малих обсягів води	Обмежена ефективність при високих концентраціях забруднень	Частота, інтенсивність звуку
Установки з вакуумною кавітацією	Широке застосування в промисловості, висока ефективність	Високі вимоги до технологічного процесу	Тиск, швидкість потоку, температура



Рис. 3. Гідродинамічний кавітаційний реактор КР-300 [17]

Таблиця 2

Порівняння ефективності очищення стічних вод за різними параметрами (розроблено авторами)

Параметр	Гідродинамічна кавітація	Акустична кавітація	Вакуумна кавітація
рН води	6-8	5-9	6-9
Температура	40-80°C	20-60°C	30-70°C
Енергоспоживання	Високе	Низьке	Середнє
Час очищення	10-30 хвилин	5-15 хвилин	20-40 хвилин

ширитися або стиснутися, що призводить до більш енергійних колапсів.

Чим довше тиск залишається нижчим за тиск насичення, тим більше бульбашок може утворитися, що призводить до посилення кавітації.

Якщо зміна тиску має періодичний характер, то кавітація також буде періодичною, що може призвести до накопичення зносу на поверхнях.

Отже інтенсивність кавітації нелінійно залежить від тиску: вона максимальна в момент найменшого тиску, коли формуються та руйнуються бульбашки.

Методика проведення експериментів.

Експерименти проводилися в контрольованих умовах лабораторії для забезпечення точності вимірювань та повторюваності результатів. Умови експерименту включали зміну температури, тиску та швидкості потоку стічних вод для визначення їх впливу на процес кавітації. Температура варіювалася від 20°C до 60°C, тиск – від 1 до 3 бар, а швидкість потоку – від 1 до 5 м/с.

Для вимірювання показників технологічного процесу та екологічної безпеки використовувалися датчики температури, тиску та швидкості потоку, що були встановлені на вході та виході кавітаційного реактора. Дані з датчиків збиралися та оброблялися за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, що дозволяло аналізувати залежності між

різними параметрами та оцінювати ризики виникнення кавітації.

Для обробки отриманих даних використовувалися статистичні методи, такі як описова статистика, регресійний аналіз та кореляційний аналіз.

Описова статистика дозволила визначити середні значення, стандартні відхилення та інші характеристики розподілу даних. Регресійний аналіз використовувався для встановлення математичних моделей залежностей між параметрами, а кореляційний аналіз – для визначення взаємозв'язків між показниками.

Дані оброблялися за допомогою програмного забезпечення, такого як Excel та спеціалізовані статистичні пакети, що дозволяли проводити комплексний аналіз та візуалізацію результатів у вигляді таблиць та графіків.

Це дозволило наочно продемонструвати залежності між параметрами та зробити висновки щодо оптимальних умов експлуатації кавітаційного обладнання.

Результати та обговорення. Кавітаційні технології демонструють високу ефективність у видаленні органічних та неорганічних забруднювачів зі стічних вод. Гідродинамічна кавітація, зокрема, є ефективним методом очищення, що дозволяє руйнувати бактерії та органічні речовини завдяки термічним, меха-

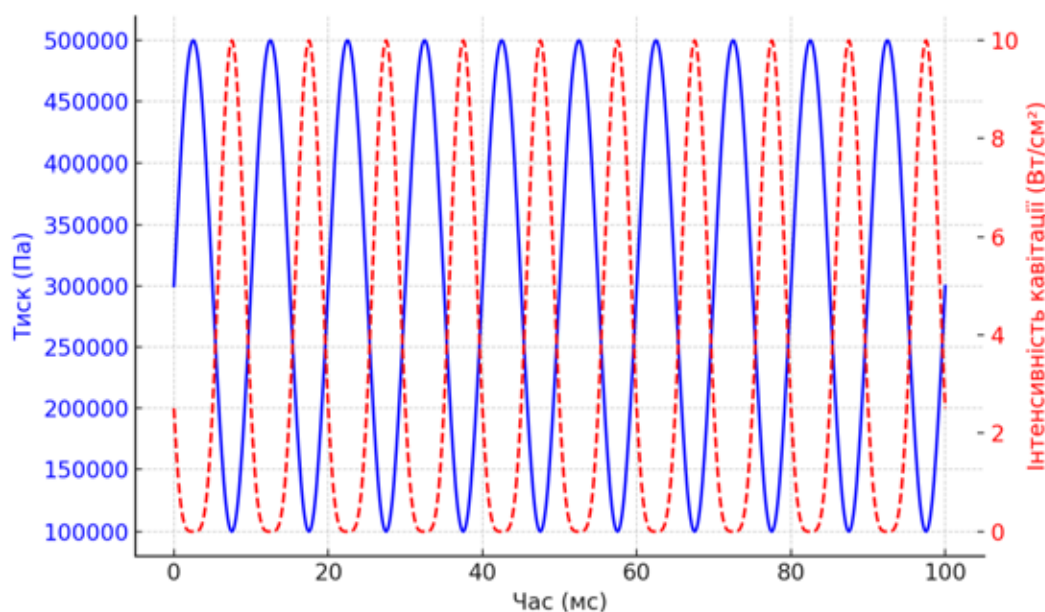


Рис. 4. Графік залежності тиску від інтенсивності кавітації та часу: синя крива – зміна тиску в кавітаційному реакторі (гармонічні коливання); червона штрихова крива – інтенсивність кавітації, яка різко зростає, коли тиск знижується

нічним та хімічним ефектам. Дослідження показали, що кавітаційні установки можуть значно знизити концентрацію важких металів, нафтопродуктів та органічних сполук у стічних водах.

Основні результати досліджень показують:

- Кавітація може знижувати концентрацію забруднюючих речовин, таких як феноли та інші токсини, на 70-90%.

- Процес очищення відбувається швидше в порівнянні з традиційними методами, такими як біологічне очищення.

- Використання кавітаційних установок може бути економічно вигідним, особливо в умовах високих рівнів забруднення (табл. 3).

У разі монолітної конструкції ротора і статора відсутня можливість змінювати (регулювати) вплив електромагнітного поля на оброблювану рідину. Це зумовлено тим, що спроба регулювання електромагнітного поля шляхом зміни швидкості обертання ротора призводить до ризику зникнення ефекту кавітації при певному зниженні обертів. Велика кількість магнітів в роторі і статорі (особливо при використанні потужних неодимових маг-

нітів), які були спряжені полюсами протилежного значення, створила таку велику силу тяжіння N між ротором і статором (нормальну до їх торцевих поверхонь), що повністю притягнула статор до ротора, таким чином виникла сила тертя покою між двома поверхнями до початку ковзання, вона визначається як добуток коефіцієнта тертя спокою і нормальної сили $F_r = \mu_s N$, при цьому коефіцієнт тертя μ_s був максимально оптимізований, потрібно було вирішувати яким чином зменшити значення сили тяжіння N без зменшення незаражувальної електромагнітної дії на рідину.

Підвищення температури та тиску збільшує інтенсивність кавітації, що сприяє більш ефективному руйнуванню забруднювачів, з іншого боку, збільшення швидкості потоку може знизити ризик виникнення кавітації та покращити ефективність очищення (табл. 4).

Зниження тиску нижче парціального тиску рідини є критично важливим для утворення кавітаційних бульбашок. Вища частота може призводити до більш інтенсивного утворення бульбашок, що покращує процес очищення. Використання різних

Таблиця 3

Аналіз економічної ефективності використання кавітаційних установок (розроблено автором)

Тип установки	Початкові витрати на установку	Витрати на енергію (кВт/год)	Економія в порівнянні з іншими методами
Гідродинамічна	Високі	Високі	Середня
Акустична	Середні	Низькі	Висока
Вакуумна	Високі	Середні	Середня

Таблиця 4

Вплив параметрів кавітації на ефективність очищення (розроблено автором)

Параметр	Значення	Ефективність очищення
Температура (°C)	20-60	Висока
Тиск (бар)	1-3	Висока
Швидкість потоку (м/с)	1-5	Середня

Таблиця 5

Порівняння ефективності різних методів очищення (розроблено автором)

Метод очищення	Ефективність видалення органічних забруднювачів	Ефективність видалення неорганічних забруднювачів
Кавітація	Висока	Висока
Коагуляція	Середня	Низька
Флотація	Середня	Середня
Біологічне очищення	Низька	Низька

газів (наприклад, азоту або гелію) може впливати на ефективність дезінфекції.

Крім того при використанні пристрою на очистних спорудах машинобудівних і гірничих підприємств, особливо де дуже часто змінюється склад забруднень, стає проблема оперативної зміни параметрів роботи пристрою (вибір обертів ротору, склад реагентів, що додають на вході до реактору, тощо).

Також важливим моментом є потреба швидкої зупинки пристрою в випадках виникнення динамічних навантажень в наслідок дисбалансів, що викликані зносом статора. Таким чином устаткування потребує дуже освіченого персоналу (велика собівартість роботи), присутній великий ризик виходу із ладу пристрою з людського фактору.

Крім того, кавітаційні установки можуть бути використані в комбінації з іншими методами, що дозволяє досягти синергетичного ефекту та підвищити ефективність очищення (табл. 5).

Таким чином, кавітаційні технології є перспективним методом очищення стічних вод, що дозволяє досягти високої ефективності та знизити негативний вплив на навколишнє середовище

Висновки. Кавітаційні технології демонструють високу ефективність у видаленні органічних та неорганічних забруднювачів зі стічних вод. Гідродинамічна та ультразвукова кавітація дозволяють значно знизити концентрацію важких металів, нафтопродуктів та органічних сполук. Вони здатні знижувати концентрацію органічних забруднювачів, таких як феноли, на 70-90%.

Параметри кавітації, такі як температура, тиск та швидкість потоку, мають значний вплив на ефективність процесу очищення. Підвищення температури

та тиску збільшує інтенсивність кавітації, що сприяє більш ефективному руйнуванню забруднювачів. Збільшення швидкості потоку може знизити ризик виникнення кавітації та покращити ефективність очищення.

Кавітаційні технології мають ряд переваг у порівнянні з традиційними методами очищення, такими як коагуляція, флотація та біологічне очищення. Вони дозволяють досягти високої ефективності очищення завдяки утворенню мікрочастинок, які руйнують забруднювачі, та можуть бути використані в комбінації з іншими методами для досягнення синергетичного ефекту.

Оптимізація параметрів кавітації, таких як тиск, частота та інтенсивність, дозволяє досягти максимального ефекту очищення. Це дозволяє мінімізувати ризики та підвищити ефективність процесу очищення стічних вод.

Кавітаційні установки мають потенційні економічні переваги у порівнянні з іншими методами очищення, включаючи зниження витрат на встановлення та експлуатацію. Вони можуть бути ефективно впроваджені у промислових масштабах.

Подальші дослідження у галузі кавітаційного очищення стічних вод можуть сприяти розробці нових методів та технологій, що дозволять ще більше знизити ризики та підвищити продуктивність обладнання.

В перспективі подальших досліджень є вивчення впливу кавітації на різні типи забруднювачів, розробка нових матеріалів для кавітаційних установок, збільшення масштабу кавітаційних технологій для промислового застосування та інтеграція кавітаційних технологій з іншими екологічно чистими методами очищення.

Література

1. Про схвалення Концепції Загальнодержавної цільової соціальної програми «Питна вода України» на 2022-2026 роки. Розпорядження Кабінету Міністрів України; Концепція від 28.04.2021 № 388-р.
2. Ободович О. М., Целень Б. Я., Сидоренко В. В., Степанова О. Є. (2023). Використання дискретно-імпульсного введення енергії для підготовки питної і технологічної води. Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції «Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти» (9-10 листопада 2023 р., м. Київ, Україна). С. 123-126.
3. Авдєєва Л. Ю., Макаренко А. А. Ефективність використання сопел типу Вентурі при отриманні водних рослинних екстрактів. Наукові праці Національного університету харчових технологій. 2022. Т. 28, № 6. С. 64-72. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht_2022_28_6_8
4. Бернацька Н.Л. Зниження рівня забруднень дріжджевмісних стічних вод в умовах кавітації. Автореферат дисертації кандидата технічних наук. Національний університет «Львівська політехніка». Львів. 2017. 20 С.
5. Яхно, О. Вплив кавітаційних процесів на очищення річкової води гірських потоків / Яхно О.М., Гнатів І.Р., Гнатів Р.М. *Mechanics and Advanced Technologies*. 2022. No. 1. С. 62-69. <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2022.6.1.254613>
6. Знак З. О., Сухачський Ю. В., Мних Р. В. Розроблення кавітаційно-флотаційного процесу очищення стічних вод в аспекті реалізації сучасних концепцій синтезу хіміко-технологічних систем. Вісник Національного університету Львівська політехніка. Хімія, технологія речовин та їх застосування, 2014, 787. С. 75-79. URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2017/jun/3978/znak.pdf>
7. Вашкурак У. Ю. Використання кавітаційних технологій для очищення стічних вод пивоварні. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Хімія, технологія речовин та їх застосування, 2017, 868. С. 267-272. URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2018/aug/14334/1709522p135-p140.pdf>
8. Особливості кавітаційної обробки молочної сироватки в присутності газів різної природи / Л. М. Предземірська, Л. І. Шевчук, В. Л. Старчевський. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Львів : Львівська політехніка, 2012. № 726: Хімія, технологія речовин та їх застосування. С. 229-232.
9. Sewage Waste Water Treatment by the Hydrodynamic Cavitation Method, Chanchal Valvi, Dr. Pankaj Gohil, Dr. Hemangi Desai, *International Journal of Scientific Research & Engineering Trends* Volume 10, Issue 3, May-June-2024, ISSN (Online): 2395-566.
10. Hydrodynamic cavitation as an efficient water treatment method for various sewage: A review Yongxing Song, Ruijie Houa, Weibin Zhangb and Jingting Liuc, *Water Science & Technology*. Vol 86. No 2, 302 <https://doi.org/10.2166/wst.2022.201>
11. Kirill Fedorov, Elvana Cako, Kumaravel Dinesh, Reza Darvishi Cheshmeh Soltani, Zhaohui Wang, Javed Ali Khan, Grzegorz BoczkajCavitation-Based. Processes for Water and Wastewater Treatment. In: Nasr, M., Negm, A.M. (eds) *Cost-efficient Wastewater Treatment Technologies. The Handbook of Environmental Chemistry*, vol 118. Springer, Cham. PP. 331-377. https://doi.org/10.1007/978_2022_866
12. Mancuso, G., Langone, M. & Andreottola, G. A critical review of the current technologies in wastewater treatment plants by using hydrodynamic cavitation process: principles and applications. *J Environ Health Sci Engineer*18, 311–333 (2020). <https://doi.org/10.1007/s40201-020-00444-5>
13. Stepanova, O., Tselen, B., Sydorenko, V., Obodovych, O. (2023). WASTEWATER TREATMENT USING CAVITATION EFFECTS. *European Science*, 2(sge20-02), 35–42. <https://doi.org/10.30890/2709-2313.2023-20-02-014>
14. Пристрій для очищення і знезараження стічних вод: патент на корисну модель 158088 Україна. Зудіков А. В. Зудіков О. Б. МПК : C02F1/48 C02F1/34; № u 202230691.
15. Ультразвукові кавітаційні технології. Знезараження та фільтрування / О. Ф. Луговський, І. А. Гришко, А. І. Зілінський, А. В. Шульга, А. В. Мовчанюк, І. М. Берник. Вінниця : Видавець ФОП Кушнір Ю.В., 2022. 268 с.
16. T. Falyk, L. Shevchuk, I. Nykulyshyn, S. Melnyk. Research of the effects of various gases on cavitation-based removal of organic pollutants from distillery wastewater. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Ecology*. 3/10 (87) 2017. PP. 56-63. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.101708.
17. Зудіков А.О. Дослідження роботи дослідного зразка пересувного гідродинамічного кавітаційного реактора КР-300 згідно ТУ У 28.9-33360135-003:2017 на стадії освоєння виробництва. XIII Міжнародна науково-практична конференція «Вода для майбутнього: управління, збереження, інновації», присвячена Всесвітньому дню водних ресурсів 25-26 березня 2025 р., м. Київ / XIII International scientific and practical conference «Water for the future: management, conservation, innovation» dedicated to the World Water Day, March 25-26, 2025, Kyiv. С. 193-196. DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg2025>.

СТАЛЕ УПРАВЛІННЯ ПРОМИСЛОВИМИ СТІЧНИМИ ВОДАМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕХНОЛОГІЇ НУЛЬОВОГО СКИДУ РІДИНИ

Ковров О.С., Кулікова Д.В.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

пр. Д. Яворницького, 19, 49005, м. Дніпро

kovrov.o.s@nmu.one, kulikova.d.v@nmu.one

Посилення урбанізації та індустріалізації призвели до високого попиту на прісну воду в багатьох регіонах світу. Дефіцит прісної води є однією з головних міжнародних проблем, яка становить значну загрозу якості води, здоров'ю, екосистемам та економічному розвитку. Прісна вода широко використовується в багатьох галузях промисловості, що призводить до утворення великої кількості стічних вод. Стічні води, потрапляючи у водойми без належного очищення, можуть спричинити значне забруднення, яке негативно впливає на водне середовище, а, отже, й на здоров'я населення. Солоні стічні води (розсоли), що надходять із різних джерел, є основною причиною забруднення та загрози для водних екосистем. В даний час для управління розсолом застосовано кілька методів утилізації, тим не менш ці стратегії вважаються нежиттєздатними через негативний вплив на навколишнє середовище, жорсткі стандарти скиду та збільшення спроб відновити корисні компоненти з розсолу. Стратегія нульового скиду рідини (ZLD) стає все більш популярною в промислових умовах як екологічний підхід до очищення стічних вод. Технологія спрямована на зменшення забруднення води, збереження водних ресурсів і розширення водопостачання шляхом зменшення об'єму рідких відходів, що утворюються в промисловому процесі. Її основна мета полягає в економічному скороченні утворення стічних вод, одночасно виробляючи чисту воду, придатну для повторного використання, що призводить до економії коштів і значних переваг для навколишнього середовища. Промислова очистка води має значну користь від впровадження технології ZLD, дозволяючи підприємствам відповідати суворим державним стандартам щодо скиду стічних вод і досягати вищих показників відновлення води. Крім того, ці системи полегшують обробку та відновлення цінних компонентів зі стічних вод. *Ключові слова:* дефіцит прісної води, забруднення водойм, стаке управління стічними водами, нульовий скид рідини (ZLD), безпека водного середовища.

Sustainable management of industrial wastewater using zero-fluid discharge technology. Kovrov O., Kulikova D.

Increasing urbanization and industrialization have led to a high demand for freshwater in many world regions. Freshwater scarcity is a major international problem, posing a significant threat to water quality, health, ecosystems, and economic development. Freshwater is widely used in many industries, leading to large amounts of wastewater being generated. When discharged into water bodies without proper treatment, wastewater can cause significant pollution, which negatively affects the aquatic environment and, consequently, human health. Saline wastewater (brines), originating from various sources, is a main cause of pollution and a threat to marine ecosystems. Currently, several disposal methods have been applied to manage brine. However, these strategies are considered unsustainable due to adverse environmental impacts, strict discharge standards, and increasing attempts to recover useful components from brine. Zero Liquid Discharge (ZLD) is becoming increasingly popular in industrial settings as an environmentally friendly approach to wastewater treatment. The technology aims to reduce water pollution, conserve water resources, and expand water supplies by reducing the volume of liquid waste generated in industrial processes. Its primary goal is to economically reduce wastewater generation while producing clean water suitable for reuse, resulting in cost savings and significant environmental benefits. Implementing ZLD technology promotes industrial water treatment, allowing enterprises to meet strict government wastewater discharge standards and achieve higher water recovery rates. In addition, these systems facilitate the treatment and recovery of valuable components from wastewater. *Key words:* freshwater scarcity, water pollution, sustainable wastewater management, zero liquid discharge (ZLD), aquatic safety.

Постановка проблеми. Дефіцит прісної води є однією з найважливіших глобальних проблем сьогодення, яка становить серйозну загрозу економічному зростанню, безпеці води та здоров'ю екосистем у всьому світі.

Наявність чистої води – необхідна умова існування всіх живих організмів. Незважаючи на це, людина в процесі своєї життєдіяльності забруднює її. Таким чином, дуже великий об'єм прісних вод наразі став зовсім непридатним для використання. На сьогоднішній день існує ціла низка політичних рішень, спрямованих на скорочення втрат води, вдосконалення методів управління водними ресурсами та скорочення потреби населення у воді.

Актуальність дослідження. Відновлення та повторне використання стічних вод стало зростаючою

тенденцією за останнє десятиліття через збільшення попиту на чисту воду. Повторне використання стічних вод не тільки зменшує їхній об'єм і екологічні ризики, але й зменшує тиск на екосистему через дефіцит прісної води. Завдяки повторному використанню стічні води більше не розглядаються як потенційно шкідливі відходи для навколишнього середовища, а як додатковий ресурс, який можна використати для досягнення стійкості води.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження пов'язане з важливими науковими та практичними завданнями в сфері раціонального використання, охорони та відтворення водних ресурсів, що закріплені у Водному кодексі України, Законах України «Про питну воду, питне водопо-

стачання та водовідведення», «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року», в Указі Президента України «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року» та у «Водній стратегії України на період до 2050 року». Отримані результати є важливими в контексті сталого управління водними ресурсами в рамках узятих Україною міжнародних зобов'язань у сфері «водної» безпеки, Угоди про асоціацію між Україною та ЄС та Резолюції Генеральної асамблеї ООН: Глобальні цілі сталого розвитку до 2030 року.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проблеми сталого управління водними ресурсами розглядаються в наукових працях Залеського І.І., Гребіня В.В., Клименка М.О., Мокіна В.Б., Сташука В.А., Томільцева А.І., Хвесика М.А., Хільчевського В.К., Яцика А.В. та інших. Більшість досліджень присвячена питанням техніко-технологічних аспектів сталого управління водними ресурсами, охорони та екологічно безпечного водокористування, спрямованих на мінімізацію забруднення та виснаження водних об'єктів і забезпечення населення водою належної якості. В роботах [1-8] розглядається широкий спектр технологій очищення стічних вод, починаючи від усталених традиційних методів і закінчуючи інноваційними, ефективними підходами, які можуть сприяти екологічній стійкості водного середовища. Мета цих досліджень полягає в тому, щоб представити комплексне уявлення про останні здобутки в обробці стічних вод, наголошуючи на потенціалі нових підходів у досягненні цілей сталого управління водними ресурсами.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Актуальна проблема дефіциту води має далекосяжні наслідки для глобальної стійкості майбутнього людства. Широко визнаною стратегією вирішення цієї водної проблеми є опріснення та очищення води. Відходи від опріснення стають занадто великими, щоб їх ігнорувати. Розсіл є побічним продуктом процесу опріснення, який має негативний вплив на навколишнє середовище через високу солоність. Скид розсолів у відкриті водойми разом з іншими методами утилізації є екологічно не вигідним і не завжди доступним. Неналежна утилізація розсолу може призвести до серйозних екологічних наслідків, включаючи шкоду водним екосистемам, деградацію ґрунтів та ресурсів прісної води. Як наслідок, інноваційні підходи до управління розсолу є важливими для забезпечення сталої практики опріснення. Поєднання нових технологій зі звичайними методами очистки допоможуть усунути скид забрудненої рідини та створити замкнуті цикли для води, яку можна було б використовувати у виробничих процесах.

Новизна. Розробка мультидисциплінарних систем, так як ZLD, сприяє інтеграції різноманітних технологій і процесів для оптимізації обробки розсолу

та покращення відновлення ресурсів. Ці системи спрямовані не лише на зменшення об'єму виробленого розсолу, але й на вилучення цінних матеріалів, таких як вода, солі та інші поживні речовини, які можна використовувати для промислового чи сільськогосподарського застосування. Регенерація води з розсолу також може сприяти досягненню шостої Цілі сталого розвитку ООН.

Методологічне або загальнонаукове значення базується на теоретичному аналізі досвіду застосування технологій нульового скиду рідини (ZLD) для досягнення енергетичної та кліматичної нейтральності в сфері управління стічними водами та відновлення ресурсів, узагальненні та інтерпретації отриманих результатів.

Виклад основного матеріалу. В останні роки проблема стічних вод набуває все більшу актуальність у всьому світі, в тому числі й в Україні. В процесі господарської діяльності сучасне суспільство споживає велику кількість води, більша частина якої стає забрудненою різноманітними речовинами. Їхнє потрапляння в навколишнє середовище наносить суттєву шкоду, тому вони підлягають обов'язковому очищенню. Для забезпечення вискоелективного процесу очищення необхідно використовувати спеціальне обладнання та технологічні комплекси, за допомогою яких можна досягти встановлених нормативів забруднення стоків, визначених у відповідних документах. Це обладнання дозволяє довести ступінь забруднення стоків до тих показників, при яких їх можна скидати у водойми без нанесення їм шкоди.

Технології нульового скиду стічних вод (ZLD) являють собою важливий напрямок в галузі екологічної безпеки та водоочищення. Ці нові технології повністю виключають скид забруднених стічних вод у поверхневі водойми, що дозволяє промисловим підприємствам відповідати жорстким екологічним нормам скиду та досягати найвищого ступеня відтворення води (90-98% очищеної води придатне для повторного використання, наприклад зрошення), а також очищувати та відновлювати цінні компоненти з потоків стічних вод, такі як сульфат і хлорид натрію, сульфати калію, каустична сода, гіпс, літій тощо.

Слід зазначити, що ZLD-технології є особливо корисними для управління потоками з високим ступенем мінералізації, оскільки дозволяють повторно використовувати воду, зменшують вплив на довкілля та ризики забруднення, а також вилучають цінні компоненти у вигляді залишків твердих речовин (солі) перед їхньою утилізацією для отримання додаткового доходу.

Зазвичай, процес ZLD включає в себе 3 основні стадії (рис. 1):

1. **Попередня обробка.** Застосовується для зменшення кількості нерозчинних домішок, каламутності та вмісту органічних речовин для забезпечення

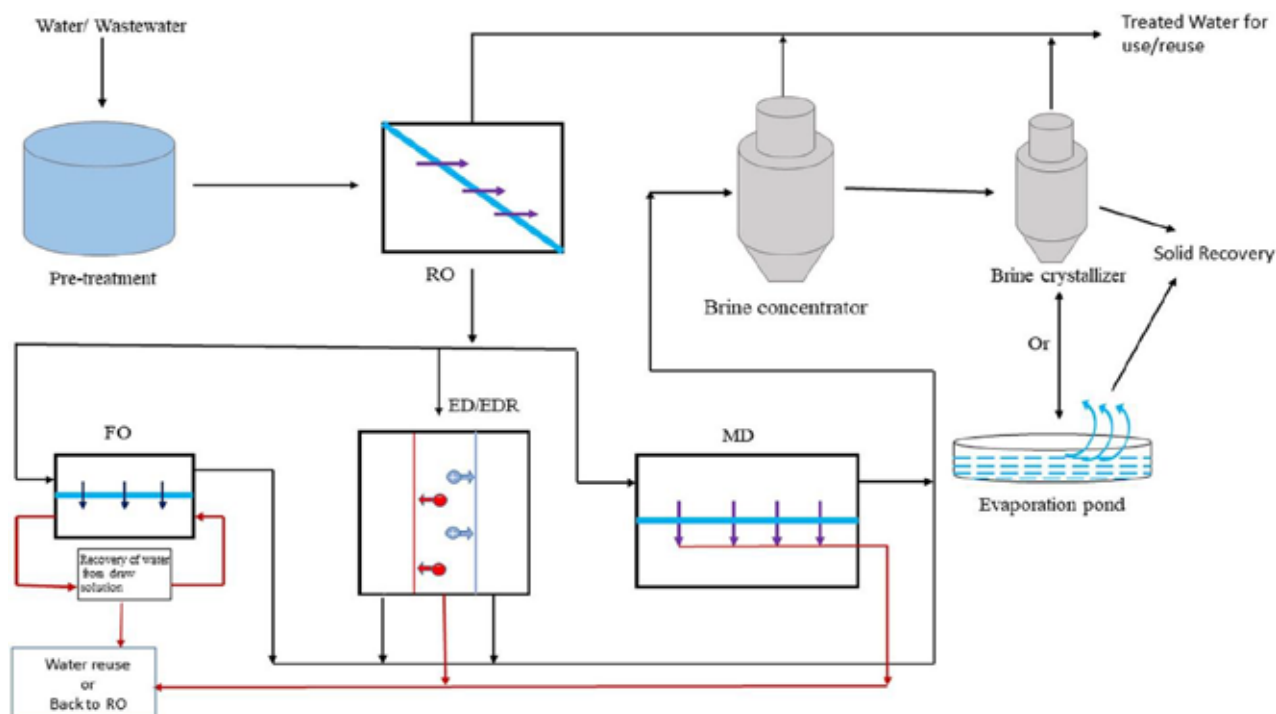


Рис. 1. Типова схема очистки промислових стічних вод за ZLD-технологією

Джерело: <https://images.app.goo.gl/4VAXM7f5MUfJD3rYA>

надійної роботи наступного обладнання, що застосовується в технологічній схемі.

2. **Концентрація розчинних речовин.** Останні десятиліття все більшого розвитку набули технології мембранного опріснення солоної води (зворотний осмос RO, електродіаліз ED або комбінація RO+ED). Серед них опріснення солоної води за рахунок зворотного осмосу розглядається як одна з найбільш перспективних технологій сталого забезпечення ресурсами прісної води.

Найголовнішою перевагою методу RO є низьке споживання енергії. Питоме енергоспоживання процесу опріснення солоної води було зменшено з 20 кВт·годину/м³ (1980 рік) до менш ніж 3-4 кВт·годину/м³ шляхом розробки високоефективних пристроїв (насосів високого тиску, високопродуктивних RO мембран тощо). Ці технології концентрують потік вхідної води до високої солоності та здатні відновити до 40-55% дистилату при тиску 55-70 бар при опрісненні солоної (морської) води [9].

Завдяки видаленню забруднень і зниженню концентрації солі вода, оброблена методом зворотного осмосу, може відповідати необхідним стандартам для повторного використання.

Таким чином, зворотний осмос дозволяє відокремлювати, концентрувати та відновлювати цінні хімічні речовини, присутні в стічних водах. Це може призвести до значної економії коштів і зменшити вплив галузі на довкілля.

3. **Теплова обробка.** Система випаровування дозволяє ефективно та доступно перетворювати

частину відходів на водній основі у водяну пару, залишаючи забруднюючі речовини з вищою температурою кипіння. Це може усунути потребу скиду стічних вод та/або значно мінімізує кількість відходів, які потрібно вивозити за межі підприємства.

Випаровування є чистим процесом, який не додає забруднювачів до тих, які вже присутні в рідинах, що підлягають обробці. Техніка займає мало місця, відносна проста в обслуговуванні і служить довго. Крім того, отриманий конденсат має високу якість, що дозволяє його повторно використовувати.

Запропонована система подвійного ефекту (випаровування + кристалізація) може заощаджувати більше енергії, ніж система з одним ефектом (випаровування).

В даний час для опріснення води використовуються методи механічного випаровування. Механічна рекомпресія пари (MVR) – це передова енергозберігаюча технологія розділення великих об'ємів стічних вод з високою швидкістю потоку та низьким рівнем енергоспоживання.

Технологія MVR дозволяє стиснути пару, що утворюється внаслідок випаровування розчину до більш високого рівня тиску і температури за допомогою тільки електричної енергії, і повторно використовувати її як джерело енергії. Здатність технології MVR рекуперувати тепло для повторного використання означає, що вона відіграватиме ключову роль у декарбонізації технологічного тепла [10].

Для цього вторинна пара, що утворюється у випарнику, стискається за допомогою компресора,

внаслідок чого її температура і тиск підвищуються. По мірі підвищення тиску, підвищується й температура насичення. Це підвищення температури призводить до різниці температур між відпрацьованою парою і робочою рідиною. Різниця температур дозволяє передавати тепло через теплообмінник для кип'ятіння стічної води, що надходить на обробку. Оскільки система працює в замкнутому циклі, де пара повторно стискається, а не викидається в атмосферу, конструкція випарника підвищує екологічність і мінімізує втрати тепла.

Головна перевага системи випаровування MVR полягає в тому, що випарники відомі своєю високою енергоефективністю. На відміну від альтернативної термічної рекомпресії пари (TVR), механічна не потребує додаткової подачі свіжої пари. Оскільки змішування рідин відсутнє, вся існуюча пара може бути стиснута для рекуперації енергії. В цьому випадку загальне споживання енергії зменшується на 90% і більше (ротаційний компресор, рециркуляційні насоси споживають 30-50 кВт·годину/тонну дистилату). Зниження споживання енергії перетворюється на економічну вигоду для промислових процесів. Завдяки своїй енергоефективності конструкції випарників MVR можуть призвести до зниження експлуатаційних витрат у довгостроковій перспективі. Саме тому, випарники MVR стають все більш популярними по мірі росту цін на енергію.

Кристалізація відіграє ключову роль у ZLD системах, в яких рідкі стоки піддаються ряду процесів для отримання сухих відходів та потоку чистої води шляхом охолодження, випаровування або хімічної реакції [11].

За допомогою цієї технології можна виробляти твердий концентрат з його подальшим використанням в якості побічних продуктів або сировини (солі, кислоти, мінерали, метали, олії, добрива тощо), яку в багатьох випадках можна переробити. До головних переваг кристалізаційної установки можна віднести:

- мінімізація обсягу відходів, якими потрібно управляти;
- значне зниження витрат на поводження з відходами, в тому числі на їхнє транспортування та управління;
- зменшення викидів парникових газів при транспортуванні відходів.

Кристалізатори вакуумного випаровування з механічною рекомпресією пари (MVR) і примусовою циркуляцією (FC), що працюють на електричній енергії, найбільш підходять для обробки концентратів стічних вод з високим ступенем мінералізації, наприклад, відновлення хлориду натрію, сульфату натрію, хлориду амонію, сульфату амонію тощо [12].

Кристалізатор – циліндрична випарна ємність вертикального типу з конічним дном для полег-

шення відділення твердих частинок. Випарна ємність містить теплообмінник із зовнішньою сорочкою для забезпечення невеликої кількості пари під час фази нагріву, а також під час роботи для підтримки температури. Крім того, ємність оснащена зовнішнім кожухотрубним теплообмінником. Завдяки рециркуляційному насосу технологічна рідина тече всередині трубного пучка з високою швидкістю, отримуючи енергію, необхідну для кристалізації. Це дозволяє уникнути розшарування на поверхні обміну.

Вакуумний насос відбирає водяну пару з випарної ємності, стискає її до атмосферного тиску і перекачує стиснуту пару в зону конденсації випарника. Ця пара використовується як джерело нагріву для повторного випаровування концентрату стічної води, що надходить з випарника.

Таким чином, впровадження запропонованої ZLD-технології опріснення промислових стоків сприятиме сталому використанню води, зменшуватиме навантаження на природні водні ресурси та підвищуватиме ефективність виробничих процесів. Це може стати важливим кроком у вирішенні проблем водного дефіциту та екологічних викликів.

Головні висновки. На теперішній час людство стикається з нестачею прісної води через її солоність і солонуватість. Процеси дистилляції та мембрани були звичайною практикою протягом багатьох років для отримання прісної води. Незалежно від технології, що використовується для опріснення, утилізація розсолу та його вплив на довкілля є основними проблемами. Експоненціальне зростання опріснювальних установок спонукає до пошуку та впровадження альтернативних стійких технологій утилізації зростаючої кількості відходів. Нульовий скид рідини (ZLD) є однією з таких концепцій виробництва прісної води з використанням технології опріснення, яка є альтернативою всім існуючим методам утилізації розсолів.

Перспективи використання результатів дослідження. Переробка за допомогою очисних споруд з нульовим скидом рідини дозволяє зменшити споживання води шляхом повторного використання очищеної води в технологічних процесах. Ця практика значно зменшує попит на прісну воду для промислових операцій, що призводить до зменшення витрат на придбання води та зниження зовнішніх ризиків. Рециркуляція води на місці може призвести до менших потреб в обробці, порівняно з дотриманням суворих екологічних стандартів скидів. Застосування технології ZLD дозволяє промисловості оптимізувати водні ресурси, скоротити експлуатаційні витрати та зменшити вплив на довкілля за рахунок ефективної переробки води в своїх процесах.

Література

1. Saravanan A., Senthil Kumar P., Jeevanantham S., Karishma S., Tajsabreen B., Yaashikaa P.R., Reshma B. Effective water/wastewater treatment methodologies for toxic pollutants removal: Processes and applications towards sustainable development. *Chemosphere*. 2021. 280:130595.
2. Kwaku Armah E., Chetty M., Adedeji J., Kukwa D.T., Mutsvene B., Shabangu K.P., Bakare B.F. Emerging trends in wastewater treatment technologies: the current perspective. *Promising Techniques for Wastewater Treatment and Water Quality Assessment*. 2021. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.93898>.
3. Singh B.J., Chakraborty A., Sehgal R. A systematic review of industrial wastewater management: Evaluating challenges and enablers. *Journal of Environmental Management*. 2023. 348:119230.
4. Ganesan S. Promising Technologies in Wastewater Treatment: The Current Standpoint. In book: *Sustainable Water Treatment and Ecosystem Protection Strategies*. 2024. P. 313-325.
5. Chaudhary J.P., Jhajharia P. Recent Advances in Wastewater Treatment. In book: *Integrated Waste Management: A Sustainable Approach from Waste to Wealth*. 2024. P. 289-302.
6. Wani N.A., Malik N.A., Tantary Y.R., Jan I., Ahmad T., Wani M.S. Emerging Techniques for Treatment of Wastewater. In book: *Aquatic Contamination: Tolerance and Bioremediation*. 2024. P. 1-23.
7. Sangamnere R., Misra T., Bherwani H., Kapley A., Kumar R. A critical review of conventional and emerging wastewater treatment technologies. *Sustainable Water Resources Management*. 2023. 9(2):58.
8. Poornima S., Manikandan S., Karthik V., Balachandar R., Subbaiya R., Saravanan M., Lan Chi. N.T., Pugazhendhi A. Emerging nanotechnology based advanced techniques for wastewater treatment. *Chemosphere*. 2022. 303:135050.
9. Seawater Reverse Osmosis (SWRO) Desalination: Energy consumption in plants, advanced low-energy technologies, and future developments for improving energy efficiency. *IWA Publishing*, 2023. <https://doi.org/10.2166/9781789061215>.
10. Liu L., Zhang J.-J., Liu Y., Zhang S.-F. Application of mechanical vapor recompression technology in evaporation. *Huaxue Gongcheng/Chemical Engineering (China)*. 2014. 42. P. 1-5.
11. Desarnaud J., Noushine S. Salt crystal purification by deliquescence/crystallization cycling. *EPL (Europhysics Letters)*. 2011. 95(4):48002.
12. DESALT MVR FC crystallizer : веб-сайт. URL: <https://condorchem.com/en/evaporators/desalt-mvr-fc-1500-2500/> (дата звернення: 27.02.2025).

УДК 543.3:628.1

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.2-59.11>

ЯКІСТЬ ПИТНОЇ ВОДОПРОВІДНОЇ ВОДИ У М. УЖГОРОД ЗАКАРПАТСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Мільович С.С., Галла-Бобик С.В., Гаврилюк І.В.

Державний вищий навчальний заклад «Ужгородський національний університет»

вул. Підгірна, 46, 88000, м. Ужгород

stepan.milyovich@uzhnu.edu.ua, sitlana.halla-bobyk@uzhnu.edu.ua, havrylyuk.iryana@uzhnu.edu.ua

Стаття присвячена визначенню рівня екологічної безпеки питного водопостачання м. Ужгорода, яке здійснюється із частково закільцьованої системи підземного Минайського водозабору і поверхневого водозабору дериваційного каналу р. Уж.

Досліджено якість питної водопровідної води у споживачів централізованої системи водопостачання у всіх 15 мікрорайонах м. Ужгорода за окремими фізичними, фізико-хімічними та гідрохімічними показниками. Визначено, що у 3 відібраних пробах води концентрації феруму були вищими за величину ГДК. Вміст мангану перевищував нормативне значення у всіх мікрорайонах міста, а у 7 випадках у 1,2–2,4 разів, що становить загрозу для здоров'я зважаючи на його легку засвоюваність організмом людини із води. Водночас згідно даних лабораторій водопідготовки його концентрація при подачі у мережу нижча за величину ГДК, що підтверджується визначеною концентрацією мангану у споживачів с. Минай, яка становила $0,04 \pm 0,01$ мг/дм³ при ГДК $\leq 0,05$ мг/дм³. Отримані дані вказують на негерметичність централізованої системи водопостачання внаслідок чого він потрапляє у воду шляхом вимивання з ґрунту.

З'ясовано, що внаслідок неналежного технічного стану водопровідної системи міста параметри якості води (рН, сухий залишок, загальна жорсткість, вміст амонію, хлоридів, нітратів та сульфатів) у окремих відібраних пробах хоча і відповідали нормативним значенням, але перевищували значення поданої у мережу станціями водопідготовки. Зокрема у 3 мікрорайонах спостерігалось погіршення якості води порівняно із даними лабораторії Минайського водозабору за 8 показниками. Ще більші відмінності спостерігалися при зіставленні із результатами станції водопідготовки дериваційного каналу р. Уж, де відхилення в одному мікрорайоні становило за 9 показниками, а у 7 – за 8 параметрами.

Найбільш забруднена питна вода у мікрорайонах Оноківці, Доманинці і Свєпомоц, у яких відмічається погіршення якості води за 8–9 показниками порівняно із водою, яка подається у мережу, що свідчить на необхідність технічного переоснащення водопровідної системи та інформування населення. *Ключові слова:* питна вода, забруднення води, державні санітарні норми, показники якості води.

The quality of drinking tap water in Uzhhorod, Zakarpattia region. Milyovich S., Halla-Bobik S., Havrylyuk I.

The article is devoted to determining the level of environmental safety of drinking water supply in Uzhhorod, which is carried out from the partially looped system of underground Mynai water intake and surface water intake of the Uzh River derivation channel.

The quality of drinking tap water of consumers of the centralized water supply system in all 15 districts of Uzhhorod has been studied according to certain physical, physicochemical and hydrochemical parameters. It was determined that in 3 selected water samples, the concentration of iron was higher than the MPC. The content of manganese exceeded the standard value in all city districts, and in 7 cases it exceeded it by 1.2–2.4 times, which poses health risk due to its easy absorption by the human body from water. At the same time, according to the data of water treatment laboratories, its concentration when supplied to the network is lower than the MPC, which is confirmed by the determined concentration of manganese at consumers in the village of Mynai, which was 0.04 ± 0.01 mg/dm³ while the MPC is ≤ 0.05 mg/dm³. The data obtained indicate that the centralized water supply system is leaky, which leads to its leaching into the water through the soil.

It was found that due to the inadequate technical condition of the city's water supply system, water quality parameters (pH, dry residue, total hardness, ammonium, chloride, nitrate and sulfate content) in some samples, while meeting the standard values, exceeded the values of the water supplied to the network by water treatment plants. In 3 districts, there was a deterioration in water quality compared to the data from the Mynai water intake laboratory on 8 indicators. There were even greater deviations when comparing the data from the water treatment plant of the Uzh River derivation channel, where the deviation in one district was for 9 parameters, and in other 7 – for 8 parameters.

The most contaminated drinking water is in the Onokivtsi, Domanyntsi and Svpomots districts, where deterioration in water quality is noted for 8–9 indicators compared to the water supplied to the network, which indicates the necessity of technical re-equipment of the water supply system and raising public awareness. *Key words:* drinking water, water pollution, state sanitary standards, water quality indicators.

Постановка проблеми. Організація Об'єднаних Націй визнає воду одним із найважливіших ресурсів на Землі, без якого неможливе саме життя, а доступ до джерел чистої води є важливим показником сталого розвитку держави і нації.

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, її неналежна якість є причиною виникнення понад 80% захворювань. Тому забезпечення насе-

лення високоякісною та безпечною питною водою є одним із нагальних та важливих завдань.

Актуальність дослідження. Централізоване водопостачання м. Ужгорода здійснюється з поверхневого водозабору дериваційного каналу р. Уж та підземного водозабору «Минай», які частково закільцьовані [1]. Протяжність водопровідних мереж у м. Ужгород складає 286,6 км, 54,6% з яких знахо-

дяться в аварійному стані [2]. Аналіз лабораторних даних станцій водопідготовки водозаборів свідчать про те, що вода, яка подається у водопровідну мережу відповідає гігієнічним вимогам. Проте, в процесі транспортування трубопроводами, у зв'язку із зношеністю водопровідної мережі, її якість може змінюватися через вторинне забруднення.

Зв'язок авторського доробку з науковими та практичними завданнями.

Дослідження пов'язане з оцінкою екологічної безпеки питної води та забезпеченням споживачам питної води права вільного доступу до інформації про її якість у відповідності до Закону України «Про питну воду та питне водопостачання» [3]. Результати роботи можуть бути використані комунальними службами міста для визначення пріоритетних напрямків технічної реконструкції водопровідних мереж та інформування споживачів.

Новизна дослідження. Вперше проведено аналіз якості питної води у споживачів централізованої системи водопостачання у м. Ужгород за фізичними, фізико-хімічними та гідрохімічними показниками. Визначено мікрорайони міста, у яких якість води найбільше відрізняється від параметрів лабораторій станцій водопідготовки.

Методи дослідження. Проби питної води були відібрані у відповідності до ДСТУ 7525:2014 протягом вересня 2024р. Параметри якості водопровідної води визначали згідно стандартних методик у Європейській лабораторії екологічних досліджень м. Ужгорода.

Отримані дані порівнювали із нормативними значеннями для питної водопровідної води і вимогам до фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води [4], середніми показниками якості очищеної води поданої у мережу протягом III кварталу 2024р. з водозабору «Минай» [5] та дериваційного каналу р. Уж [6].

Метою роботи є дослідження якості питної води у споживачів централізованої системи водопостачання у м. Ужгород за фізичними, фізико-хімічними та гідрохімічними показниками та ідентифікація змін, що виникають під час транспортування питної води централізованою системою водопостачання до споживачів у м. Ужгород.

Викладення основного матеріалу. Територія сучасного Ужгорода займає 37,7 км² з кількістю населення станом на 19.11.2024р. 115 542 тис чоловік [7] і умовно поділена на 15 мікрорайонів. Для дослідження параметрів проби води були відібрані у у всіх мікрорайонах міста (рис. 1).

Результати дослідження за окремими фізичними і фізико-хімічними показниками якості води представлені у Таблиці 1.

Згідно отриманих даних, фізичні показники (каламутність, забарвленість) відповідали вимогам до питної водопровідної води і якості води, яка подається у мережу.

Показник рН у відібраних пробах води знаходився у межах нормативних значень (6,5 од. – 8,5 од.) і коливався в діапазоні 6,95 од. – 7,82 од., але у 3 випадках перевищував параметри станції водопідготовки Минайського водозабору та у 8 – поверхневого.

Значення сухого залишку досліджених зразків води, яке знаходилося у межах від 172 мг/дм³ до 516 мг/дм³, не перевищувало величину ГДК, але у всіх випадках було більшим за дані лабораторії для води з дериваційного каналу та у 5 пробах – з підземного водозабору.

Загальна жорсткість води у всіх відібраних пробах відповідала нормативним значенням і вимогам до фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води (1,5–7,0 мг-екв/дм³). Однак у 6 пробах перевищувала цей показник у порівнянні із водою, яка подається споживачам після водопідготовки з підземного водозабору, і у всіх пробах, окрім № 10, порівняно з водою з дериваційного каналу.

Виробники фільтрів для питної води вказують на небезпечність вживання жорсткої води, що може призвести до алергічних реакцій, артриту, серцево-судинних захворювань та утворення каменів в нирках. Водночас, згідно висновку ВООЗ на Женевській конференції, жорстка вода не має відомих несприятливих наслідків для здоров'я [9]. Крім того, жорстка вода, особливо дуже жорстка вода, може зробити важливий додатковий внесок у загальне споживання кальцію та магнію, зміцнюючи тим самим кістки та зуби [10, 11].

Для наглядності результати гідрохімічного аналізу якості води наведені на рис. 2–9.

Концентрація іонів амонію, який є важливим індикатором забруднення вод, у досліджених пробах води (рис. 2) коливалася у межах 0,09–0,24 мг/дм³, що значно нижче допустимого величини ГДК ($\leq 0,5$ мг/дм³).

Найбільші значення ($\geq 0,21$ мг/дм³) відмічалися у пробах № 9, № 12, № 13 і № 14 і перевищували показники вмісту іонів амонію у воді, що подається у мережу більше ніж у 2 разів. Однак такі концентрації іонів амонію у питній воді

не є небезпечними для людини [12], однак можуть дещо впливати на зміну запаху і смаку води.

Вміст іонів кальцію і магнію не нормується, а тому і не визначається лабораторіями станцій водопідготовки. В той же час, у вимогах до фізіологічної повноцінності мінерального складу питної зазначається, що концентрація кальцію повинна знаходитися в межах 25–75 мг/дм³, а магнію – 10–50 мг/дм³.

У споживачів питної води спостерігається значна різниця у вмісті іонів кальцію (рис. 3). Зокрема, найнижча концентрація іонів кальцію (34,1 мг/дм³) у пробі № 2, а найвища (98,2 мг/дм³), у пробі № 8. У 6 пробах вміст катіону був більшим за фізіологічно оптимальний показник.

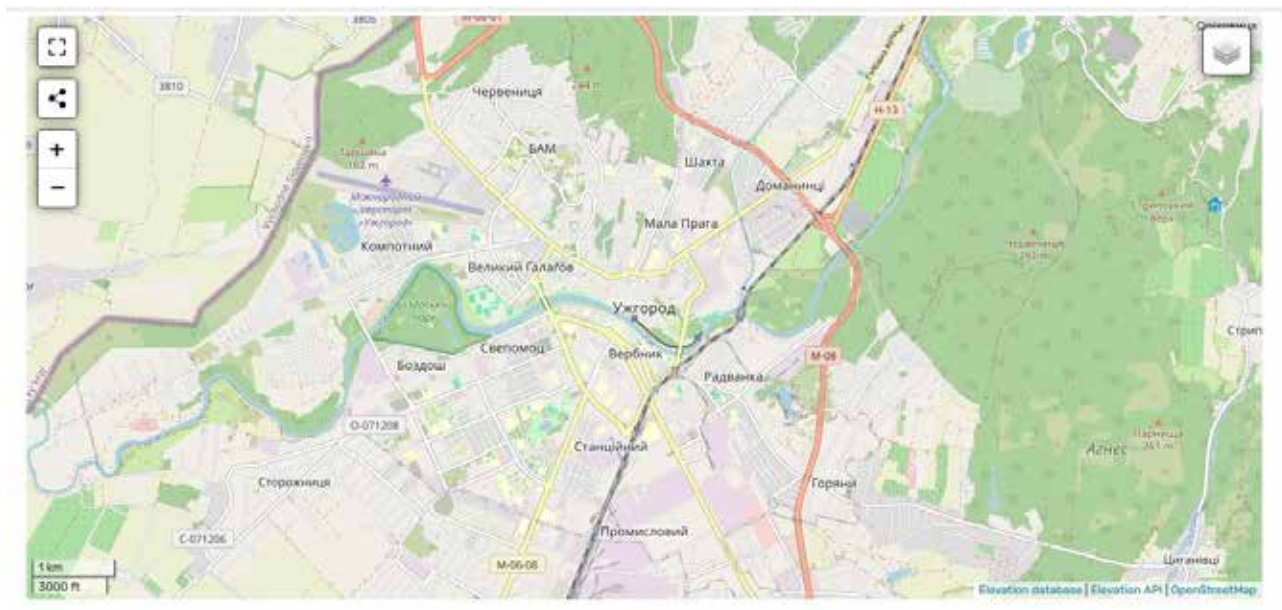


Рис. 1. Місця відбору проб водопровідної води [8]

проба № 1 – Червениця (міжнародний аеропорт Ужгород);
 проба № 2 – БАМ (студентський гуртожиток № 4);
 проба № 3 – Шахта (початкова школа «Ялінка»);
 проба № 4 – Компотний (приватний будинок по вул. Осипенко 28/82);
 проба № 5 – Великий Галагов (Закарпатська ОДА);
 проба № 6 – Мала Прага (школа № 20 ліцей «Лідер»);
 проба № 7 – Боздош (ТЦ ALMA);
 проба № 8 – Свеспомоц (дитячий садок «Веселка»);
 проба № 9 – Вербник (Ужгородський торговельно-економічний інститут);
 проба № 10 – Станційний (Ужгородський залізничний вокзал);
 проба № 11 – Промисловий (Ужгородський професійний ліцей);
 проба № 12 – Дравці (дитячий простір «Деревце»);
 проба № 13 – Оноківці (відділення № 1 Нової пошти);
 проба № 14 – Доманинці (Навчально-виховний комплекс «Гармонія»);
 проба № 15 – Горяни (Навчально-виховний комплекс «Горяни»).

Відмінності у концентрації іонів магнію є ще більш вираженими: його вміст у пробі № 4 і № 13 ($30,4 \text{ мг/дм}^3$) перевищував найнижче значення у пробі № 11 ($7,9 \text{ мг/дм}^3$) у 3,8 разів. Проби № 8 і № 11 не відповідали вимогам до мінерального складу води.

Відомо, що іони калію і натрію відіграють важливу роль у підтримці осмотичного тиску та кислотно-основної рівноваги організму, передачі нервового імпульсу, регуляції м'язових скорочень. Основним джерелом їх надходження в організм людини є харчові продукти, а для натрію – і харчова сіль. Вміст калію у питній воді не нормується, що ймовірно пов'язане із високим показником його добової потреби (2000 мг), в той час як для натрію – 550 мг [13], оскільки надмірне надходження останнього небезпечно для осіб з підвищеним артеріальним тиском [14].

Концентрації іонів калію і натрію у досліджених зразках питної води коливалися відповідно $3,7\text{--}8,5 \text{ мг/дм}^3$ і $9,1\text{--}17,6 \text{ мг/дм}^3$ (рис. 4) і задовольняли вимоги до мінерального складу води.

Важливим показником якості питної води є вміст феруму, оскільки, з одного боку, він приймає участь у тканинному диханні та енергетичному обміні,

а з іншого – надмірне його надходження призводить до цілого ряду важких нервово-м'язових захворювань, розладів печінки, серцевої недостатності та посилює кісткову патологію [15]. У пробі № 2, № 4 та № 14 концентрація феруму становила відповідно $0,27 \text{ мг/дм}^3$ і $0,24 \text{ мг/дм}^3$ та $0,22 \text{ мг/дм}^3$, що вище показника ГДК ($\leq 0,2 \text{ мг/дм}^3$) і більше ніж у 2 разів перевищувала його вміст у воді, яка подається у мережу (рис. 5).

Вміст мангану у питній воді відіграє особливе значення для здоров'я людини зважаючи його роль у нормальному протіканні фізіологічних процесів в організмі і те, що організм краще засвоює манган з питної води, ніж з їжі. Але його підвищений вміст погіршує смак, надає воді металевого присмаку, а вживання такої води протягом тривалого часу викликає неврологічні захворювання [16]. Тому визначені високі концентрації мангану, які перевищують ГДК, а у 7 пробах у 2,0–2,4 разів викликають особливе занепокоєння (рис. 6).

Згідно даних лабораторного контролю у воді, яка подається у мережу, концентрація мангану навіть нижча за нормований показник ($\leq 0,05 \text{ мг/дм}^3$)

Таблиця 1

Фізичні і фізико-хімічні показники якості водопровідної води м. Ужгорода

Номер проби /дані підприємства водопостачання	Показники якості				
	Фізичні		Фізико-хімічні		
	Каламутність, НОК	Забарвленість, градуси	рН	Сухий залишок, мг/дм ³	Жорсткість загальна, мг-екв/дм ³
1	0,0	0,0	7,31±0,1	176±8,8	2,7±0,1
2	0,0	0,0	7,01±0,1	196±9,8	2,8±0,1
3	0,0	0,0	6,98±0,1	178±8,9	2,6±0,1
4	0,0	0,0	7,12±0,1	448±22,4	6,9±0,4
5	0,0	0,0	6,96±0,1	504±25,2	5,6±0,3
6	0,0	0,0	7,25±0,1	174±8,7	2,6±0,1
7	0,0	0,0	7,24±0,1	424±21,2	5,4±0,3
8	0,0	0,0	7,10±0,1	368±18,4	5,6±0,3
9	0,0	0,0	7,11±0,1	216±10,8	2,8±0,1
10	0,0	0,0	7,58±0,1	192±9,6	2,5±0,1
11	0,0	0,0	6,95±0,1	172±8,6	2,6±0,1
12	0,0	0,0	7,05±0,1	178±8,9	3,0±0,1
13	0,0	0,1	7,82±0,1	516±25,8	7,0±0,4
14	0,0	0,0	7,15±0,1	497±25,8	6,8±0,4
15	0,0	0,0	7,18±0,1	213±10,7	2,7±0,1
Дані лаб. Минайського водозабору	<0,58	0,0	7,30	388	5,28
Дані лаб. дериваційного каналу	<0,58	1,3	7,11	170	2,56
ГДК	≤ 1,0 – для поверхневого джерела ≤ 2,6 – для підземного джерела	≤ 20	6,5–8,5	≤ 1000	≤ 7

і складає 0,042 мг/дм³ для Минайського водозабору і 0,01 мг/дм³ – з дериваційного каналу. Його підвищений вміст у споживачів централізованої системи водопостачання м. Ужгорода вказує на негерметичність систем водопостачання внаслідок чого він потрапляє у воду шляхом вимивання з ґрунту. Підтвердженням цього може слугувати визначена концентрація мангану у споживачів у с. Минай, яка становила 0,04±0,01 мг/дм³.

Вміст хлоридів знаходився у діапазоні 24,6 мг/дм³ – 63,1 мг/дм³ і був значно нижчим від ГДК (рис. 7), однак у всіх пробах перевищував значення лабораторії станції водопідготовки дериваційного каналу та, окрім проб № 1 і № 2, Минайського водозабору.

Підвищений вміст нітратів, порівняно із даними лабораторного аналізу лабораторій Минайського водозабору (4,12 мг/дм³) був визначений у 9 зразках

і у всіх пробах порівняно із результатами станції водопідготовки дериваційного каналу (2,5 мг/дм³) і коливався від 2,7 мг/дм³ до 24,0 мг/дм³, однак не

перевищував нормативних значень (рис. 8). За цим показником вода є безпечною для вживання навіть дітьми, оскільки виключає можливість виникнення метгемоглобінемії [17].

Вміст сульфатів у питній воді наведено на рис. 9.

Оскільки ГДК сульфатів у питній водопровідній воді складає ≤ 200 мг/дм³, а найбільша визначена концентрація становила 85,0 мг/дм³ у пробі № 8, то їх наявність у воді не представляє жодної небезпеки для здоров'я.

Аналіз кількості випадків перевищення визначених показників якості води у споживачів мікрорайонів м. Ужгорода у порівнянні із параметрами поданої у мережу з Минайського водозабору і дериваційного каналу р. Уж представлено на рис. 10.

Виявлено, що у мікрорайонах Компотний, Оноківці і Доманинці спостерігається погіршення якості води порівняно із параметрами лабораторії Минайського водозабору за 8 показниками, а у Великому Галагові і Свєпомоц – за 6 показниками.

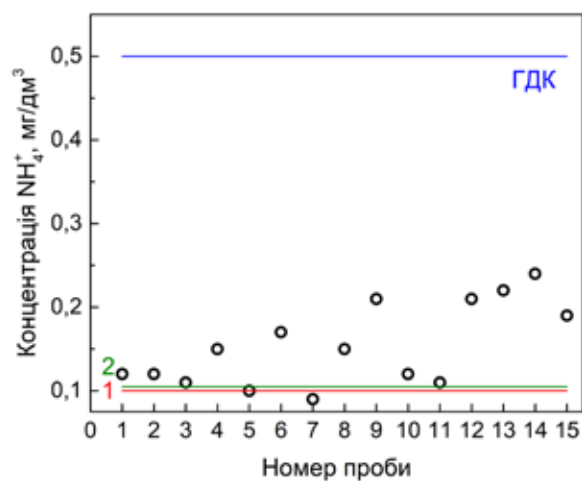


Рис. 2. Вміст іонів амонію у відібраних пробах води
(1 – дані лабораторії Минайського водозабору, 2 – дані лабораторії дериваційного каналу)

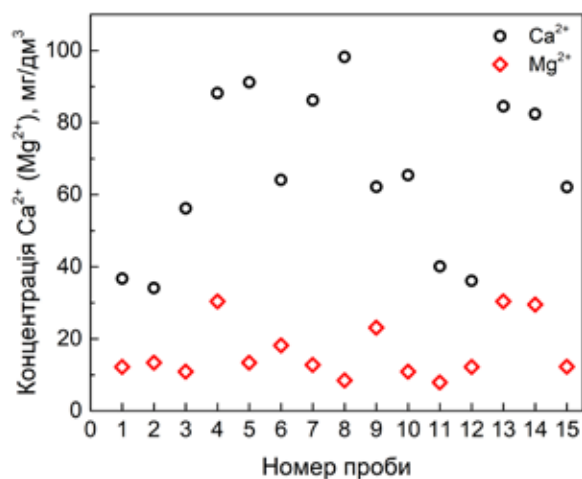


Рис. 3. Вміст іонів кальцію і магнію у відібраних пробах води

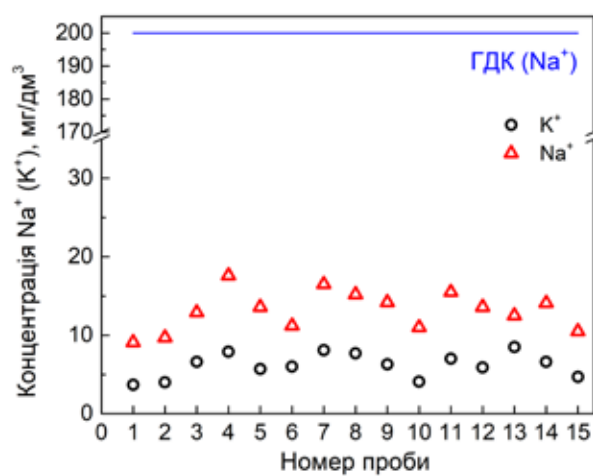


Рис. 4. Вміст іонів калію і натрію у відібраних пробах води

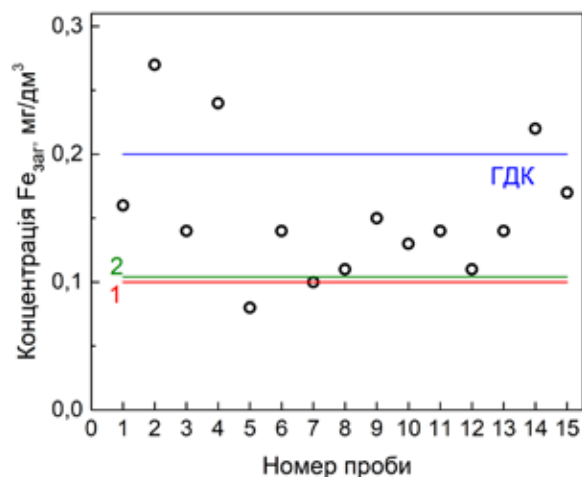


Рис. 5. Вміст феруму у відібраних пробах води
(1 – дані лабораторії Минайського водозабору, 2 – дані лабораторії дериваційного каналу)

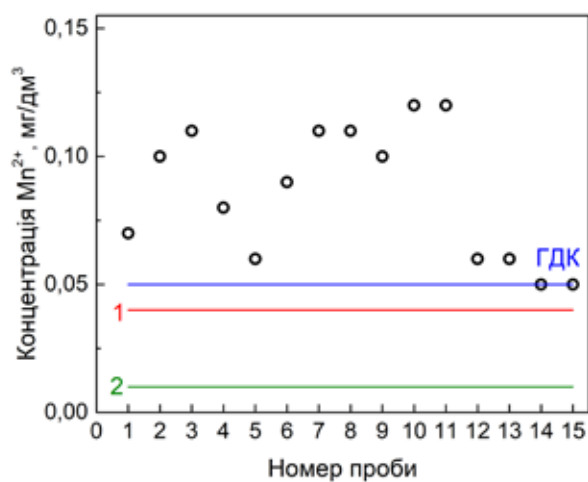


Рис. 6. Вміст мангану у відібраних пробах води
(1 – дані лабораторії Минайського водозабору, 2 – дані лабораторії дериваційного каналу)

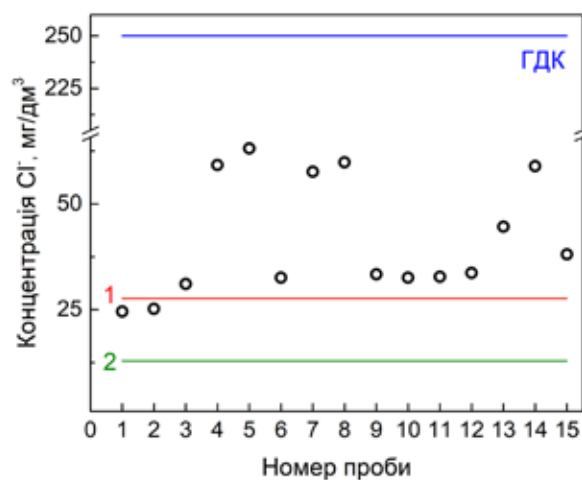


Рис. 7. Вміст хлоридів у відібраних пробах води
(1 – дані лабораторії Минайського водозабору, 2 – дані лабораторії дериваційного каналу)

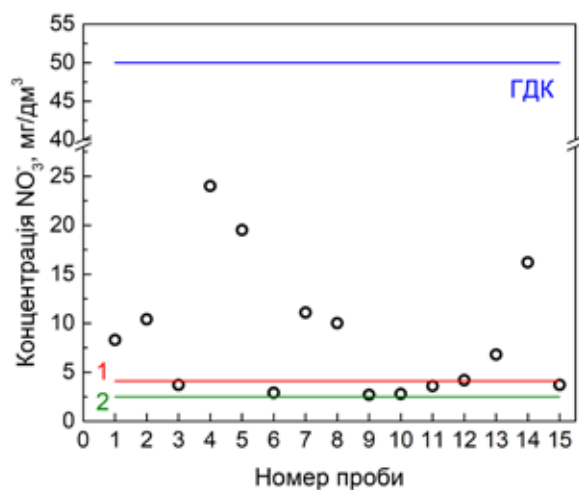


Рис. 8. Вміст нітратів у відібраних пробах води
(1 – дані лабораторії Минайського водозабору, 2 – дані лабораторії дериваційного каналу)

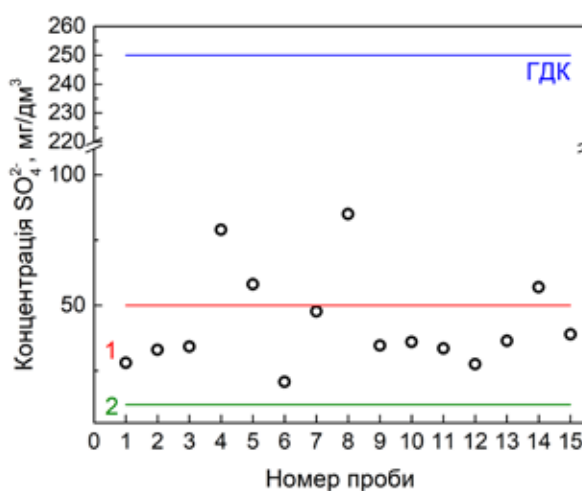


Рис. 9. Вміст сульфатів у відібраних пробах
(1 – дані лабораторії Минайського водозабору, 2 – дані лабораторії дериваційного каналу)

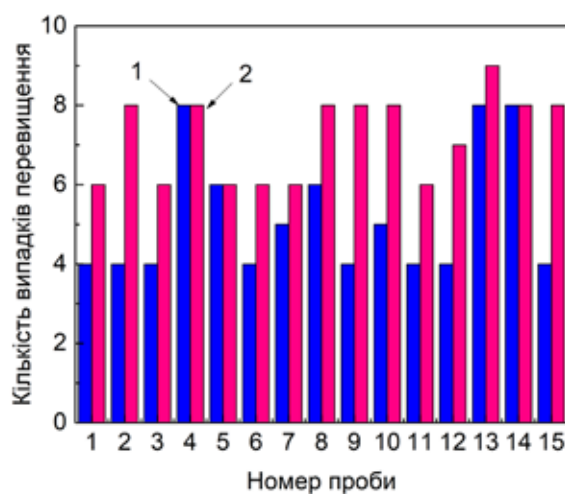


Рис. 10. Кількість випадків перевищення показників якості води у споживачів
у порівнянні з 1 – даними лабораторії Минайського водозабору, 2 – даними лабораторії дериваційного каналу

Порівняння якості водопровідної води із результатами станції водопідготовки дериваційного каналу р. Уж вказує на те, що найбільші відхилення було відмічено у мікрорайонах Оноківці (за 9 показниками) і БАМ, Компотний, Свєпомоц, Вербник, Станційний, Доманинці та Горяни (за 8 показниками).

Головні висновки. Виявлено, що у процесі транспортування до споживача вода забруднюється, що пов'язано із зношеністю водопровідної мережі м. Ужгорода.

1. За вмістом мангану вода не відповідає вимогам до якості питної води, оскільки визначені концентрації перевищують величину ГДК, а у 7 відібраних пробах – у 1,2–2,4 разів. Концентрація феруму є вищою за нормативний показник у мікро-

районах БАМ, Компотний та Доманинці і є більшою ніж у 2 рази за його вміст у воді, яка подається у мережу.

2. Показник рН, сухий залишок, загальна жорсткість, вміст амонію, хлоридів, нітратів та сульфатів відповідали нормативним значенням, але у частині досліджених зразках води були більшими порівняно із параметрами якості води лабораторій станцій водопідготовки,

3. Найбільш забруднена питна вода у мікрорайонах Оноківці, Доманинці і Свєпомоц, у яких відмічається погіршення якості води за 8–9 показниками порівняно із водою, яка подається у мережу, що свідчить на необхідність технічного переоснащення водопровідної системи.

Література

1. Вода з крана. URL: <https://buvrtyasa.gov.ua/newsite/?p=1066> (дата звернення: 13.05.2024)
2. Звіт про діяльність за 2024 рік. URL: http://voda.uz.ua/?page_id=5875 (дата звернення: 05.01.2025).
3. Закон України «Про питну воду та питне водопостачання» від 18.05.2017 № 2047–VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2918-14#Text> (дата звернення: 16.10.2024).
4. Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 12.05.2010 р. про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text> (дата звернення: 20.08.2024).
5. Результати хіміко-бактеріологічного аналізу питної води централізованих систем водопостачання з водозбору «Минай» за 2024 рік. URL: http://voda.uz.ua/?page_id=572 (дата звернення: 15.08.2024).
6. Моніторинг якості водопровідної питної води в м. Ужгород, вихід у мережу з комплексу очистки поверхневих вод (КОПВ) за 2024 рік. URL: http://voda.uz.ua/?page_id=392 (дата звернення: 15.08.2024).
7. Децентралізація в Україні. URL: <https://decentralization.ua/newgromada/3892> (дата звернення: 13.08.2024).
8. Карта Ужгорода: пошук місця за назвою або адресою. URL: <https://www.0312.ua/map> (дата звернення: 13.08.2024).
9. Hardness in Drinking-water Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. URL: https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/hardness-bd.pdf?sfvrsn=a13853a9_4 (last accessed: 20.09.2024).
10. Sengupta P. Potential Health Impacts of Hard Water. *Int J Prev Med*. 2013. Vol. 4, No 8. P. 866–875.
11. Dubey A. A Study On Effects Of Hard Water On Human Health Research Ambition. *An International Multidisciplinary e-Journal*. 2022. Vol. 6, No IV. URL: <https://doi.org/10.53724/ambition/v6n4.06> (last accessed: 11.09.2024).
12. Аміак у питній воді. Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ Аміак). 2003. URL: https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/ammonia.pdf (last accessed: 05.11.2024).
13. Гомонай В.І., Мільович С.С. Медична хімія. Вінниця: Нова книга, 2016. 672 с.
14. Donghao L., Yuqing T., Rui W., Zhang T., Shuhui Sh., Ping Z., Tong Z. Sodium, potassium intake, and all-cause mortality: confusion and new findings. *BMC Public Health*, 2024. Vol. 24, No 180. URL: <https://doi.org/10.1186/s12889-023-17582-8> (last accessed: 06.12.2024).
15. Мільович С.С., Гомонай В.І., Стерчо І.П., Кремса С.В. Сорбція іонів феруму на природному та модифікованому клиноптілоліті. вплив окиснювачів. *Наук. вісник Ужгородського ун-ту. Серія «Хімія»*. 2021. № 2 (46). С. 86–91.
16. Manganese in Drinking-water Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. *World Health Organization, WHO/SDE/WSH/03.04/104/Rev/1*. (Geneva, 2011). Geneva, 2011. P. 29.
17. Ward M.H., Jones R.R., Brender J.D., De Kok T.M., Weyer P.J., Nolan B.T., Villanueva C.M., Van Breda S.G. Drinking Water Nitrate and Human Health: An Updated Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2018. Vol. 15(7). P. 1–31.

УДК 574

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.2-59.12>

СУЧАСНІ МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ВИРОБНИЧИХ СТИЧНИХ ВОД НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Пилипчук О.Я., Пічкур Т.В.

Державний університет інфраструктури та технологій

вул. Кирилівська, 9, 04071, м. Київ

olegpilipchuk47@gmail.com, pt1993@ukr.net

У статті висвітлюються сучасні методи очищення виробничих стічних вод на залізничному транспорті. Актуальність нашої роботи визначається зростанням техногенного навантаження на навколишнє середовище з боку залізничного транспорту. Проаналізовано хімічні і фізичні методи, що застосовуються сьогодні для очищення стічних вод в різних місцях дислокації рухомого складу залізниць, вагонів, вагонних депо. Встановлено, що забруднення виробничими стічними водами зумовлено такими факторами:

а) широким спектром забруднення стічними водами залізничної галузі;

б) до природних методів очищення відносяться ґрунтові методи очищення в біологічних ставках. Очищення в останньому випадку відбувається під дією ґрунтової мікрофлори, сонця, повітря і під впливом життєдіяльності рослин. При штучній аерації в нижній частині ставків підводиться повітря. У спорудах штучного біологічного очищення активна біомаса розміщується на нерухомому матеріалі, а вода стікає по матеріалу завантаження (біофільтри). Активна біомаса може перебувати у завислому стані (аеротенки). Ці два способи можна використовувати одночасно (занурені біофільтри і біотенки). У статті також розглянуті приклади розрахунків обладнання щодо очищення виробничих стічних вод на транспортних підприємствах з допомогою механічних і фізико-механічних методів очищення, а також оцінка ефективності їх роботи.

Результати експериментальних досліджень також показали, що використання сучасних методів очищення виявилися досить ефективними відносно до недавно забрудненого навколишнього середовища, застосування сучасних методів очищення виявилися досить ефективними під час їх застосування із високою міючою здатністю.

Використання перолксикарбону натрію як ефективного миючого засобу для очищення виробничих стічних вод знаходить своє пояснення в особливому механізмі, а саме в гравітаційно-флотаційному ефекті. На основі застосування сучасних методів очищення забруднених стічних вод слід пропонувати різні методи, екологічно безпечних миючих засобів (особливо гравітаційно-флотаційних відмивачів нафтопродуктів).

Експериментальні дослідження показали високу ефективність (99%) застосування сучасних методів для очищення стічних вод на залізничному транспорті. Це дозволило дійти висновку, що використання сучасних методів значно знижує небезпеку забруднення від миючих речовин (шляхом зниження вмісту нафтопродуктів і важких металів). *Ключові слова:* забруднення виробничих стічних вод, залізничний транспорт, миючі засоби, екологія.

Modern methods of industrial wastewater treatment in railway transport. Pylypchuk O., Pichkur T.

The article highlights modern methods of industrial wastewater treatment in railway transport. The relevance of our work is determined by the growth of technogenic load on the environment from railway transport. The chemical and physical methods used today for wastewater treatment in various locations of railway rolling stock, wagons, and wagon depots are analyzed. It was established that pollution with industrial wastewater is caused by the following factors:

a) a wide range of pollution with wastewater from the railway industry;

b) natural purification methods include soil purification methods in biological ponds. Purification in the latter case occurs under the influence of soil microflora, sun, air, and under the influence of plant life. During artificial aeration, air is supplied to the lower part of the ponds.

In artificial biological treatment facilities, active biomass is placed on a stationary material, and water flows over the loading material (biofilters). Active biomass can be in a suspended state (aerotanks). These two methods can be used simultaneously (submerged biofilters and biotanks). The article also considers examples of calculations of installations for the treatment of industrial wastewater at transport enterprises using mechanical and physical-mechanical cleaning methods, as well as an assessment of the effectiveness of their work.

The results of experimental studies also showed that the use of modern cleaning methods turned out to be quite effective in relation to freshly polluted environments, the use of modern cleaning methods turned out to be quite effective when they are used with high cleaning capacity. The use of sodium peroxycarbonate as an effective detergent for the treatment of industrial wastewater finds its explanation in a special mechanism, namely the cavitation-flotation effect. Based on the application of modern methods of cleaning contaminated wastewater, various methods, environmentally friendly detergents (especially cavitation-flotation scrubbers of petroleum products) should be proposed. Experimental studies have shown high efficiency (99%) of the application of modern methods for wastewater treatment in railway transport. This led to the conclusion that the use of modern methods significantly reduces the risk of pollution from detergents (by reducing the content of petroleum products and heavy metals). *Key words:* industrial wastewater pollution, railway transport, detergents, ecology.

Постановка проблеми. Частка прісної води, яку використовує людство для своїх потреб, складає лише малу частину загальних водних ресурсів

Землі. Цієї води повністю вистачало аж до середини ХХ сторіччя. Науково-технічний прогрес за відносно короткий час порушив рівновагу, яка склалася

сторіччями у всіх ланках кругообігу, цим власне змінив якість циркулюючої води. Це призвело до того, що вже, в деяких зонах Земної кулі не вистачає прісної води, а в багатьох регіонах, хоча прісної води поки-що достатньо, вона вже сильно забруднена. Ось чому раціональне використання і охорона водних ресурсів набувають все більшого значення. Ці питання є особливо важливі для України, яка сьогодні перебуває на стадії перехідного суспільства і переживає глибоку еколого-економічну кризу.

Актуальність дослідження. Залізничний транспорт відноситься до тієї галузі народного господарства, яка є активним і постійним джерелом комплексного впливу шкідливих речовин на навколишнє середовище. Із усього розмаїття забруднюючих речовин, що впливають на природне середовище під час експлуатації залізничного транспорту, слід виділити як найбільш масштабні, які постійно надходять в навколишнє середовище: забруднені стічні води (нафта і нафтопродукти, іони важких металів, окиси нітрогену, сульфур, карбон, і газоподібних вуглеводнів).

Наша публікація підготовлена в контексті практичної екології на залізничному транспорті. Нами розглядається широкий спектр завдань, який охоплює усі сфери виробничої діяльності на залізничному транспорті та їх вплив на навколишнє середовище. У статті характеризуються найбільш сучасні методи та приклади розрахунків, які дозволяють оцінити в кожному конкретному випадку рівень впливу підприємств залізничної галузі на об'єкти навколишнього середовища і розрахувати необхідні засоби захисту. Негативне навантаження на навколишнє середовище починається з моменту функціонування підприємств залізничного транспорту і продовжуються постійно протягом тривалого часу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Потрібно відзначити, що перші систематизовані дослідження проблеми – застосування сучасних методів дослідження забруднених стічних вод на залізничному транспорті в Україні були проведені співробітниками кафедри екології та безпеки життєдіяльності Київського інституту залізничного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій України [1-2]. У цих статтях, присвячених впливу залізничного транспорту на екологію, питанням боротьби із забрудненням стічних вод, приділяється належна увага. Але ще до наших досліджень в Україні, починаючи з середини ХХ ст. даними питаннями почав займатися О.М. Кривописин [3]. У статті, присвяченій охороні навколишнього середовища у сучасних умовах на залізниці, питання очищення забруднених стічних промислових вод займає належне місце. На особливу увагу заслуговує монографія В.Д. Романенка «Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями» [4]. Стаття співзвучна з нашою статтею.

У цей же час доктор географічних наук, професор, український вчений, гідролог, гідрохімік, гідроеколог, фахівець з дослідження якості поверхневих вод та управління водними ресурсами Валентин Кирилович Хільчевський опублікував серію фундаментальних монографій та підручників з означеного нами питання. Для нас надзвичайно важливою є інформація про забруднення природних вод та їх охорона: джерела забруднення природних вод, господарсько-побутові стічні води і методи їхнього очищення, стічні води промислових об'єктів і методи їхнього очищення, самоочищення водоєм, управління охороною вод від забруднення, удосконалення моніторингу якості поверхневих вод суші, комплексна оцінка й нормування якості поверхневих вод як основа екологічного менеджменту, оцінка якості забруднених промислових вод.

Метою нашого дослідження є аналіз сучасних методів очищення виробничих стічних вод на залізничному транспорті, їх вплив на екологію довкілля.

Виклад основного матеріалу. Води, які видаляються після їх використання, називаються *стічними*. При цьому вода, використана на побутові і виробничі потреби, містить забруднення, які змінюють її первісний хімічний склад або фізичні властивості. Вона підлягає видаленню з території виробничого об'єкту.

У залежності від походження, виду і якісної характеристики домішок стічні води поділяються на побутові, виробничі і атмосферні (грозові).

До *побутових стічних вод* відносяться води від їдальні і туалетних кімнат, ванних і пральних об'єктів, а також від підприємств громадського харчування і лікарських закладів.

До *виробничих стічних вод* відносяться води, які утворилися при проведенні різних технологічних процесів під час видобування корисних копалин, а також вода, яка пройшла через забруднену територію підприємства і непридатна для повторного використання.

Виробничі стічні води поділяють на дві категорії: *забруднені і умовно чисті*.

Забруднені стічні води, у свою чергу, поділяють на три групи; забруднені органічними домішками, забруднені мінеральними домішками і забруднені сумішшю цих домішок.

Кількість і склад виробничих стічних вод залежать від технологічних процесів, режимів їх проведення, складу сировини, випускної продукції і висхідної свіжої води тощо.

На підприємствах залізничного транспорту стічні води утворюються в основному під час охолодження апаратури, при промиванні виробів, при травленні і нанесенні гальванічних покриттів, при фарбуванні виробів і при охолодженні станкового парку емульсіями. Основними забруднюючими речовинами стічних вод ремонтних цехів, локомотивних і вагонних депо є масла, емульсії різного роду, сода і ін.

Зливові води утворюються в результаті випадання атмосферних опадів, танення снігу і поливання території. У складі зливових стічних вод багато піску, глини, сміття, нафтопродуктів і специфічних домішок, характерних для того чи іншого виробництва.

Оцінюючи стічні води при скиді їх у водойми, необхідно враховувати вид водокористування даної водойми.

Розрізняють господарсько-побутове, рибогосподарське, промислове і сільськогосподарське водокористування.

При класифікації методів очищення і видалення домішок зі стічних вод використовуються наступні класифікаційні ознаки: фізико-хімічні процеси, які застосовуються під час очищення води; сили, які впливають на домішки, які містяться у стічній воді; здатність домішок змінювати свій стан в процесі очищення.

У даний час широко використовуються традиційні методи очищення: механічні; хімічні; фізико-хімічні; біологічні.

До *механічних методів очищення* відносяться: проціджування, відстоювання, освітлення при згущеному шарі осаду, фільтрування, доцентрові методи сепарації.

Механічне очищення застосовується для виділення із стічних вод нерозчинних мінеральних і органічних сумішей. Частіше за все вона служить попереднім етапом очищення виробничих стічних вод. Механічне очищення забезпечує виділення завислих речовин до 90-95 % і зниження органічних забруднювачів за показником БПК (біохімічна потреба в кисні) до 25 %.

Стандартна схема очищення на очисних станціях складається з проціджування через решітки, пісковловлювання, відстоювання і фільтрування. В низці випадків використовуються нафтовловлювачі, гідроциклони і рідинні сепаратори.

До *хімічних методів* очищення стічних вод відносяться: нейтралізація; окислення; відновлення: реагентні методи виділення забруднюючих речовин у вигляді нерозчинних або малорозчинних домішок.

Хімічне очищення стічних вод проводиться у зворотній системі водозабезпечення, а також перед скидом води у водойми, або міську каналізацію. Цей метод застосовується також для попереднього очищення стічної води перед біологічним або фізико-хімічним очищенням.

Нейтралізація стічних вод проводиться для зниження вмісту в них кислот або лугів. Практично нейтральним вважаються води $pH = 6,5-8,5$.

Окислювальний метод використовують для видалення із виробничих стічних вод ціанідів, сірководню, сульфідів та інших речовин.

В якості окислювачів найбільш часто застосовують хлор, гідрохлорид кальцію, хлорне вапно, озон, технічний кисень, окисли марганцю, перманганат, біохромат калію.

Метод відновлення використовується для очищення стічної води, в якій містяться легковідновлювальні сполуки міді, хрому, миш'яку і ртуті. В якості реагентів відновлювачів найбільше поширеними стали натрієві солі сірчистої кислоти, а також сульфід заліза і діоксид сірки.

Реагентні методи застосовуються для переведення розчинних домішок у малорозчинні з наступним їх виділенням із води. Цей метод використовується для очищення виробничих стічних вод від сполук важких кольорових металів (мідь, нікель, кобальт, цинк, свинець, ртуть). Останні випадають в осад у вигляді відповідних гідроксидів, сульфатів або карбонатів.

Для виділення важких кольорових металів і заліза з кислих стічних вод використовують ті ж реагенти, що й при нейтралізації.

Фізико-хімічні методи очищення виробничих стічних вод відіграють важливу роль, Найбільше поширення отримали наступні методи очищення:

- коагуляція;
- сорбція;
- флотація;
- мембранні методи.

Ці методи використовуються як самостійно, так і в поєднанні з механічними і біологічними методами. Найбільш активними є фізико-хімічні методи очищення, які застосовують в локальних дослідних системах промислових підприємств.

Коагуляція – це процес злипання дисперсних частинок за рахунок їх міжмолекулярної взаємодії і об'єднання в агрегати. Речовини, які здатні викликати коагуляцію частинок називаються коагуляторами. До них відносяться солі амонію та заліза. До факторів, здатних викликати коагуляцію, можна віднести зміну температури, перемішування рідини, вплив випромінювання, або електричного заряду. На процес коагуляції сильно впливає додавання у воду електролітів.

При очищенні виробничих стічних вод в основному застосовується процес гетерокоагуляції, який можна визначити як взаємодію колоїдних та дрібнодисперсних частинок стічної води з агрегатами, які утворюються при введенні коагулянтів у стічну воду.

Сорбція – це процес поглинання речовини із стічної води твердим або рідким сорбентом. Поглинання речовин рідким адсорбентом відбувається по всьому об'єму води. При поглинанні твердим адсорбентом поглинання речовини із стічної води відбувається на поверхні адсорбенту.

Сорбційне очищення використовується для видалення із стічної води ароматичних сполук, слабких електролітів, неорганічних сполук і гідрофобних аліфатичних сполук. В якості сорбентів застосовується активоване вугілля, алюмогелі, попіл, коксова дрібнота, торф, шлаки і активні глини.

Флотація – це процес насичення стічної води бульбашками повітря, разом з якими на поверхню

спливають дисперсні забруднення. Флотація широко використовується для очищення виробничих стічних вод від нафти і нафтопродуктів, масел і різних волокнистих матеріалів. Бульбашка повітря прилипає до поверхні частинки тільки в тому випадку, якщо рідина погано її змочує.

Зворотній осмос і ультрафільтрація – це мембранні методи розділення рідких систем. Розділений розчин доторкується до напівпроникної мембрани з одного її боку. Метод зворотного осмосу полягає у фільтруванні розчинів під тиском через мембрани, які пропускають розчинник і повністю або частково затримують молекули розчинної речовини. Метод зворотного осмосу можна використати для виведення із стічної води емульгованих масел, фенолів, іонів важких металів.

До термічного оброблення стічних вод відносяться:

- концентрація стічних вод з наступним виділенням розчинених речовин;
- окислення органічних речовин, які забруднюють стічні води;
- вогнева переробка.

При концентруванні стічних вод з них виділяються мінеральні солі, а очищена вода використовується в зворотній системі водозабезпечення. Для концентрування розчинів використовуються методи випаровування, виморажування і кристалогідратний метод. В останньому випадку у стічну воду додають гідратуотворюючі агенти, наприклад, пропан, хлор, хладон, діоксид вуглецю тощо. Частина молекул води входить до складу гідратуотворюючих агентів, при цьому концентрація домішок зростає.

При *біологічному методі* очищення стічних вод органічні і неорганічні забруднювачі видаляються завдяки здатності деяких мікроорганізмів жити в забруднювачах стічних вод речовинами в процесі своєї життєдіяльності. Основний процес – це біологічне окислення сукупністю різних бактерій, найпростіших водоростей, грибів тощо.

Очищення стічних вод проводять в аеробних і анаеробних умовах. Оптимальною температурою для здійснення аеробного процесу вважається 20-30°C. Для цього в середовищі необхідно підтримувати достатню концентрацію органічного вуглецю, азоту і фосфору. Концентрація розчинного кисню повинна бути не менше 2 мг/л.

До природних методів очищення відносяться ґрунтові методи і очищення в біологічних ставках. Очищення стічних вод в цьому випадку відбувається під дією ґрунтової мікрофлори, сонця повітря і під впливом життєдіяльності рослин. При штучній аерації в нижню частину ставка подають повітря.

Ми у своїх дослідженнях користуємося прикладами розрахунків очищення виробничих стічних вод на залізничних підприємствах з допомогою механічних і фізико-хімічних методів очищення, проводиться також оцінка ефективності їх роботи.

Перелічимо лише деякі з цих прикладів.

1. Визначення необхідного ступеню очищення стічної води за кількістю завислих речовин. Це дослідження проводиться для визначення необхідного очищення стічної води від забруднюючих завислих домішок з метою вирахування кінцевої концентрації забруднень у стічній воді після очищення перед її скидом у водойму. Кінцева концентрація завислих речовин в стічних водах перед скидом у водойму ми вираховуємо за певною формулою.

2. Визначення основних розмірів нафтовловлювачів у зворотній системі водозабезпечення промислово-пропарювальної станції на залізничному транспорті. Для очищення стічних вод, які містять нафту і нафтопродукти, при концентраціях понад 100 мг/л ми застосовували нафтовловлювачі, які мають вигляд прямокутних, витягнутих у довжину резервуарів. У них відбувається розділ нафти і води за рахунок різниці їх густини. Нафта і нафтопродукти піднімається до поверхні, а завислі домішки у стічній воді осідають на дно.

3. Визначення розмірів і ефективності очищення пластинчастого відстійника для видалення із стічної води завислих речовин із заданою гідравлічною крупністю. Первинні відстійники застосовують для видалення із стічної води нерозчинних речовин, які під дією гравітаційних сил осідають на дно відстійника. Для підвищення ефективності відстоювання процес осаджування рекомендується проводити в тонкому шарі рідини. Для реалізації цього методу на практиці використовують трубчасті або пластинчасті відстійники, в яких за рахунок малої глибини процес відстоювання протікає за короткий час (4-10 хвилин), що дозволяє зменшити розміри відстійника.

4. Визначення розмірів і часу роботи вертикального напірного фільтра із зернистим завантаженням для очищення стічної води від звисів. Для очищення води від механічних домішок ми використовували в якості фільтруючого матеріалу кварцовий пісок, керамічну крихту, сульфовугілля, подрібнений антрацит, а також зернисті штучні матеріали, наприклад, гранульований поліпропілен. Ці матеріали не повинні взаємодіяти з обробленою водою і не забруднювати її. При фільтруванні суспензій через фільтри відбувається механічна затримка твердих часток на вході в канали фільтруючого шару і адгезія цих часток на поверхні зерен шару. Фільтри з зернистим шаром поділяються на повільні і швидкісні. Повільні фільтри – це бетонні або цегляні резервуари з дренажним пристроєм, на якому розміщується фільтруючий шар. Швидкість фільтрування в них складає 0,1-0,3 м/год. Швидкісні фільтри забезпечують швидкість фільтрації від 5 до 12 м/год.

Висновок. Певна обмеженість у водних ресурсах в Україні вимагає втілення таких засад управління, комплексного використання методів зниження забруднень стічних вод, які б відповідали сучасним вимогам, особливу увагу необхідно при-

діляти питанням якості водних ресурсів, у тому числі забруднення стічних вод на залізничному транспорті. Особлива увага повинна приділятися екологічним оцінкам фізичних властивостей хімічного і гідробіологічного складу стічних вод. Починаючи з 1998 р. в Україні почався рух

у цьому напрямку, почала виконуватися програма «Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями», виконується низка міжнародних екологічних проектів під егідою ООН та Євросоюзу стосовно річок Дніпро, Тиса, Південних Буг та ін.

Література

1. Пилипчук О.Я., Висоцька Т.І., Пічкур Т.В. Сучасні шляхи зниження впливу залізничного транспорту на навколишнє середовище: проблеми очищення ґрунту від нафтопродуктів. Екологічні науки: Науково-практичний журнал. 2020. № 3(30). С. 113–118.
2. Пилипчук О.Я., Стрелко О.Г., Висоцька Т.І., Пічкур Т.В., Соловйова Л.М., Сорочинська О.Л. Еколого-економічна оцінка господарської діяльності залізничного транспорту. Екологічні науки: Науково-практичний журнал. 2021. № 7(34). С. 26–30.
3. Кривопішин О.М. Напрямки поліпшення екологічного стану залізниць у період їх реформування О. М. Кривопішин, Г. А. Ейтутіс. Економіст. 2007. № 6. С. 28–31.
4. Романенко В. Д Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. Київ: Символ-Т. 1998. 28 с.
5. Хільчевський В.К. Водопостачання і водовідведення: гідроекологічні аспекти: Підручник. Київ: ВПЦ «Київський університет». 1999. 319 с.
6. Хільчевський В. К. До питання про класифікацію природних вод за мінералізацією. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2003. Т.5. С. 1–18.
7. Основні засади управління якістю водних ресурсів та їхня охорона / За ред. Хільчевського В. К. Київ: ВПЦ «Київський університет». 2015. 154 с.

РЕСУРСНИЙ ПОТЕНЦІАЛ МІНЕРАЛЬНИХ РАДОНОВИХ ВОД НА ПРИКЛАДІ КУРОРТНОЇ ДІЛЯНКИ В М. НЕМИРІВ

Шаріков С.І., Чомко Д.Ф.

Навчально-науковий інститут «Інститут геології»
Київського національного університету імені Тараса Шевченка
вул. Васильківська, 90, 03022, м. Київ
s.sharikov@gmail.com, Chomko@knu.ua

Перспективи збільшення мінерально-сировинної бази України є однією із основних стратегій розвитку нашої країни сьогодні і в післявоєнний період.

На сьогоднішній момент збільшення кількості загальних затверджених запасів мінеральних радонових вод за рахунок відкриття нових родовищ не є першочерговою складовою, так як це є багатовитратно. Проте детальний аналіз можливого збільшення кількості експлуатаційних запасів на базі вже розвіданих родовищ – є перспективним.

Дана робота відноситься до однієї із складових плану досягнення спільного кращого майбутнього ухваленого членами Організації Об'єднаних Націй у 2015 р. (17 цілей сталого розвитку). Матеріал викладений у статті відноситься до 3 пункту, а саме – Безпечення здорового способу життя та сприяння благополуччю для всіх у будь-якому віці.

Радонові мінеральні води – є бальнеологічними підземними водами, що мають лікувальні властивості при внутрішньому чи зовнішньому застосуванню. Важливим фактором під час експлуатації таких підземних вод є їх відповідність кондиціям, тобто встановленим гранично-допустимим концентраціям (далі – ГДК), які діють на сьогоднішній момент.

В різні періоди часу в межах Вінницької області проводились різні стадії розвідки мінеральних радонових вод від пошукових робіт до детальної розвідки.

В межах поширення мінеральних радонових вод по окремих ділянках родовищ має місце перевищення вмісту нітратів. У відповідності до встановлених стандартів, вміст нітратів для мінеральних вод не має перевищувати 50 мг/дм³, проте встановленими нормами не визначаються напрямки використання води, а саме для зовнішнього застосування.

Тому детальний аналіз діючих родовищ, оцінка перспектив розширення чи збільшення експлуатаційних запасів, визначення ресурсного потенціалу установ, які спеціалізуються на радонових підземних водах є важливим завданням. *Ключові слова:* радон, мінеральні радонові підземні води, родовище, запаси, якість підземних вод.

Resource potential of mineral radon waters using the example of a resort site in the city of Nemiriv. Sharikov S., Chomko D.

Prospects for increasing the mineral resource base of Ukraine are one of the main strategies for the development of our country today and in the post-war period.

At present, increasing the number of total approved reserves of mineral radon waters by opening new deposits is not a priority component, as it is costly. However, a detailed analysis of the possible increase in the number of operational reserves based on already explored deposits is promising.

This work refers to one of the components of the plan for achieving a common better future approved by the members of the United Nations in 2015 (17 sustainable development goals). The material presented in the article refers to point 3, namely – Ensuring a healthy lifestyle and promoting well-being for all at any age.

Radon mineral waters are balneological underground waters that have healing properties when used internally or externally. An important factor during the operation of such groundwater is their compliance with the conditions, i.e. the established maximum permissible concentrations (hereinafter referred to as MPC), which are in force today.

At different periods of time, various stages of exploration of mineral radon waters were carried out within the Vinnytsia region, from search works to detailed exploration.

Within the distribution of mineral radon waters in certain areas of the deposits, there is an excess of nitrate content. In accordance with established standards, the nitrate content for mineral waters should not exceed 50 mg/dm³, however, the established norms do not determine the directions of water use, namely for external use.

Therefore, a detailed analysis of existing deposits, assessment of the prospects for expanding or increasing operational reserves, determination of the resource potential of institutions specializing in radon groundwater is an important task. *Key words:* radon, mineral radon groundwater, deposit, reserves, groundwater quality.

Постановка проблеми. У зв'язку із збройною агресією російської федерації, постає питання щодо реабілітації військових та цивільних. Зважаючи на той факт, що розвідка нових родовищ є на сьогоднішній момент багатовитратною, аналіз даних досліджень минулих років і збільшення мінерально-ресурсного потенціалу за рахунок розвіданих родовищ – є перспективним.

В результаті проведених досліджень було встановлено, що в межах Курортної ділянки, яка розта-

шована в м. Немирів є потенціал до збільшення експлуатаційних запасів мінеральних радонових вод.

Актуальність дослідження. Детальний аналіз розвіданих родовищ може надати можливість збільшення мінерально-ресурсної бази на основі вже розвіданих родовищ.

На сьогоднішній момент досі залишається невирішеним питання підвищеного вмісту нітратів у деяких свердловинах, за допомогою яких відбувається видобуток мінеральних радонових вод. Слід заува-

жити, що природа походження підвищеного вмісту нітратів може бути як природною, так і антропогенною. Додатково залишається невивченим питання впливу підземних вод із підвищеним вмістом нітратів при зовнішньому застосуванні на організм людини, що потребує детального довивчення.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними значеннями. Дослідження показали, що збільшення експлуатаційних запасів мінеральних радонових вод можливе за рахунок недіючої (на сьогоднішній момент) експлуатаційної свердловини № 6-Р. Під час детальної оцінки експлуатаційних запасів дана свердловина була виключена із підрахунку запасів, через перевищення вмісту нітратів (>65 мг/дм³) згідно ГСТУ 42.10-02-96 «Води мінеральні лікувальні. Технічні умови» [1]. Проте підвищений вміст нітратів не є результатом забруднення цільового водоносного горизонту, а є наслідком радіолізу води. Більш детальні дослідження цієї проблеми могли б призвести до удосконалення діючих нормативних вимог щодо мінеральних вод саме для зовнішнього застосування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У статті [2] (*Ashref Seid, Ash Kurnaz та ін.*), що була опублікована в «International Journal of Environmental Analytical Chemistry», аналізуються комплексні хімічні аналізи проб бутильованої води на вміст радону. Загалом було проаналізовано 49 зразків мінеральної бутильованої води від 22 брендів, які продаються в Туреччині. Було встановлено, що вміст радону в цих пробах коливається в межах 30,6-57,6 мБк/дм³, із середнім значенням $43,1 \pm 6,1$ мБк/дм³.

Додатково проводились вимірювання показників рН, солоності та загальної кількості розчинених твердих речовин. За результатами цього дослідження було встановлено, що всі отримані значення знаходяться в межах рекомендованих норм Всесвітньої організації охорони здоров'я та Європейського Союзу для питної води і бутильована вода, що досліджувалась не становить ризику для життя та здоров'я населення.

Комплексні дослідження, щодо режимних спостережень за вмістом радону у питних водах проводять і в Україні. Так, у статті [3] (*М. Бужинний та Л. Михайлова*) представлені результати моніторингових досліджень за 20-річний період, щодо концентрацій радону-222 у питній воді України за період з 2003 по 2021 рік. Загалом було проаналізовано 1228 зразків води із свердловин у 23 областях України. В результаті цих досліджень було встановлено, що 11% зразків перевищують встановлену державну та європейську норму вмісту радону-222 у питній воді, яка становить 100 Бк/дм³.

Найвищі концентрації вмісту радону-222 були виявлені в регіонах, розташованих на Українському кристалічному щиті, зокрема в Київській, Житомирській, Черкаській та Вінницькій областях. Слід відзначити,

що саме в цих областях розташовані найбільш відомі родовища мінеральних радонових вод.

Автори статті наголошують про необхідності детального вивчення радіоактивності підземних вод у цих регіонах та впровадження заходів для покращення радіаційної безпеки питної води. Також підкреслюється важливість розширення моніторингу на недосліджені джерела водопостачання для мінімізації радіаційного впливу на населення.

У статті [4] (*Нікіпелова О., Кисилевська А. та Солодова Л.*) приводиться аналіз сучасного стану нормативно-правової бази України щодо мінеральних вод та пропонують шляхи її вдосконалення. Особлива увага авторів приділяється саме розробці гігієнічних норм та нормативів, які б відповідали міжнародним та європейським стандартам, з урахуванням національних особливостей.

Автори зазначають, що на сьогоднішній час в Україні діють стандарти ДСТУ 878-93 «Води мінеральні питні. Технічні умови» та ГСТУ 42.10-02-96 «Води мінеральні лікувальні. Технічні умови», які регулювали вимоги до фасованих мінеральних вод та лікувальних вод, що використовуються в санаторно-курортній практиці при зовнішньому застосуванні відповідно. Однак ці стандарти потребували оновлення у відповідності до міжнародних вимог.

Відзначається, що першим кроком у вирішенні цього питання має бути розробка та затвердження гігієнічних нормативів, які визначають параметри безпечності та якості мінеральних вод. Такі нормативи мають стати основою для створення нових санітарно-гігієнічних вимог до мінеральних вод та підприємств, що займаються їх виробництвом, фасуванням, використанням у лікувальних цілях при внутрішньому та зовнішньому застосуванні. Розробка таких нормативів сприятиме підвищенню надійності оцінки потенційних ризиків для здоров'я населення та забезпеченню відповідності українських стандартів до міжнародних.

Автори статті також піднімають питання в статті, щодо впровадження нових редакцій національних стандартів на лікувальні води, що будуть враховувати в сучасні наукові досягнення та практичний досвід. Це дозволить забезпечити високий рівень контролю якості та безпечності мінеральних вод, що використовуються.

У висновках автори звіту відзначають про необхідність проведення реформ, щодо вдосконалення нормативно-правової бази України у сфері мінеральних вод, що є важливим кроком для інтеграції вітчизняних стандартів до міжнародного правового поля та забезпечення високої якості та безпечності мінеральних вод для споживачів.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Згідно ГСТУ 42.10-02-96 «Води мінеральні лікувальні. Технічні умови» [1] ГДК токсичних компонентів лікувальних мінеральних вод щодо

концентрації вмісту нітратів (по NO_3^-) має бути не більше 50 мг/дм^3 . Проте дане твердження базувалося на забрудненні цільових водоносних горизонтів під впливом сільськогосподарської діяльності, побутових стічних вод, відходів тваринництва – тобто має місце антропогенний вплив на підземні води. Так, при детальній розвідці Острівної ділянки Хмільницького родовища мінеральних радонових вод було відмічено підвищений вміст нітратів до 150 мг/дм^3 .

Проте антропогенний фактор для родовищ мінеральних радонових вод не є базовим. На родовищах мінеральних радонових вод може відбуватися деяка метаморфізація хімічного складу слабо мінералізованих гідрокарбонатних кальцієвих вод, а також розчинених у воді газів завдяки продуктам радіолізу води.

Новизна. В роботі приведений детальний аналіз хімічного складу підземних вод. В результаті проведених досліджень відзначається природне походження підвищеного вмісту нітратів у водоносному горизонті тріщинуватої зони кристалічних порід докембрію в межах Курортної ділянки Немирівського родовища та можливі шляхи внесення змін до нормативно-правової бази України в частині використання підземних мінеральних вод при зовнішньому застосуванні.

Методологічне або загальнонаукове значення. В даній роботі приведені результати, у відповідності до яких можуть виникнути нові методологічні підходи до оцінки якісного складу мінеральних вод при зовнішньому застосуванні.

Виклад основного матеріалу. Протягом 1997-2002 рр. було проведено детальну розвідку ділянки «Курортна» Немирівського родовища (свердловини № 5, 10-Р) мінеральних радонових вод для зовнішнього лікування у Немирівському районі Вінницької області [5].

Ділянка «Курортна» Немирівського родовища розташоване на південно-східній околиці м. Немирів Вінницької області, у парковій зоні санаторію «Авангард», на лівому березі р. Устя. Родовище розкрите двома свердловинами: №№ 5, 10-Р.

Слід зауважити, що на розгляд ДКЗ України подавались експлуатаційні запаси також і по свердловині № 6-Р в кількості $84 \text{ м}^3/\text{д}$, проте зважаючи на підвищений вміст нітратів ($>65 \text{ мг/дм}^3$) вони були виключені з підрахунку запасів.

Загалом в межах родовища пробурено та досліджено ще декілька свердловин №№ 6-Р-11-Р, які в процесі попередньої та детальної розвідки виявились або малодобітними або некондиційними відповідно до чинного законодавства.

Геологічна будова родовища. У структурі Українського щита район робіт займає західну окраїну Дністровсько-Бузького мегаблоку в місці зчленування Подільського та Середньобузького блоків I порядку. Має триярусну будову: нижній ярус складений ранньодокембрійськими метаморфічними та

ультраметаморфічними породами, сформованими протягом кількох тектонічних циклів і за різних термодинамічних умов. Майже повсюдно (за винятком ділянок у долинах річок) він перекритий осадами покривного і четвертинного ярусів. Покривний комплекс разом з повсюдно розвиненою площинною корою вивітрювання має потужність до перших десятків метрів. Генетично це дуже різномірні породи – від континентальних глин і пісків до морських вапняків, що розвинуті більше на південному заході території. Четвертинні відклади, представлені субаквальними і лесовими фаціальними різновидами. Район робіт розташований у межах глибинного розлому, що розділяє структурно-формаційні зони (блоки I порядку).

Метаморфічні утворення представлені породами гайсинського ультраметаморфічного комплексу. Представлені насамперед плагіогранітами та плагіомігматитами біотитовими.

Кайнозойські відкладення мають практично повсюдне поширення і представлені відкладами неогену і четвертинної системи.

Немирівське родовище мінеральних радонових вод у тектонічному плані належить до перетину Муховецько-Монастирецького та Ладижин-Брацлавського розломів. За межами тектонічних розломів кристалічні породи є практично безводними, нижче зон тріщинуватості спостерігається перехід до монолітних порід кристалічного фундаменту.

Гідрогеологічна будова родовища. Немирівське родовище ділянка «Курортна» розташоване в південно-західній частині гідрогеологічної провінції складчастої області Українського кристалічного щита. В межах родовища набули поширення та були вивчені наступні водоносні горизонти:

- в сучасних алювіальних відкладах заплав і днищ балок;
- в середньо-верхньочетвертинних еолово-делювіальних відкладах (вододілів і їх схилів);
- у відкладах балтської світи;
- в тріщинних зонах кристалічних порід докембрію.

Зважаючи на той факт, що в межах родовища експлуатаційним є водоносний горизонт тріщинуватої зони кристалічних порід докембрію нижче приводимо його детальну характеристику.

Водоносний горизонт тріщинуватої зони кристалічних порід докембрію розкритий експлуатаційними свердловинами №№ 5, 10-Р та містить лікувальні радонові води, які з 1995 р. санаторій «Авангард» використовує для лікувальних потреб зовнішнього застосування.

Для родовищ, які пов'язані із породами кристалічного фундаменту важливу роль має їх (порід) тріщинуватість. В межах ділянки «Курортна» інтенсивна тріщинуватість кристалічних порід генетично та просторово пов'язана із зоною Муховецько-Монастирецького розлому, що перетинає родовище

з північного заходу на північний схід. Так, у 1984 р. на стадії попередньої розвідки в межах розлому були пробурені свердловини №№ 7-Р, 8-Р, 11-Р.

За межами цього розлому активна тріщинуватість різко зменшується, що підтверджується майже безводними свердловинами №№ 9-Р, 14, 15, що пробурені на відстані 60-100 м від Муховецько-Монастирецького розлому.

Даний факт свідчить про високу анізотропію фільтраційних властивостей кристалічних порід докембрію в межах родовища. Абсолютні відмітки статичних рівнів підземних вод Немирівського родовища змінюються від 243,1 м (свердловина № 11-Р, яка знаходиться на північному сході) до 227,1 м (на півдні свердловина № 6-Р). Загалом, підземний стік у північно-західній та північній частинах Курортної ділянки спрямований на південний схід в напрямку до зони Муховецько-Монастирецького розлому. І навпаки, в південно-східній та південній частинах Курортної ділянки він спрямований в протилежну сторону, тобто на північний схід та північ – в напрямку до зони Муховецько-Монастирецького розлому, а також до тектонічного «вузла» – перетин Муховецько-Монастирецького та Ладизин-Брацлавського розломів.

Найбільш водозбагаченими є свердловини, які розташовані в зоні впливу Муховецько-Монастирецького розлому. За межами розлому, дебіти свердловин становлять менше 0,01 дм³/с.

На стадії попередньої розвідки (1987 р.) були проведені поінтервальні випробування експлуатаційних свердловин, що склали в основному 10-30 м, рідше 10-50 м активної тріщинуватості порід. Так, під час проведення групової дослідної відкачки по свердловинах №№ 6-Р, 8-Р до спостережної мережі були включені свердловини №№ 9-Р, 10-Р, 11-Р, 14. При досягненні максимального дебіту на рівні 408 м³/д, зниження рівня в спостережних свердловинах не спостерігалось, також протягом всієї експлуатаційної відкачки (99 діб) зниження рівня не було. Даний дослід зайвий раз підтверджує твердження про те, що режим рівнів підземних вод по водоносному горизонту кристалічних порід докембрію в більшій мірі залежить від інфільтрації атмосферних опадів.

Для підтвердження цього твердження на другому етапі дослідних робіт була проведена відкачка із свердловини № 5 протягом 194 діб, де в якості спостережних виступали свердловини №№ 6-Р, 8-Р. Реакції – не відбувалось.

Вміст радону у воді, а саме його максимальна концентрація спостерігалась в свердловинах, які розташовані в зоні саме тектонічного «вузла», це свердловини №№ 6-Р, 7-Р. По свердловині № 7-Р за даними попередньої розвідки концентрація радону становила 60 нКи/дм³ (2220 Бк/дм³).

Відповідно до детальної розвідки води у водоносному горизонті докембрійських порід можна віднести до дуже слаборадонових (вміст радону

більше 10 нКи/дм³ або 370 Бк/дм³), що належать до Муховецько-Монастирецького та Ладизин-Брацлавського розломів.

Поза межами цих розломів та тектонічного «вузла», слаботріщинуваті докембрійські породи містять практично прісні води, де вміст радону становить менше 5 нКи/дм³ або 185 Бк/дм³.

Так, концентрація радону у свердловинах Немирівського родовища (ДП УГК «Nemiroff»), що розташовані на протилежному боці річки Устя за даними розвідки 2012 р. становить <1,0*10⁻¹² Бк/дм³.

У цьому ж звіті відбирались проби на визначення вмісту нітратів із р. Устя ті із четвертинного водоносного горизонту. Вміст нітратів із криниці становив 14 мг/дм³, р. Устя – 0,6 мг/дм³.

Виходячи з цього можна зауважити, що джерело забруднення цільового водоносного горизонту тріщинуватої зони кристалічних порід докембрію відсутнє і підвищений вміст нітратів у свердловинах Ділянки «Курортна» є наслідком радіолізу води.

Розчинені у воді гази під впливом випромінювань переходять у зв'язаний вміст, наприклад, інертний азот перетворюється на амонійний, нітритний та нітратний іони. Радіоліз підземних вод, обумовлений виділенням енергії в радіаційному полі землі, викликає генерування кисню та утворення водню. У таких випадках підвищений вміст нітратів у воді не може бути показником їх забруднення.

То ж приведення нормативної бази до єдиного значення, або внесення певних критеріїв саме для родовищ мінеральних радонових вод є однією із невирішених питань на сьогоднішній момент.

Мінеральні радонові води ділянки «Курортна» Немирівського родовища свердловинами №№ 5, 10-Р розкривають водоносний горизонт тріщинуватої зони кристалічних порід докембрію та функціонують на території санаторію «Авангард» з 1992 р., використовуються в лікувальній практиці для зовнішнього застосування.

Підземні радонові води в межах гідрогеологічної провінції Українського кристалічного щита генетично та просторово пов'язані з тріщинуватими зонами кристалічних порід докембрію. Радонові води в цих тріщинах строкаті за петрографічним складом і відносяться, зазвичай, до гнейсів, гранітів та їх мігматитів, гранодіоритів, чарнокітів, амфіболітів та інших різновидів магматичних, ультраметаморфічних та метаморфічних порід.

Згідно довідки про кондиції параметри постійних кондицій для ділянки «Курортна» Немирівського родовища (свердловини №№ 5, 10-Р) мінеральної радонової води наступні: загальна мінералізація – до 1,0 г/дм³; концентрація радону у воді – 185-740 Бк/дм³; вміст нітратів – до 65 мг/дм³; значення рН 6,8-7,4 од. рН; температура вод – від 8 °С до 12,0 °С.

За результатами проведених хімічних досліджень по свердловині № 5 було встановлено, що за співвідношенням основних аніонів і катіонів підземні

Таблиця 1

Критерії по лікувальним властивостям свердловин Курортної ділянки м. Немирів

№ свердловини	Вміст радону, Бк/дм ³	ГДК, Бк/дм ³ [6]
5	185-740	Дуже слабкорадонові
10-Р		

води водоносного горизонту тріщинуватої зони кристалічних порід докембрію відносяться до слабкомініралізованих (0,65-0,8 г/дм³) гідрокарбонатних магнієвих кальцієвих, дуже слабо радонових (303,4-799,2 Бк/дм³).

За результатами проведених хімічних досліджень по свердловині № 10-Р було встановлено, що за співвідношенням основних аніонів і катіонів підземні води водоносного горизонту тріщинуватої зони кристалічних порід докембрію відносяться до слабкомініралізованих (0,651-0,848 г/дм³) гідрокарбонатних магнієвих кальцієвих, дуже слабо радонових (225,7-662,3 Бк/дм³) та слабкорадонових (802,9-943,5 Бк/дм³).

В результаті радіохімічних випробувань встановлена відповідність якості води по показниках щодо параметрів кондиції.

Головні висновки. В межах родовища розташована ще одна свердловина № 6-Р по якій не підтверджувались параметри постійних кондицій, а саме – перевищення вмісту нітратів (>65 мг/дм³) згідно вимог ГСТУ 42.10-02-96 «Води мінеральні лікувальні. Технічні умови».

Забруднення водоносного горизонту тріщинуватої зони кристалічних порід докембрію не є антропогенним фактором, а є радіолізом води. Проте дане твердження потребує додаткового довивчення в межах розвіданих родовищ мінеральних підзем-

них вод, де зафіксоване перевищення вмісту нітратів у відповідності до чинного законодавства.

Родовище має потенціал до збільшення експлуатаційних запасів за рахунок свердловини № 6-Р. Питання щодо процесу радіолізу води є комплексне, як гідрологічне, так і гідрогеологічне і потребує більш детального вивчення, щодо причин забруднення підземних вод.

У відповідності до чинного законодавства [1] радоновими вважаються підземні води вміст лікувального компонента в яких перевищує або дорівнює 185 Бк/дм³. Згідно [6] мінеральні радонові води мають наступні критерії по лікувальним властивостям із вмістом специфічних компонентів:

- дуже слабкорадонові – 185-740 Бк/дм³;
- слабкорадонові – 740-1480 Бк/дм³;
- середньорадонові – 1480-7400 Бк/дм³;
- високорадонові – >7400 Бк/дм³.

Перспективи використання результатів досліджень. Результати досліджень можуть бути використані для вдосконалення нормативно-правової бази України в частині використання мінеральних вод для внутрішнього та зовнішнього застосування. Питання підвищеного вмісту нітратів та вплив їх на організм людини при зовнішньому застосуванні у підземних водах не досліджувалось. Необхідно провести подальші дослідження в місцях підвищеного вмісту нітратів на інших родовищах мінеральних радонових вод.

Література

- ГСТУ 42.10-02-96 «Води мінеральні лікувальні. Технічні умови» 1996 р.
- Radon concentration of different brands of bottled natural mineral water commercially sold in Turkey and radiological risk assessment/Ashref Seid, Şeref Turhan, Toufik Bakir, Aslı Kurnaz /International Journal of Environmental Analytical Chemistry 102(19):1-13 pp. URL: https://www.researchgate.net/publication/346101549_Radon_concentration_of_different_brands_of_bottled_natural_mineral_water_commercially_sold_in_Turkey_and_radiological_risk_assessment
- Узагальнені дані 20-річного моніторингу радону-222 у питній воді України/ М. Бузинний та Л. Михайлова/ Ядерна та радіаційна безпека 4(96).2022, с. 29-38 URL: https://www.academia.edu/104532811/%D0%A3%D0%B7%D0%B0%D0%B3%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D1%96_%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D1%96_20_%D1%80%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%BC%D0%BE%D0%BD%D1%96%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%B3%D1%83_%D1%80%D0%B0%D0%B4%D0%BE%D0%BD%D1%83_222_%D1%83_%D0%BF%D0%B8%D1%82%D0%BD%D1%96%D0%B9_%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%96_%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B8?email_work_card=title
- Гігієнічні нормативи щодо мінеральної лікувально-профілактичної води та лікувальної води – каталізатор розвитку їх стандартизації в Україні/ Нікіпелова О., Кисилевська А. та Солодова/ Харчова наука та технологія, с. 26-29. URL: https://www.researchgate.net/publication/293488548_Gigienichni_normativi_sodo_mineralnoi_likovalno-profilaktichnoi_vodi_ta_likovalnoi_vodi_-_katalizator_rozvitku_ih_standartizacii_v_Ukraini
- Мілюхін М., Шеремета А. «Звіт про результати детальної розвідки з підрахунком експлуатаційних запасів мінеральних радонових вод Немирівського родовища (санаторій «Авангард»), Вінницької області проведеної в 1997-2002 р.р.» 2005 р.
- Бабов К., Золоторьова Т. та ін. «Порядок здійснення медико-біологічної оцінки якості та цінності природних лікувальних ресурсів» 2008 р.
- Babov K., Zolotoreva T. et al. "Procedure for conducting medical and biological assessment of the quality and value of natural medicinal resources" 2008.

ТЕХНОГЕННІ ЗМІНИ ҐРУНТОВИХ ВОД НА ПІДТОПЛЕНИХ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ НА ПРИКЛАДІ МІСТА ХАРКОВА

Яковлев В.В.¹, Дмитренко Т.В.¹, Соколов Ю.П., Рудий М.Г.²

¹Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
вул. Черноглазівська, 17, 61002, м. Харків

²Харківська комплексна геологічна партія
вул. Москалівська, 93, 61010, м. Харків

yakovlev030157@gmail.com, tetyana.dmytrenko@kname.edu.ua, urijsokolov779@gmail.com, hkgp97@ua

На підставі даних натурних досліджень, фондових матеріалів і літературних джерел розглянуто техногенні зміни ґрунтових вод у великому місті на прикладі м. Харкова. Проаналізовано основні джерела забруднення й шляхи потрапляння речовин-забрудників у ґрунтові води. Визначено, що у межах міста ґрунтові води мають більшою мірою техногенне формування, ніж природне. Живлення ґрунтових вод відбувається здебільшого внаслідок інфільтрації атмосферних опадів і фільтраційних втрат із водних комунікацій. Результати сучасних досліджень свідчать про значне забруднення ґрунтових вод сполуками азоту, фенолами, нафтопродуктами, важкими металами тощо, особливо в промислових зонах, у районах із близьким стоянням ґрунтових вод. Основні джерела забруднення важкими металами підземних вод перших від поверхні водоносних горизонтів – викиди промислових підприємств, автомобільного транспорту, технологічні втрати, витоки каналізаційних і стічних вод, фільтраційні втрати з відстійників. Техногенне забруднення простежується не тільки в ґрунтовому горизонті, а й у міжпластовому горизонті, що залягає нижче, приуроченому до зони відкритої тріщинуватості мергельно-крейдяних відкладів. Виявлено, що у кожному конкретному випадку мають місце суттєво великі фонові вмісти окремих мікрокомпонентів, що свідчить про значне забруднення ґрунтових вод алювіального горизонту техногенними речовинами. Надано рекомендації щодо зменшення негативного процесу підтоплення та забруднення ґрунтових вод на забудованих територіях. Результати досліджень можуть бути використані органами виконавчої влади та об'єднаних територіальних громад для вирішення питань, пов'язаних з організацією водопостачання в населених пунктах України та розробкою природоохоронних рішень. *Ключові слова:* ґрунтові води, додаткове живлення, рівень ґрунтових вод, підтоплення, техногенне забруднення, якість води, урбанізовані території.

Industry-induced shifts in the chemistry of ground waters in flooded urbanized areas: a case study of Kharkiv. Yakovlev V., Dmytrenko T., Sokolov Yu., Rudyi M.

According to the data from field surveys, geological reports and literature sources, industry-induced shifts in the chemistry of ground waters in a large city are considered using Kharkiv as an example. The main sources of pollution and pathways of pollutants entering groundwater were analysed. It is determined that within the city limits, groundwater quality is formed to a greater extent by technogenic factors than natural ones. Groundwater is mainly fed by the infiltration of atmospheric precipitation and filtration losses from underground water-carrying networks. The results of modern surveys indicate significant groundwater pollution with nitrogen compounds, phenols, oil products, trace metals, etc., especially in industrial sites and areas with high groundwater levels. The main sources of trace metal pollution of groundwater in the subsurface aquifers are discharges and emissions from industrial enterprises, motor vehicles, process losses, leaks of sewage and waste waters, and filtration losses from settling tanks. Technogenic pollution is traced not only in the subsurface horizon but also in those lying below, in the interlayer horizon, confined to the zone of open fracturing of marl-chalk deposits. It was revealed that in each specific case, there were significantly higher background contents of individual microcomponents, which indicates significant pollution with technogenic substances of the groundwater of the alluvial horizon. Recommendations are given to reduce the negative processes causing raised water tables and groundwater pollution in developed areas. Obtained survey results can be used by executive authorities and local governments (amalgamated communities) to address issues related to the organisation of household water supply in Ukraine and the development of environmental solutions. *Key words:* groundwater, additional recharge, groundwater level, raised groundwater table, technogenic pollution, water quality, urbanized areas.

Постановка проблеми. Підтоплення в Україні є одним із найруйнівніших інженерно-геологічних явищ, оскільки призводить до масштабної деградації основних фондів – житлових і виробничих будівель, доріг, комунікацій, металевих і бетонних конструкцій. Документально наявність істотних ділянок підтоплення встановлено в 510 містах, селищах і селах України, які за ступенем ураженості цим явищем ранжуються відповідно до чисельності населення. Логічно, що найбільш ураженими є центри великих міст. Також ступінь підтопленості міст меншою

мірою корелює з геологічними та геоморфологічними умовами, і більшою – з показником територіальної концентрації водоспоживання [1]. Водночас порушення природного балансу ґрунтових вод призводить до підйому їхнього рівня, скорочення потужності зони аерації та значного зменшення ступеня захищеності, що на підтоплених ділянках за інших рівних умов призводить до найбільшого забруднення ґрунтових вод. За даними [2] у підземних водах, які в межах населених пунктів використовуються для тих чи інших цілей, найчастіше зустрічаються такі

види забруднення: нафтопродукти, нітрати, хлориди, феноли, пестициди, амоній, марганець, хром та інші важкі метали. Крім того, збільшується відносно фонових значень загальний солевміст, жорсткість, вміст сульфатів, природного заліза і фтору.

Актуальність дослідження. У зв'язку з вищесказаним вивчення еволюції ґрунтових вод в умовах техногенезу є актуальним, і насамперед тенденції змін у підземній гідросфері мають спостерігатися у великих містах.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Тема роботи відповідає основним принципам і напрямкам державної політики щодо охорони та раціонального використання водних ресурсів України, зокрема, Водному Кодексу України (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1995, № 24, ст. 189) [3], Правилам охорони підземних вод (Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 11 травня 2023 р. № 325) [4], Концепції Державної програми запобігання і боротьби з підтопленням земель (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 15 жовтня 2003 р. № 606-р) [5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У статті виконано огляд питань, пов'язаних з техногенною зміною і забрудненням ґрунтових вод у великому місті на прикладі м. Харкова. Проаналізовано результати геолого-екологічних досліджень промислово-міської агломерації міста [6], вивчення джерельного стоку Харкова [7], гідрогеологічні роботи на комунальному підприємстві «Харківводоканал», на низці підприємств, які перебувають на підтоплених територіях: АТ «Світло Шахтаря», ТОВ «Балекс» (дріжджовий завод), ТОВ «Завод залізобетонних конструкцій № 3», ТОВ «Пивзавод «Нова Баварія», Регіональна філія «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця», АТ «Ефект», ПАТ «Харківський тракторний завод», ПрАТ «Харківський комбикормовий завод», ПрАТ «Кондитерська фабрика «Харків'янка»», джерело Шатилівське. Використано дані АТ «УкркомунНДПроект», дані дисертації автора [1].

Матеріали дослідження. Залучено дані про ґрунтові води, отримані на низці об'єктів і підприємств Харкова під час робіт, участь у яких брали автори статті.

Викладення основного матеріалу. Підтоплені території м. Харкова розташовуються здебільшого в межах заплав і перших надзаплавних терас річок Уди, Лопань, Харків, Немишля, де розвинений алювіальний водоносний горизонт, складений дрібнозернистими пісками, супісками з прошарками мулуватих суглинків і глин. Загальна потужність алювію річок становить від 5–8 до 10–15 м. Горизонт містить ґрунтові води, рівень яких розташовується, в основному, на глибині від 1,8 до 4 м. Коливання рівнів у різні сезони року сягає 1–1,5 м, і тому значна частина міста (понад 8,5 тис. га або близько третини

території Харкова [8]), є підтопленою або потенційно підтопленою.

Підстилаючим водотривом слугують еоценові глини та мергелі. Субаеральні відклади, що вкривають алювій, мають незначну потужність (до 2–3 м) і представлені супіском, суглинком і насипними ґрунтами (суглинковим і супіщаним перемішаним матеріалом із включенням будівельного та побутового сміття) потужністю, в основному, до 1,5–2,5 м.

У заплавах річок водоносний горизонт сучасних алювіальних відкладів подекуди залягає безпосередньо на водоносних породах більш давніх утворень (водотривкі відклади розмиті). Через такі «вікна» здійснюється активний гідравлічний і фільтраційний взаємозв'язок із нижче розміщеними водоносними горизонтами бучацьких і крейдових відкладів.

Живлення ґрунтових вод відбувається здебільшого внаслідок інфільтрації атмосферних опадів і фільтраційних втрат із водних комунікацій. Основні статті розвантаження – перетікання в нижче розміщені водоносні горизонти, в тому числі, крізь водотрив, і транспірація [8].

За даними [6] в умовах, близьких до природних, води четвертинних відкладів були прісні з мінералізацією до 1,0 г/дм³, мали переважно гідрокарбонатний і сульфатно-гідрокарбонатний склад. Результати сучасних досліджень показують, що техногенез незначно підвищив мінералізацію ґрунтових вод. Так, поза містом найбільш характерними значеннями мінералізації є 0,4–0,8 г/дм³, а в межах міста – 0,6–1,2 г/дм³. Водночас у місті вже практично не зустрічаються ґрунтові води гідрокарбонатного складу, а характерною є строкатість вмісту макрокомпонентів. Техногенний метаморфізм відбувається в послідовній зміні складу вод від сульфатно-гідрокарбонатного до гідрокарбонатно-сульфатного і потім до змішаного складу за участю хлорид-іона. На ділянках найбільшого техногенного впливу зустрічаються найбільш забруднені води хлоридно-сульфатного складу. Вміст сульфатів сягає 500–1000 мг/дм³, а хлоридів – 250–400 мг/дм³, що у декілька разів перевищує природні вмісти. Водневий показник для ґрунтових вод міста загалом не відрізняється від вод із природним фоном і становить 7,0–8,3. Однак, на ділянках деяких промислових підприємств (АТ «Завод «Електроважмаш»», ПАТ «ХАРП») ґрунтові води можуть бути значно підкислені, до рН 5,5–5,0. Типовим показником загального забруднення для ґрунтових вод є присутність нітрат-іона в кількості від 5–10 мг/дм³ і вище. У більшості випадків гранично допустима концентрація NO₃⁻ (50 мг/дм³) [9] перевищена у 2–4 рази. Часто це супроводжується підвищеним вмістом NH₄⁺ і NO₂⁻, що вказує на побутові джерела забруднення сполуками азоту. У ґрунтовому покриві та ґрунтах зони аерації, водах першого від поверхні водоносного горизонту азотовмісні сполуки зазнають змін у послідовності NH₄⁺ → NO₂⁻ → NO₃⁻. Кінцевий про-

дукт – нітрати – вельми розчинні й добре мігрують, тому, в загальному випадку, помітні концентрації їх у підземних водах свідчить про відносно нещодавнє забруднення, тобто практично вказує на постійне внесення азотистих сполук у селітебних зонах [6].

Практично найпотужніше і найповсюдніше джерело азотистих сполук – негерметичні каналізаційні системи. Також, значними джерелами забруднення є не каналізовані подвір'я на околицях міста, кладовища та несанкціоновані звалища побутового сміття. Підтвердженням повсюдного забруднення ґрунтових вод нітратами є неприродний вміст цього компонента (8–20 і більше мг/дм³) у джерельних водах Харкова [7].

Кількісно живлення ґрунтових вод забезпечується переважно внаслідок витоків із водопровідних мереж. За даними АТ «УкркомунНДПроект» тільки нормативні втрати з мереж водопроводу становлять 100 тис. м³/добу, через зношеність витоків з мереж перевищують нормативні у 2–3 рази, що пов'язано з частими аваріями [10]. Починаючи з початку 90-х років, комунальне підприємство «Харківкомунпромвод», у зв'язку з недостатнім фінансуванням, не здійснювало систематичної заміни зношених мереж загальносправної каналізації, а працювало, в основному, в аварійно-відновлювальному режимі, реагуючи на конкретні пориви напірних водопроводів.

Згідно з літературними даними [11], загалом інтенсивність додаткового інфільтраційного живлення на підтоплених територіях Харкова становить $(0,5...1) \cdot 10^{-3}$ і більше м/добу, що перевищує природне інфільтраційне живлення ґрунтових вод за рахунок атмосферних опадів $(0,6...2,2) \cdot 10^{-4}$ м/добу у 2,3–16,7 рази. Таким чином, у межах міста ґрунтові води мають більшою мірою техногенне формування, ніж природне.

Під час геолого-екологічних досліджень на площі харківської промислово-житлової агломерації [6] було виявлено, що показник окиснюваності для ґрунтових вод міста (випробуваних у колодязях) коливається в межах 2,4–15,4 мгО/дм³, тоді як за містом, відповідно, від 0,1 до 6,3 г/дм³, що вказує на підвищений вміст органічних речовин у межах міста.

За сумарним показником концентрації низки токсичних елементів 1 і 2 класів небезпеки (Al, As, B, Ba, Cd, Co, F, Hg, Li, Mo, Pb, Se, Sr), ґрунтові води є найбільш забрудненим водним середовищем гідросфери міста [1]. На відміну від приміських територій із сумарним показником до 2 і 4 одиниць ГДК, встановлених для вод господарсько-питного призначення, території міських житлових і промислових секторів характеризуються показником від 4 до 8 одиниць ГДК. В окремих місцях – у районі ПАТ «Харківський тракторний завод», житлового району Нова Баварія, окружної дороги на північному сході міста показник забрудненості сягає 15–25 одиниць ГДК. Переважаючими мікроелементами-забрудню-

вачами серед елементів 1 і 2 класів небезпеки є Br і Al. Також, з низки забруднювачів виділяються Cd, Li, і, меншою мірою, Ba. З перерахованих елементів найвищий фон у кадмію, у нього ж найбільш «широка географія» – цей елемент у значних концентраціях зустрічається повсюдно в межах міста. Це, очевидно, пов'язано з широким застосуванням кадмування для покриття металевих виробів, використанням кадмієвих фарб і мідних виробів. Джерелом кадмію також можуть бути аерозолі, що утворюються при спалюванні вугілля, побутового сміття.

Високу концентрацію берилію виявлено в ґрунтових водах на околиці міста в сосновому лісі біля Великої Данилівки, а також на невеликій площі біля ТОВ «Харківський коксохімічний завод», залізничної станції «Основа» і поруч у заплаві р. Уди. Концентрації Be у цих точках становлять від 0,0004 до 0,0008 мг/дм³, що у 2–4 рази перевершує ГДК цього елемента для вод господарсько-побутового призначення.

З елементів 3 і 4 групи токсичності заслуговують на увагу залізо і марганець, середній вміст яких у 1,5 рази вищий за ГДК, при цьому граничні концентрації перевищено у 45 % і 35 % проб відповідно. Вміст інших елементів 3–4 груп, таких як Cu, Cr, Ni та Zn, перебуває в більшості випадків у межах фонових значень і не перевищує ГДК [6].

Основні джерела забруднення важкими металами підземних вод перших від поверхні водоносних горизонтів – викиди промислових підприємств, автомобільного транспорту, технологічні втрати, витоків каналізаційних і стічних вод, фільтраційні втрати з відстійників.

У результаті досліджень встановлено значне забруднення ґрунтових вод фенолами та нафтопродуктами, особливо в промислових зонах, у районах із близьким стоянням ґрунтових вод. Максимальні їхні концентрації характерні для зимового періоду, коли швидкість розпаду вуглеводнів помітно знижується порівняно з літнім періодом. Концентроване вуглеводневе забруднення ґрунтових вод і порід зони аерації має локальний характер. Такі ділянки приурочені до промислових підприємств, автозаправних станцій, нафтосховищ, місць скидання зливових вод тощо. Основні причини забруднення підземних вод нафтопродуктами – безконтрольні їх втрати на території підприємств.

Дослідженнями останніх років встановлено наявність різноманітних лікарських препаратів у поверхневих і ґрунтових водах району Харкова та північних передмість, серед яких мають місце і препарати психотропного ряду [12]. Їхній вміст фіксується на рівні слідів, проте постійне використання таких вод у питних цілях потенційно може загрожувати здоров'ю людини через можливий акумулятивний ефект.

Техногенне забруднення простежують не тільки в ґрунтовому горизонті, а й у між пластовому горизонті, що залягає нижче, приуроченому до зони

відкритої тріщинуватості мергельно-крейдових відкладів, розвиненому в долинах річок до глибини 70–80 м. З 1904 р. до середини 80-х років минулого століття цей водоносний горизонт із різною інтенсивністю використовували для комунального (зокрема, питного) водопостачання. На низці міських водозаборів було розвідано і затверджено запаси підземних вод за промисловими категоріями. Проблемою їхнього використання в 60-ті та 80-ті роки була підвищена жорсткість води та підвищений вміст заліза, що є наслідком органічного забруднення горизонту ґрунтових вод, який їх живить [6]. Це стало однією з причин припинення водовідбору на комунальних водозаборах. Згодом води мергельно-крейдового водоносного горизонту використовували лише відомства, і, за сучасними даними, ця вода має значні відхилення від питних кондицій за вмістом заліза, сульфатів, амонію, величиною сухого залишку та загальною жорсткістю (водозабори ПрАТ «Кондитерська фабрика «Харків'янка», АТ «Світло Шахтаря», ДП «Харківський завод шампанських вин» тощо). Крім цього, у кожному конкретному випадку мають місце суттєво великі фонові вмісти тих чи інших мікрокомпонентів – фтору, марганцю, свинцю, хрому, алюмінію тощо. З урахуванням того, що мергельно-крейдовий водоносний горизонт сам по собі не містить значних запасів води, вище наведене свідчить про значне забруднення ґрунтових вод алювіального горизонту техногенними речовинами.

У зв'язку зі зниженням водовідбору із мергельно-крейдового водоносного горизонту п'єзометричні рівні в ньому із середини 80-х років мають тенденцію до підвищення. Це, своєю чергою, призвело до підпору води у вище залягаючому алювіальному горизонті й у 90-х роках минулого століття і на початку нового століття значно розширило площу підтоплених земель.

Найбільш напружене становище з підтопленням склалося у районах міста: Журавлівка, Сортировка, Основа, Новоселівка, Мала Данилівка [10].

В умовах порушення сформованого водного балансу підземної гідросфери Харкова доцільні прямі впливи на складові цього балансу: збільшення використання забруднених прісних вод першого міжпластового водоносного горизонту з метою технічного водопостачання промислових підприємств міста, зменшення подачі вод питної якості до Харкова із зовнішніх джерел за рахунок: поділу систем водопостачання підприємств на технічну та господарсько-питну, використання джерельних вод для технічних цілей [1], установки квартирних приладів обліку витрати води, заміни водопровідних мереж із встановленням більш містких внутрішньоквартальних водопроводів із підкачуванням насосами до будинків, що дозволить зменшити тиск у мережі та скоротить витік при поривах труб.

Головні висновки.

1. У межах підтоплених ділянок міста ґрунтові води мають більшою мірою техногенне формування, ніж природне. Основним джерелом додаткового живлення є витік з водонесучих комунікацій.

2. Ґрунтові води м. Харкова забруднені важкими металами, нафтопродуктами, азотистими сполуками, містять залишки лікарських препаратів, тому колодязні, джерельні води та води першого міжпластового водоносного горизонту, що залягають на глибині до 80 м, не можуть використовуватися для господарсько-побутових та питних цілей без очищення.

Перспективи використання результатів досліджень. Результати досліджень можуть бути використані органами виконавчої влади та об'єднаних територіальних громад для вирішенні питань, пов'язаних з організацією водопостачання в населених пунктах України та розробкою природоохоронних рішень.

Література

1. Яковлев В.В. Перспективні джерела природних вод для питного водопостачання України, їх охорона і раціональне використання: дис. ... д-ра геол. наук: 21.06.01 / Харків. нац. ун-т ім. В.Н. Каразіна, 2017. 351 с.
2. Стан підземних вод України: щорічник / під ред. С.І. Примушко, Т.Д. Білошпаської, В.Ф. Величко. Київ: Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України», 2011. 120 с.
3. Водний Кодекс України : Закон України від 06.06.1995 р. № 213/95-ВР. *Відомості Верховної Ради України*. 1995. № 24. Ст. 189. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text>
4. Про затвердження Правил охорони підземних вод : Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 11.05.2023 р. № 325. *Офіційний вісник України*. 2023. № 65. Ст. 3736. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1093-23#Text>
5. Про схвалення Концепції Державної програми запобігання і боротьби з підтопленням земель : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 15.10.2003 р. № 606-р. *Офіційний вісник України*. 2003. № 42. Ст. 2228. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/606-2003-%D1%80#Text>
6. Яковлев В.В., Соколов Ю.П., Мірка Г.Ю. та ін. Геолого-екологічні дослідження промислово-міської агломерації м. Харкова / Листи М-37-61-В, Г та М-37-73-А, Б. м. Харків, 1994. 243 с.
7. Дмитренко Т.В., Костенко Н.В., Яковлев В.В. Екологічні аспекти використання джерельних вод урбанізованих територій для питного водопостачання (на прикладі м. Харкова). *Науковий вісник будівництва*. Харків. Вип. 21. 2003. С. 209–224.
8. Свіренко Л.П., Спірін О.І., Яковлев В.В. Підземні води урбанізованих територій та пов'язані з ними проблеми. *Комунальне господарство міст*. 2001. Вип. 36. С. 186–189.
9. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. *Офіційний вісник України*. 2010. № 51. Ст. 1717. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text>

10. Серікова О.М. Прогнозування і управління рівнем ґрунтових вод для підвищення екологічної безпеки забудованих територій України: дис. ... канд. техн. наук: 21.06.01 / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова, 2019. 150 с.
11. Serikova E. The programme of measures to prevent flooding on the built-up areas on example of Kharkov city / Serikova, E., Strelnikova, E. and Yakovlev, V. International Journal of Development Research, 2015. Vol. 5, Issue, 12. pp. 6236-6240. (Google Scholar, Index Copernicus International). URL: https://www.researchgate.net/publication/299270241_The_programme_of_measures_to_prevent_flooding_on_the_built-up_areas_on_example_of_kharkiv_city
12. Виставна Ю.Ю., Руско Ю.О. Фармацевтичні речовини у природних водах: моніторинг та екологічний ризик. *Комунальне господарство міст, серія «Технічні науки та архітектура»*. 2011. Вип. 97. С. 134–140. URL: <https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/901/895>

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БІООРГАНІЧНИХ ДОБРІВ НА ОСНОВІ МІКРОБНИХ ЦЕНОЗІВ

Кособуцька О.О., Трохименко Г.Г.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
пр. Героїв України, 9, 54007, м. Миколаїв
antr@ukr.net, olena.kosobutska@nuos.edu.ua

У сучасних реаліях гостро постає питання подальшого ефективного просування землеробства, пошук альтернативних підходів до підтримання родючості ґрунтів та забезпечення екологічної безпеки продукції рослинного походження, при цьому нарощуючи обсяги сільськогосподарського виробництва. Метою дослідження є порівняльний аналіз впливу препаратів, створених на основі мікробних біоценозів в процесі проведення дослідження їхнього впливу на ріст та розвиток тест-культур. У польових умовах було проведено дослідження за допомогою методу біотестування. Для цього було вибрано дві ділянки, одна з яких піддавалась передпосівній обробці. У ході експерименту використовували біопрепарати, а також їх розчини для визначення впливу на схожість, нарощення зеленої маси, а також фітотоксичного впливу на обрані тест-культури. Як об'єкт були біопрепарати та їх розчини в таких комбінаціях: «Байкал ЕМ-1», «Байкал ЕМ-1» + «Effect PRO», «Effect», «Effect» + «Effect PRO», «Effect PRO», дистильована вода (контроль). У ролі тест-об'єкта виступало насіння вівса посівного (*Avena sativa* L.). За підсумками дослідження, можна констатувати, що передпосівна підготовка ґрунту практично не впливає на процес проростання насіння. Для стимулювання рослини на початкових стадіях розвитку, оптимально використовувати «Байкал ЕМ-1», розбавивши його до утворення розчину в 5%. Нажаль, експеримент завершився втратою частини тест-культури внаслідок негативної дії шкідників, котрих цей препарат, фактично, приваблював. Проте, незважаючи на отримані результати, у зразках ґрунту з обробленої території було зафіксовано популяцію дощових черв'яків—показовий індикатор. Це дозволяє зробити висновок, що внесені препарати позитивно впливають на родючість ґрунту, хоча подальша обробка вимагає одночасного застосування захисних заходів від шкідників. *Ключові слова:* біотестування, новітні біодобрива, підвищення урожайності, відновлення ґрунтів, тест-культура.

Analysis of the effectiveness of bioorganic fertilisers based on microbial biocenoses. Kosobutska O., Trokhymenko G.

In modern realities, the issue of further effective promotion of agriculture, the search for alternative approaches to maintaining soil fertility and ensuring the environmental safety of plant products, while increasing agricultural production, is becoming more acute. The aim of the study is to compare the effects of preparations based on microbial biocenoses in the course of researching their impact on the growth and development of test crops. The study was conducted in the field using the biotesting method. For this purpose, two plots were selected, one of which was subjected to pre-sowing treatment. During the experiment, biological products and their solutions were used to determine the effect on germination, green mass growth, and phytotoxic effects on the selected test crops. Biological products and their solutions in the following combinations were used as the object: «Baikal EM-1», «Baikal EM-1» + «Effect PRO», «Effect», «Effect» + «Effect PRO», «Effect PRO», distilled water (control). The test object was oat seeds (*Avena sativa* L.).

According to the results of the study, it can be stated that pre-sowing soil preparation has virtually no effect on the process of seed germination. To stimulate the plant in the initial stages of development, it is optimal to use «Baikal EM-1», diluting it to form a solution of 5%. Unfortunately, the experiment ended with the loss of part of the test crop due to the negative effects of pests, which were actually attracted by this preparation. However, despite the results obtained, a population of earthworms, an indicator of the effectiveness of the treatment, was recorded in soil samples from the treated area. This allows us to conclude that the applied preparations have a positive effect on soil fertility, although further treatment requires the simultaneous application of protective measures against pests.

Key words: biotesting, newest biofertilisers, yield increase, soil restoration, test crop.

Постановка проблеми. Основним завданням агропромислового комплексу є забезпечення ефективного підвищення сільськогосподарського виробництва. На сьогодні у сільському господарстві спостерігається інтенсивне використання хімічних засобів. Це, у свою чергу, призводить до низки проблем, які матимуть негативні наслідки в майбутньому. Порушення ґрунтової мікрофлори, погіршення складу ґрунту, накопичення у ньому небезпечних речовин для тварин та людей (нітратів, пестицидів) – такі наслідки чекають аграріїв у разі неконтрольованого внесення хімічних засобів задля

підвищення врожаїв. Виходячи із вище сказаного, виникає проблема пошуку безпечнішого способу підвищення ефективності ведення сільського господарства. За такого способу можна досягти збереження екологічності вирощеної продукції при збільшенні обсягів сільського господарства [1].

Вплив антропогенних чинників з кожним роком має тенденцію до зростання та потребує застосування сучасних ефективних технологій для ведення землеробства. Такі технології повинні бути орієнтовані на підвищення врожайності та збереження потенціалу агроландшафтів. Із досвіду світової

практики можна виокремити такий спосіб ведення раціонального землеробства, як застосування біотехнологій, які зможуть забезпечити належне і надійне функціонування агроєкосистем [2].

Актуальність дослідження. Отримання стабільних врожаїв є першочерговим завданням агропромислового сектору. Щоб виконати таке завдання потрібно оптимізувати живлення рослин, а також підвищити ефективність добрив. Такі технології передбачають використання препаратів на основі мікробних біоценозів. На рослини такі препарати мають активну біологічну дію, тому вони можуть мати широкий спектр застосування, що в свою чергу сприятиме підвищенню продуктивності сільськогосподарських культур, а також їхніх якісних характеристик.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Попит на агропродукцію, що виготовлена з дотриманням екологічних стандартів, демонструє щорічне зростання. Відтак застосування екологічних методів обробки і безпечної сировини для створення продовольства буде відчутно збільшуватися у найближчий період.

Активізація роботи над трансформацією традиційного шляху розвитку сільського господарства у напрямку сталого розвитку, екологічної чистоти та застосування новітніх біотехнологій стане ключем до гарантування продовольчої стабільності та зменшення шкоди для навколишнього середовища. Відтак, питання застосування новітніх біодобрив з метою збільшення врожайності сільськогосподарських культур, відновлення родючості ґрунтів та виробництва екологічно чистої продукції є нагальним, має важливе наукове та практичне підґрунтя.

Таким чином, усе більшої актуальності набувають технології на основі застосування біопрепаратів, які містять асоціації певних груп мікроорганізмів, а також гумінових кислот. Одними із таких є препарати на основі ефективних мікроорганізмів.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Дослідження сільського господарства досягли значного прогресу у вирішенні проблеми продовольчої безпеки. Цьому питанню присвячено чимало наукових праць. Багаточисельні експерименти, що були виконані в наукових центрах та на підприємствах різних областей країни, демонструють ефективність і перспективність біологічних добрив. У роботах вітчизняних вчених таких як Зеленянська Н.М., Мельничук Т.М., Патики В.П. так і в зарубіжних – Abeer Hashem, Elsayed Fathi Abd_Allah, Tabassum [3, 4, 5] В, наведено результати використання мікробіологічних препаратів у процесі вирощування різноманітних сільськогосподарських культур, а також аналіз їхнього впливу на природний потенціал родючості ґрунту, ключові показники врожайності та властивості отриманої продукції. За тридцятилітній період біопрепарати набули широкого застосування, і наразі достатньо розвивається

їх промислове виробництво. Попит на такі препарати збільшується, що в свою чергу впливає на розширення асортименту на ринку. Біопрепарати демонструють вагомі позитивні результати не лише у сфері вирощування рослин, але й у садівництві, скотарстві, птахівництві, підготовці кормів та відновленні земель. Застосування таких препаратів варіюється від переробки відходів на звалищах до очищення стічних вод. Серед популярних препаратів на ринку України є «ЕМ-Бокаші», «Байкал ЕМ-1», «Граундфікс». Технології розробки більш ефективних препаратів не стоять на місці. Одними із таких препаратів є «Effect» та «Effect PRO», що розроблені українськими дослідниками [6].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким прив'язана дана стаття. У процесі реалізації біодобрив лишається чимало недостатньо досліджених питань. Зокрема, встановлення оптимальних дозувань біопрепаратів, методів та строків їх застосування для різних сільськогосподарських культур, спільне використання різних препаратів та інші складні питання. Дослідження у цих напрямках слід активно продовжувати для більш ефективного та науково обґрунтованого впровадження сучасних біотехнологій у виробничі процеси, ураховуючи їх позитивний вплив на стан навколишнього середовища та забезпечення продовольчої та екологічної безпеки.

Новизна дослідження полягає у здійсненні порівняльного аналізу впливу біоорганічних препаратів на показники росту й розвитку рослин, а також дослідження їхньої дієвості, залежно від концентрації та способу обробки сільськогосподарської культури [7].

Матеріали та методи дослідження. У польових умовах було проведено дослідження за допомогою методу біотестування, у якому щоденно проводилися спостереження, облік та аналіз згідно із загальноприйнятою методикою [8, 9, 10]. Для дослідження використовували біопрепарати, а також їх розчини для визначення впливу на схожість, нарощення зеленої маси, а також фітотоксичного впливу на обрані тест-культури.

В основі методу біотестування лежить специфіка зворотної реакції обраного тест-об'єкта до дії певних негативних факторів. Вивчення такої реакції дає змогу визначити рівень екологічної безпеки. Біотестування як спосіб біологічного контролю дозволяє визначити рівень токсичності довкілля та має відповідати сучасним вимогам біомоніторингу. Тест-об'єкти, здебільшого, обираються із широкого спектру видів, котрі є найбільш чутливими до забруднюючих речовин [11, 12, 13]. В основі біотестування лежить біологічне моделювання як метод наукового пізнання. Будь-яка модель – це конкретний спосіб зображення реальності [14, 15, 16].

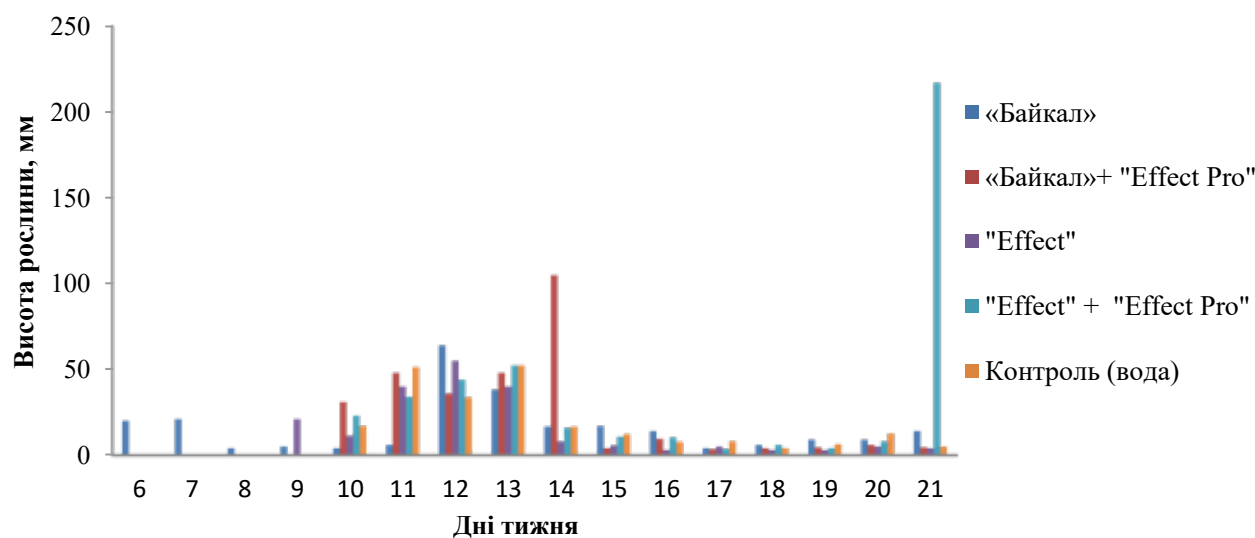
Як об'єкти дослідження були вибрані розчини біопрепаратів у таких комбінаціях: ЕМ-препарат

«Байкал ЕМ-1»; ЕМ-препарат «Байкал ЕМ-1» + «Effect PRO»; «Effect PRO»; Біопрепарат «Effect»; Біопрепарат «Effect» + «Effect PRO»; дистильована вода (контроль).

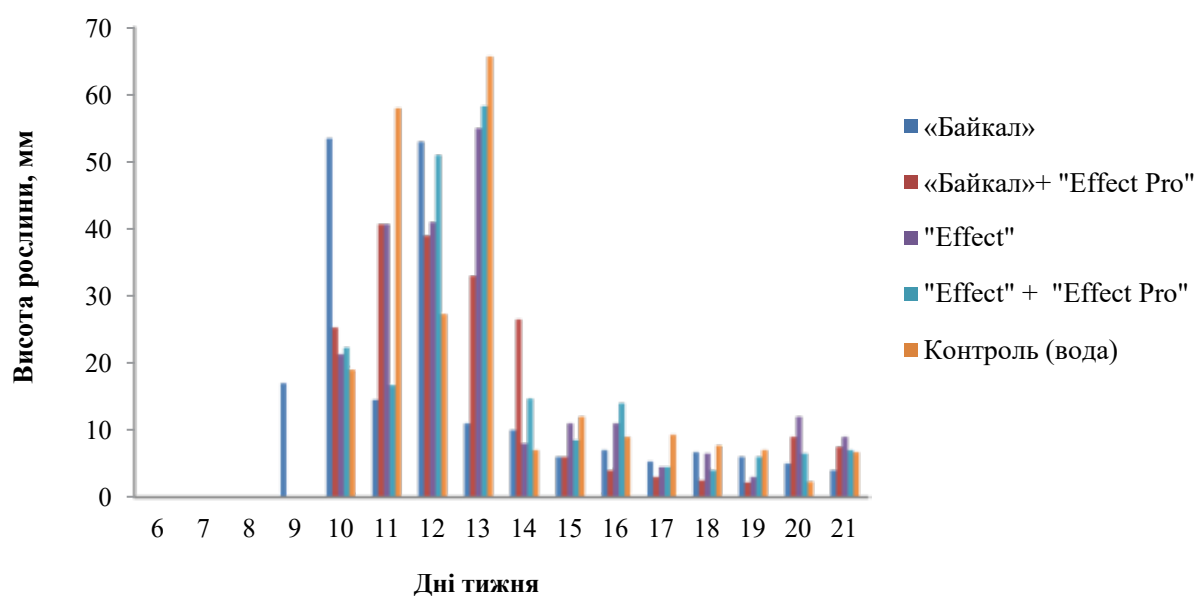
Унікальність препарату «Байкал ЕМ-1» складає великий спектр впливу мікроорганізмів, що містяться в його складі. Склад біопрепарату включає живі клітини таких бактерій, як *Bacillus megaterium* var. *Phosphaticum*, *Bacillus subtilis*, *Paenibacillus polymyxa*, *Azotobacter chroococcum*, *Enterobacter*, *Lactobacillus*. Також «Байкал ЕМ-1» має додатково фітогормони, вітаміни, амінокислоти та інші активні речовини [12]. Це біодобриво має здатність оздоров-

лювати шар ґрунту, де розміщується коріння рослини при цьому зменшуючи показник кількості фітопатогенних організмів. Під час застосування «Байкал ЕМ-1» відбувається краще засвоєння доступних форм фосфору та азоту.

Біопрепарати «Effect» та «Effect PRO» – це новітні експериментальні препарати. Комплекс корисних мікроорганізмів, що входять до складу біопрепарату «Effect», мають ріст-стимулюючі та фунгіцидні особливості: *Azotobacter vinelandii* здійснює фіксацію азоту з атмосфери, переводить його в доступну для рослин форму, а також синтезує речовини, які мають ріст-стимулюючі властивості. До таких мікроеле-



(а)



(б)

Рис. 1. Порівняння впливу біопрепаратів на ріст *Avena sativa* L. на необробленій (а), та обробленій (б)

ментів належать нікотинова та пантотенова кислоти, гетероауксин, біотин. *Bacillus subtilis*, що є у складі препарату – забезпечує захист рослин від впливу фітопатогенних грибів та бактерій.

«Effect PRO». Препарат, який зареєстрований у Міндовкільлі як ферментована молочна сироватка. Молочна сироватка відноситься до відходів молокопереробної промисловості. Для дослідження сироватка використовувалася як частина поживного середовища.

Застосування молочної сироватки як добрива покращує стан рослин, насичує їх необхідними мікроелементами, дозволяє отримати вищі та якісніші врожаї.

Дослідження базувалось на порівнянні результатів з передпосівною обробкою ґрунту та без неї. Дана обробка здійснювалась такими препаратами як «Байкал ЕМ-1», «Effect» та «Effect PRO» у концентрації 2 %. У ході експерименту для обробки тест-об'єктів було обрано фізіологічні розчини з концентрацією 0,1 %, 1 %, 5 % та 10 %.

Як тест-об'єкт було обрано насіння вівса посівного (*Avena sativa* L.). Овес – це однорічна культивована трав'яниста рослина родини злакових – Poaceae, що є цінною сільськогосподарською культурою. Вона має досить високі показники врожайності, а також її застосовують для біотестування.

Овес висівали по 25 насінин у відкритий ґрунт (чорнозем південний). Кожен зразок мав маркування.

Умови при проведенні експерименту були такими: середня температура повітря – 26,5 °C; вологість повітря становила 60,2 %; освітленість – середня; час освітлення складав від 13 до 14 годин світлового дня; частота поливу: 1 раз на 3 дні, а також природний полив (дощ); тривалість експерименту – 21 доба.

Виклад основного матеріалу дослідження. У ході дослідження проводився систематичний облік сходів насіння вівса. Це дозволило визначити схожість, динаміку ростових показників, а також нарощення зеленої маси тест-об'єкта. Спостереження велось з 6-го дня після посіву. Із рисунку 1 (а) видно, що перші паростки з'явилися на 6-ту добу спостереження, при цьому на обробленій ділянці (рис. 1 (б)) перші паростки з'явилися тільки на 9-ту добу. В обох випадках дані тест-об'єкти оброблювали препаратом «Байкал ЕМ-1» в концентрації 1 %. На 15-й день спостережень відбулась загибель частини тест-об'єктів. Такі негативні наслідки супроводжувались появою шкідників таких Вовчок звичайний (*Gryllotalpa gryllotalpa* L.) та Цвіркун польовий (*Gryllus campestris* L.). Тому експеримент було зірвано.

Проте саме на обробленій ділянці спостерігалась поява популяції Дощового черв'яка (*Lumbricus terrestris*) у кількості 2–3 особини на см² (рис. 2).

На другому етапі експерименту проводилось зважування зеленої маси. Для цього були обрані тест-зразки, що оброблялись розчинами біопрепаратів з концентрацією у 5 % та зрізали на 2 см над ґрунтом. За результатами зважування зеленої маси (рис. 3) видно, що тест-зразки, які зростали на обробленій ділянці, мають більшу масу, крім зразків, що поливали розчином «Байкал ЕМ-1» + «Effect PRO» і препаратом «Effect».

У зв'язку із негативною дією шкідників показники маси є некоректними й порівняти та проаналізувати результати неможливо.

Головні висновки. Виходячи із результатів проведеного дослідження із систематичного обліку показників росту, розвитку, а також нарощення зеленої маси, можна сказати, що:



Рис. 2. Популяція Дощового черв'яка (*Lumbricus terrestris*) на досліджуваній ділянці

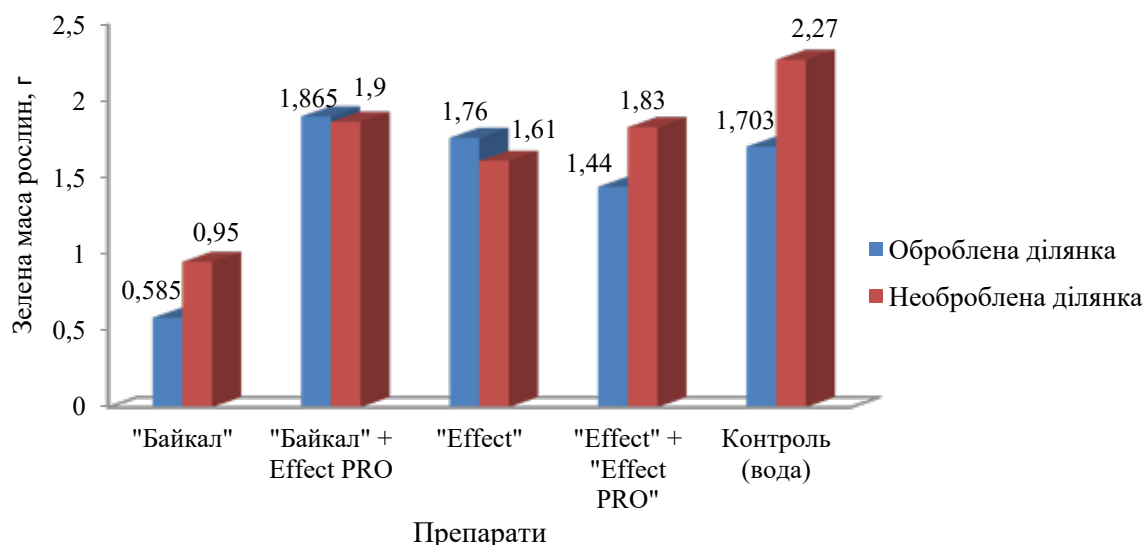


Рис. 3. Порівняння впливу різних біопрепаратів на ділянках з передпосівною обробкою та необробленою на середню масу рослин

1. Передпосівна обробка ґрунту вищезазначеними препаратами у даному експерименті не дала достовірного впливу на схожість.

2. Виявлено, що для стимуляції росту на перших етапах розвитку рослини потрібно використовувати «Байкал ЕМ-1» у концентрації 5 %.

3. Експеримент закінчився загибеллю частини тест-культури із-за негативного впливу шкідників, для яких рослини, що активно розвивалися, виступали у ролі приманки. Проте, незважаючи на такий результат зріз ґрунту мав популяцію Дошових черв'яків звичайних на обробленій ділянці. Це свідчить про те, що препарати сприятимуть підвищенню родючості ґрунту, але саме із-за шкідників в польових умовах краще використовувати додатково засоби біозахисту від них.

Застосування біотехнологічних підходів, що використовують високопродуктивні мікроорганізми, дозволяє запропонувати стратегію екологічно сталого землекористування, що ґрунтується на заміщенні мінеральних добрив мікробними препаратами. У зв'язку з цим, розробка препаратів на основі мікробних біоценозів, які здатні зберігати свої ключові властивості в певних агрокліматичних умовах є перспективною та має велике практичне значення. Передбачається проведення польових експериментів із застосуванням бінсектицидів для виключення негативної дії шкідників та визначення ефективності досліджуваних препаратів, урахувавши вплив екологічних факторів навколишнього середовища.

Література

1. Чудовська В. А. Органічне землеробство в умовах сталого розвитку сільських територій. *Науковий вісник НУБіП України*. 2011. № 163. С. 313–317.
2. Food and agriculture in the 2030. Driving action across the 2030 Agenda for Sustainable Development. Food and Agriculture Organization (FAO), 2017. 40 p.
3. Higa, T. Effective micro-organisms – a new dimension for nature farming. In: Parr J.F., Hornick S.B., Simpson M.E. (Eds) Proceedings of the 2nd International Nature Farming Conf., USDA, Washington DC, USA, 2004. pp. 2022.
4. Abeer Hashem, Baby Tabassum, and Elsayed Fathi Abd_Allah Saudi J Biol Sci. *Bacillus subtilis*: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. September 26(6). 2019. pp. 1291–1297.
5. Radhakrishnan R., Hashem A., Abd_Allah E.F. *Bacillus*: a biological tool for crop improvement through bio-molecular changes in adverse environments. *Front Physiol* (8). 2017. p. 667.
6. Kumar S., Diksha, Sindhu S.S, Kumar R. Biofertilizers: An ecofriendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability. *Current Research in Microbial Sciences*. 2022. Vol. 3. 100094.
7. Roy A. Biofertilizers for Agricultural Sustainability: Current Status and Future Challenges. *Current Trends in Microbial Biotechnology for Sustainable Agriculture*. Springer Singapore, 2021, P. 525–553.
8. Goncharova V. V., Yakushko Y. D., Strilets O. P., Strelnikov L. S EM-technology in crop production. Actual Questions Of Development of New Drugs : Abstracts of XX International Scientific And Practical Conference Of Young Scientists And Student, April 22–23, 2014, Kharkiv. Kh. : NUPh, 2014. P. 127. Чухрій Ю. П. Біоіндикація. Біотестування. Біомоніторинг. Одеса : ОНАХТ, 2014. 41 с.
9. Камінський В. Ф. Наукові основи оптимізації сучасних технологій вирощування сільськогосподарських культур залежно від типу агроформувань. *Землеробство*. 2017. Вип. 4. С. 3–15. Притула Н. М. Біоіндикація : навчальний посібник для

- здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Екологія» освітньо-професійної програми «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування». Запоріжжя : ЗНУ, 2020. 141 с.
10. Трохименко Г. Г., Кособуцька О. О., Літвак О. А., Благодатний В. В. (2023) Аналіз можливості підвищення урожайності сільськогосподарських культур на основі використання мікробних біоценозів. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. № 3(48). 208 с.
 11. Никифоров В. В., Дігтяр С. В., Мазницька О. В., Козловська Т. Ф. Біоіндикація та біотестування : навчальний посібник. Кременчук : Видавництво ПП Щенбатих О. В., 2016. 76 с.
 12. Бессонова В. П. Фітоіндикація та фіто моніторинг : навчальний посібник. Дніпровський державний аграрно-економічний університет. Дніпро : Герда 2024. 206 с.
 13. Забалуєв В. О., Дегтярьов В. В. (ред.) Охорона ґрунтів і відтворення їх родючості : навчальний посібник / [Забалуєв В. О., Балаєв А. Д., Тараріко О. Г., Тихоненко Д. Г., Дегтярьов В. В., Тонха О. Л., Піковська О. В., Гавва Д. В., Жернова О. С., Козлова О. І.]. Вид. 2-ге (змін. і доповн.) / за ред. д-рів с.-г. н., проф. В. О. Забалуєва та В. В. Дегтярьова. Харків : Стиль-издат, 2017. 348 с.
 14. Ghobadi, M. E., Ghobadi, M., & Khosravi, A. (2019). The role of conservation tillage on soil moisture conservation and yield components of wheat. *Agricultural Water Management*, 225, 105775. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105775>.
 15. Rodgers Kabenomuhangi Regenerative Agriculture and Soil Health: Enhancing Biodiversity through Sustainable Farming Practices. September 2024 *International Journal of Research Publication and Reviews* 5(9):3203–3215 DOI:10.55248/gengpi.5.0924.2678.

ОЦІНКА ПОТЕНЦІЙНИХ РИЗИКІВ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ УРБОЗЕМІВ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ

Мислюк О.О., Єгорова О.В., Хоменко О.М.

Черкаський державний технологічний університет

бульв. Шевченко, 460, 18006, м. Черкаси

o.mysliuk@chdtu.edu.ua, ok.yehorova@chdtu.edu.ua, o.khomenko@chdtu.edu.ua

В роботі дана оцінка не канцерогенного і канцерогенного ризиків для здоров'я населення від забруднення ґрунтів міста Черкаси важкими металами Cu, Zn, Pb та Cd. Показано, що сумарний кумулятивний неканцерогенний ризик для здоров'я при вдиханні, контакті зі шкірою та при надходженні пероральним шляхом є нижчим за порогове значення ($HI < 1$) як для дорослих, так і дітей на всіх модельних ділянках у різних функціональних зонах міста, що вказує на відсутність значного впливу. Значення HI для дітей становили 0,05-0,94 із середнім значенням 0,30, для жінок 0,01-0,14 із середнім значенням 0,04, для чоловіків 0,01-0,12 із середнім значенням 0,04. Сумарний кумулятивний канцерогенний ризик для здоров'я від впливу Pb і Cd при вдиханні та при надходженні пероральним шляхом на всіх модельних ділянках є нижчим за порогове значення $CR < 1 \cdot 10^{-6}$. Сумарний канцерогенний ризик від впливу Pb варіює від $4,9 \cdot 10^{-7}$ до $8,9 \cdot 10^{-5}$ при середньому значенні $2,8 \cdot 10^{-7}$, Cd – від $2,9 \cdot 10^{-9}$ до $2,1 \cdot 10^{-8}$ при середньому значенні $7,2 \cdot 10^{-9}$. Найвищий ризик для здоров'я населення встановлено для дослідних ділянок в зоні викидів ТЕЦ, інтенсивного руху транспортних засобів та ділянок, що межують з сільськогосподарськими угіддями. Основний внесок в сумарний кумулятивний канцерогенний і неканцерогенний ризик для здоров'я має Pb (95-97%). Необхідне поглиблене вивчення забруднення ґрунтів важкими металами, джерел їх надходження, картографування і зонування території міста за ступенем забруднення урбоземів цими небезпечними поллютантами. Результати роботи важливі для розробки належних стратегій управління ризиком, зменшення впливу точкових і неточкових джерел забруднення урбоземів важкими металами, вибору методів рекультиваци ґрунтів. *Ключові слова:* важкі метали, урбоземи, здоров'я населення, канцерогенний і неканцерогенний ризики.

Assessment of potential health risks to the population from heavy metal contamination in urban soils. Mislyuk O., Yehorova O., Khomenko O.

This study assesses non-carcinogenic and carcinogenic health risks to the population resulting from soil contamination with heavy metals (Cu, Zn, Pb, and Cd) in the city of Cherkasy. The findings show that the total cumulative non-carcinogenic health risk – through inhalation, dermal contact, and oral intake – remains below the threshold value ($HI < 1$) for both adults and children across all modeled sites in various functional zones of the city, indicating no significant health impact. HI values for children ranged from 0.05 to 0.94, with an average of 0.30; for women, from 0.01 to 0.14, with an average of 0.04; and for men, from 0.01 to 0.12, also with an average of 0.04.

The total cumulative carcinogenic risk from exposure to Pb and Cd via inhalation and ingestion is also below the acceptable threshold ($CR < 1 \cdot 10^{-6}$) across all study areas. Carcinogenic risk values for Pb ranged from $4,9 \cdot 10^{-7}$ to $8,9 \cdot 10^{-5}$, with an average of $2,8 \cdot 10^{-7}$, Cd – from $2,9 \cdot 10^{-9}$ to $2,1 \cdot 10^{-8}$ with an average of $7,2 \cdot 10^{-9}$.

The highest health risks were observed in areas near emissions from combined heat and power (CHP) plants, locations with heavy traffic, and zones adjacent to agricultural land. Lead (Pb) was identified as the primary contributor to both total carcinogenic and non-carcinogenic risks, accounting for 95-97% of the total burden.

Further in-depth investigations into soil contamination by heavy metals, identification of contamination sources, and spatial mapping and zoning of the city based on pollution levels are recommended. These findings are crucial for developing effective risk management strategies, mitigating the impact of point and non-point sources of urban soil contamination, and selecting appropriate soil remediation techniques. *Key words:* heavy metals, urban soils, public health, carcinogenic and non-carcinogenic risks.

Постановка проблеми. Швидка урбанізація та індустріалізація невід'ємно пов'язані із забрудненням міських ґрунтів важкими металами. Через несприятливий вплив на урбоєкосистеми, забруднення урбоземів важкими металами становить значну проблему не лише на місцевому та регіональному рівнях, а й на глобальному рівні. У всьому світі існує серйозна екологічна стурбованість через збільшення кількості небезпечних важких металів у міському ґрунті [1-4].

Актуальність дослідження. Забруднення урбоземів важкими металами привернуло широку увагу

через їх токсичність, тривалу стійкість, здатність до біоаккумуляції та через синергетичний ефект. Це призводить до погіршення виконання ґрунтами природних екосистемних послуг, спричиняє шкоду здоров'ю населення. На відміну від органічних забруднень, важкі метали не піддаються мікробній або хімічній деградації та зберігаються протягом тривалого часу після їх введення. Вони визнані основними забруднювачами ґрунту. Діючи як рецептори, ґрунти зазнають одночасного накопичення важких металів як з природних, так і антропогенних джерел. Надійними індикаторами антропогенного забруд-

нення є урбоземи. Значно відрізняючись від природних ґрунтів, вони зазнають значного техногенного навантаження, тому більш схильні до утримання та накопичення підвищених концентрацій важких металів порівняно з природними [5].

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

Збереження ґрунтів є стратегічно важливим завданням для забезпечення екологічної стабільності та здоров'я населення. Враховуючи інтенсивну урбанізацію, зростання техногенного навантаження та накопичення токсичних елементів у ґрунтах, зокрема важких металів, виникає необхідність у системному підході до моніторингу та управління ризиками забруднення урбоземів.

Європейський Союз приділяє значну увагу збереженню ґрунтів. Зокрема, у Ґрунтовій стратегії до 2030 року визначено чіткі рамки та заходи для захисту, відновлення та сталого використання ґрунтів. 17 червня 2024 року Рада ЄС прийняла загальний підхід до обов'язкового моніторингу здоров'я ґрунту, що передбачає ідентифікацію потенційно забруднених ділянок, їх внесення до публічного реєстру та впровадження пріоритетного управління з урахуванням потенційних ризиків і соціально-економічного контексту.

Крім того, міжнародні програми, що реалізуються ВООЗ, ЮНЕП і ЕЕА, мають на меті забезпечити сталий розвиток і захист здоров'я населення через комплексний підхід до моніторингу та оцінки ризиків забруднення міських територій, що є невід'ємною частиною забезпечення екологічної безпеки на глобальному рівні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Забруднення ґрунту і його вплив на здоров'я людини є всесвітньою проблемою. Незважаючи на серйозність проблеми, наразі бракує всебічних знань щодо ступеня забруднення урбоземів важкими металами, і пов'язаних із цим ризиків для здоров'я. Цінним методом для виявлення шкоди здоров'ю людини, що виникає внаслідок дії цих поллютантів, служить оцінка потенційного ризику і розробка стратегій управління ним [6-8]. В Україні цій проблемі присвячені тільки поодинокі роботи [9-11], потрібні подальші дослідження в системі «забруднення довкілля – здоров'я людини». Актуальність подібних досліджень зумовлена, насамперед, необхідністю зниження ризику для здоров'я людини і оптимізації умов життя населення.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Наявні дослідження зорієнтовані, перш за все, на акумуляцію важких металів, а не на оцінку ризику для здоров'я, причому більшість із них зосереджені виключно на вивченні адсорбції та проникності важких металів чи інших токсичних елементів у ґрунті. Саме тому метою наших досліджень є оцінка потенційного ризику для здоров'я людини

від забруднення ґрунтів важкими металами в умовах сучасного транспортного та промислового навантаження урбанізованих територій (на прикладі міста Черкаси). Отримані результати сприятимуть формуванню ефективної політики збереження здоров'я населення при розробці стратегії сталого розвитку регіону.

Наукова новизна дослідження полягає у комплексному підході до оцінки потенційного ризику для здоров'я населення, зумовленого забрудненням ґрунтів важкими металами в умовах транспортного та промислового навантаження урбанізованої території. Вперше для міста Черкаси проведено просторовий аналіз розподілу важких металів у ґрунтах із застосуванням методів геоінформаційного моделювання та оцінено рівень канцерогенного й неканцерогенного ризику для населення. Отримані результати можуть бути використані як наукове підґрунтя для формування екологічної політики на регіональному рівні.

Методологічне або загальнонаукове значення. Отримана у ході досліджень інформація може служити орієнтиром при організації ґрунтово-екологічного моніторингу міських територій, для науково обґрунтованої оцінки геоекологічного стану урбоґрунтів і прийнятті оптимальних управлінських рішень галузі охорони навколишнього середовища.

Метою роботи є оцінка потенційний ризик для здоров'я людини від забруднення ґрунтів важкими металами в умовах сучасного транспортного та промислового навантаження урбанізованих територій (на прикладі міста Черкаси). Результати досліджень сприятиме формування ефективної політики збереження здоров'я населення при розробці стратегії сталого розвитку регіону.

Методи дослідження. В роботі використаний системний підхід з використанням бібліосемантичного, порівняльно-аналітичного і статистичного методів аналізу. Для візуалізації і аналізу даних використане ПЗ Microsoft Office Excel. Оцінку ризику проводили за методикою US EPA [12].

Викладення основного матеріалу. Рівень вмісту важких металів в урбаноземах є непрямим показником ступеня техногенного навантаження та потенційної небезпеки для здоров'я населення на конкретній території. В роботі [13] показано, що внаслідок впливу техногенезу в урбоземах м. Черкаси утворюються геохімічні аномалії таких важких металів як Cu, Zn, Pb та Cd (табл. 1). За екологічними особливостями та ступенем техногенного навантаження територія дослідження включала декілька локалітетів (промислові, транспортні, рекреаційні зони). Фонова територія (рекреаційна зона) – вул. Набережна (Дахнівський мікрорайон) (рис. 1).

Пилові частинки важких металів, що містяться у ґрунті, різними шляхами надходять в організм людини і становлять пряму і непрямую небезпеку для здоров'я. Важкі метали накопичуються в тканинах



Рис. 1. Карта розташування дослідних ділянок

Таблиця 1

Вміст важких металів в ґрунтах міста Черкаси

№	Cu		Zn		Pb		Cd		Сумарний показник забруднення Z_c	Індекс антропогенного навантаження PLI
	C, мг/кг	K_c	C, мг/кг	K_c	C, мг/кг	K_c	C, мг/кг	K_c		
1	31,2±0,7	11,5	221,0±1,3	32,5	83,3±0,5	16,0	0,35±0,2	2,1	83,1	10,59
2	20,0±0,4	7,4	311,0±1,3	45,7	38,1±0,4	7,33	0,75±0,1	4,4	61,8	10,22
3	17,8±0,4	6,6	74,0±0,6	9,4	13,3±0,6	2,1	0,32±0,2	1,8	16,9	3,91
4	50,0±0,6	18,5	99,2±0,7	12,7	18,5±0,4	3,0	0,40±0,2	2,3	33,5	6,35
5	20,0±0,4	7,4	38,8±0,4	4,9	11,7±0,2	1,8	0,25±0,1	1,4	12,5	3,09
6	25,0±0,7	9,3	244,0±0,6	35,9	32,0±0,4	6,15	0,50±0,2	2,9	51,3	8,78
7	18,6±0,4	6,9	46,5±0,4	6,8	12,5±0,2	2,4	0,20±0,1	1,1	14,2	3,34
8	21,4±0,5	7,9	40,2±0,4	5,1	12,1±0,1	1,9	0,25±0,2	1,5	13,4	3,27
9	25,0±0,4	9,2	44,2±0,3	5,6	14,1±0,5	2,3	0,30±0,2	1,8	15,9	3,82
10	34,0±0,5	12,6	176,0±0,5	25,9	40,0±0,4	7,7	0,25±0,1	1,5	44,7	7,84
11	9,0±0,6	3,3	50,0±0,6	7,4	15,0±0,5	2,9	0,50±0,2	2,9	13,6	3,79
12	11,0±0,6	4,1	51,0±0,6	7,5	20,0±0,4	3,8	0,50±0,2	2,9	15,3	4,29
13	37,0±0,5	13,7	319,0±0,4	46,9	94,0±0,5	18,1	1,25±0,1	7,4	54,1	7,13
14	2,7±0,2	1,0	6,8±0,3	1,0	5,2±0,1	1,0	0,17±0,1	1,0	1,0	1,00

і внутрішніх органах людини, можуть впливати на центральну нервову систему і виступати в якості кофакторів, ініціаторів або збудників різних захворювань. Вплив важких металів, які одночасно надходять в організм, може призвести до численних несприятливих наслідків для здоров'я людей через синергетичну взаємодію, навіть якщо концентра-

ції окремих металів нижчі за їх екотоксикологічні контрольні рівні. Несприятливий вплив на здоров'я людини в основному відбувається трьома шляхами: ковтанням, вдиханням і контактним всмоктуванням через шкіру.

Відповідно до міжнародного досвіду оцінювалися окремо індекс небезпеки збільшення не кан-

церогенної захворюваності та канцерогенний ризик для дітей, жінок і чоловіків. Для оцінки цього ризику були розраховані критичні параметри, включаючи хронічне добове надходження (ADD), коефіцієнт ризику (HQ), індекс ризику (HI) і канцерогенний ризик (CR).

Розрахунки хронічного добового надходження важких в організм людини (ADD) проводили за формулами 1-3:

$$ADD_{ingest} = \frac{C_i \cdot IngR \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT} \cdot 10^{-6}. \quad (1)$$

$$ADD_{dermal} = \frac{C_i \cdot SA \cdot AF \cdot ABC \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT} \cdot 10^{-6}. \quad (2)$$

$$ADD_{inhalation} = \frac{C_i \cdot APM \cdot IngR \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT} \cdot 10^{-6}. \quad (3)$$

Коефіцієнт ризику (HQ) оцінювали за формулою 4:

$$HQ_i = \frac{ADD}{RFD}. \quad (4)$$

Індекс небезпеки (HI) для умов одночасного надходження декількох важких металів одним і тим же шляхом (інгалаційним, пероральним, при контакті зі шкірою) розраховували за формулою 5:

$$HI = \sum HQ_i. \quad (5)$$

Канцерогенний ризик (CR) розраховували за формулою 6:

$$CR = \sum ADD \cdot SF. \quad (6)$$

Сумарний канцерогенний ризик (TCR) за умов одночасного надходження декількох важких металів розраховували за формулою 7:

$$TCR = \sum CR. \quad (7)$$

Сумарний кумулятивний неканцерогенний ризик для здоров'я від впливу Cu, Zn, Pb та Cd при вдиханні, контакті зі шкірою та при надходженні пероральним шляхом є нижчим за порогове значення ($HI < 1$) як для дорослих, так і дітей на всіх модельних ділянках у різних функціональних зонах міста (рис. 2), що вказує на відсутність значного впливу.

Діти через свою поведінку, фізіологічні особливості та тривалість впливу більш сприйнятливі до токсичних речовин, ніж дорослі. Сумарний кумулятивний неканцерогенний ризик для дітей становили 0,05-0,94 із середнім значенням 0,30, для жінок 0,01-0,14 із середнім значенням 0,04, для чоловіків 0,01-0,12 із середнім значенням 0,04. Основний внесок в сумарний кумулятивний неканцерогенний ризик для здоров'я має Pb (95%). Високий вміст Pb в ґрунтах міста обумовлений, перш за все, впливом міського та приватного автотранспорту, а також викидами промислових об'єктів, зокрема теплоенергетичної галузі, які працюють на вугіллі.

Ризик для здоров'я дітей і дорослих від впливу важких металів, що надходять перорально, є набагато вищий, ніж при контакті зі шкірою та при вдиханні, що узгоджується з іншими дослідженнями [6, 14-16]. Вони можуть страждати від різноманітних неканцерогенних небезпек для здоров'я, включаючи шкірні захворювання, подразнення дихальних шляхів, серцево-судинну систему та неврологічні проблеми.

Канцерогенний ризик визначали за вмістом у ґрунті Pb і Cd, які, відповідно до [17], віднесені до потенційно канцерогенних металів. Pb спричиняє токсичний, мутагенний та канцерогенний ефекти. Хронічний вплив Cd може сприяти пухлиногенезу в легенях, нирках, підшлунковій та молочній залозі, збільшенню чутливості потомства до канцерогенезу [18-20].

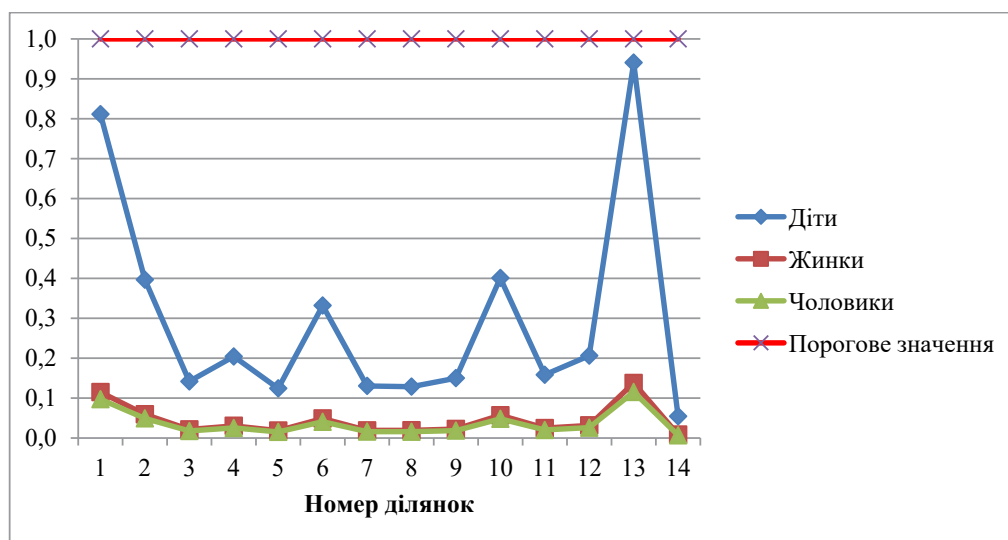


Рис. 2. Сумарний кумулятивний неканцерогенний ризик для здоров'я

В роботі [21] показано, що головним забруднювачами урболандшафтів м. Черкаси важкими металами, які надходять аеротехногенним шляхом, є ПАТ Черкаська ТЕЦ, промислові підприємства, зокрема ТОВ «КАНСАЙ ХЕЛІОС УКРАЇНА», автотранспорт.

Бібліосемантичний аналіз, представлений в роботі [20], свідчить, що джерела Cd у ґрунтах мають як геогенне, так і антропогенне походження. Джерелами антропогенного надходження кадмію в ґрунти м. Черкаси є спалювання викопного палива, використання фосфатних добрив на сільськогосподарських угіддях, що межують з містом, інтенсивний дорожній рух, стічні води з автомобільних доріг, стихійні сміттєзвалища тощо.

Дослідження показали, що сумарний кумулятивний канцерогенний ризик для здоров'я від впливу Pb і Cd при вдиханні та при надходженні пероральним шляхом на всіх модельних ділянках є нижчим за порогове значення $CR < 1 \cdot 10^{-6}$ (рис. 3). Основний внесок в сумарний кумулятивний канцерогенний ризик для здоров'я має Pb (95-97%).

Сумарний канцерогенний ризик від впливу Pb варіює від $4,9 \cdot 10^{-7}$ до $8,9 \cdot 10^{-5}$ при середньому значенні $2,8 \cdot 10^{-7}$, Cd – від $2,9 \cdot 10^{-9}$ до $2,1 \cdot 10^{-8}$ при середньому значенні $7,2 \cdot 10^{-9}$. Найвищий канцерогенний ризик встановлено для дослідних ділянок в зоні викидів ТЕЦ, інтенсивного руху транспортних засобів та ділянок, що межують з сільськогосподарськими угіддями.

За даними Головного управління статистики в Черкаській області викиди промисловими підприємствами Zn і Pb у 2023 р. зросли в порівнянні з 2022 р. на 26,6% і 25,4% відповідно. Подальше зростання вмісту важких металів у ґрунті, зокрема і через ведення бойових дій в Україні, які надходять

із боєприпасів, залишків згорілої техніки, зруйнованих будівель та інфраструктури [22], призведе до перевищення порогових рівнів як для не канцерогенного, так і канцерогенного ризиків для здоров'я населення.

Слід зазначити, що попередні дослідження оцінки потенційного ризику для здоров'я від забруднення атмосферного повітря викидами автотранспорту [23] показали, що в місті ризик захворіти на рак як для дорослих ($R=1,9 \cdot 10^{-4}$), так і для дітей ($R=9,8 \cdot 10^{-5}$) оцінюється як середній.

За статистичними даними рівень захворюваності на злоякісні новоутворення в Черкаській області перевищує середні показники по Україні, в тому числі по захворюваності серед дитячого населення. За останні три роки показник захворюваності на 10 тисяч населення зріс на 20% та на 64% перевищив загальнодержавний показник. В структурі загальної смертності новоутворення посідають друге місце (18,8%). За прогнозом медиків, наступного року показник захворюваності перетне позначку в 50 тисяч.

Висновки. В роботі вперше дана оцінка не канцерогенного і канцерогенного ризиків від забруднення ґрунтів м. Черкаси важкими металами Cu, Zn, Pb та Cd.

Показано, що сумарний кумулятивний неканцерогенний ризик для здоров'я є нижчим за порогове значення ($HI < 1$) як для дорослих, так і дітей на всіх модельних ділянках у різних функціональних зонах міста.

Сумарний кумулятивний канцерогенний ризик для здоров'я від впливу Pb і Cd на досліджених ділянках є нижчим за рекомендовану межу $1 \cdot 10^{-6}$ і оцінюється як мінімальний. Основний внесок в сумарний кумулятивний канцерогенний і не канцерогенний ризики має Pb.

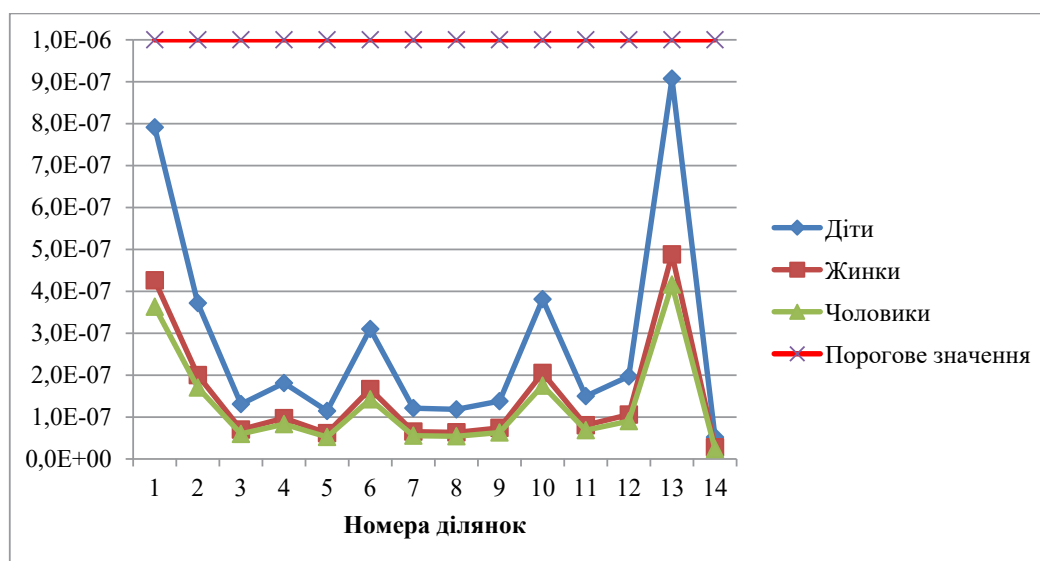


Рис. 3. Сумарний кумулятивний канцерогенний ризик для здоров'я від впливу Pb і Cd

Найбільша частка у сумарному кумулятивному не канцерогенному і канцерогенному ризику припадає на Pb.

Необхідне поглиблене вивчення забруднення ґрунтів важкими металами, джерел їх надходження, картографування і зонування території міста з використанням сучасних ГІС-технологій за ступенем забруднення урбоземів цими небезпечними поллютантами.

Результати роботи важливі для розробки належних стратегій управління ризиком, зменшення впливу

точкових і неточкових джерел забруднення урбоземів важкими металами, вибору методів рекультиваци ґрунтів.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримана у ході досліджень фактична інформація може розглядатися як орієнтир для більш об'єктивної та науково обґрунтованої оцінки геоecологічного стану міських ґрунтів та організації ґрунтово-ecологічного моніторингу міських територій.

Література

- Lianwen Liu, Wei Li, Weiping Song, Mingxin Guo. Remediation techniques for heavy metal-contaminated soils: Principles and applicability. *Science of The Total Environment*. 2018. V. 633. P. 206-219. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.03.161.
- Chen et al. Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China. *Chemosphere*. 2005. V. 60, № 4. P. 542-551.
- Bux, R. K., Haider, S. I., Batool, M., Solangi, A. R., Shah, Z., Karimi-Maleh, H., et al. Assessment of heavy metal contamination and its sources in urban soils of district Hyderabad, Pakistan using GIS and multivariate analysis. *IJEST*. 2022. V. 19. P. 7901–7913. doi:10.1007/s13762-021-03691-7.
- Yang, Q., Zhang, L., Wang, H., and Martín, J. D. Bioavailability and health risk of toxic heavy metals (As, Hg, Pb and Cd) in urban soils: A Monte Carlo simulation approach. *Environ. Res.* 2022.214 (Pt 1):113772. doi:10.1016/j.envres.2022.113772.
- Huang, S., Wang, L., and Zhao, Y. Ecological risk assessment from the perspective of soil heavy metal accumulations in Xiamen city, China. *Int. J. Sustain. Dev. World Ecol.* 2018. V. 25. № 5. P. 411–419. doi:10.1080/13504509.2017.1418457.
- A. Keshav Krishna & K. Rama Mohan. Distribution, correlation, ecological and health risk assessment of heavy metal contamination in surface soils around an industrial area, Hyderabad, India. *Environ. Earth Sci.* 2016. V. 75. № 411. doi https://doi.org/10.1007/s12665-015-5151-7.
- Zhang, Y., Li, S., Chen, Z., Wang, F., Chen, J., and Wang, L. A systemic ecological risk assessment based on spatial distribution and source apportionment in the abandoned lead acid battery plant zone, China. *J. Hazard. Mater.* 2018. V. 354. P. 170-179. doi:10.1016/j.jhazmat.2018.04.054.
- Xiao, R., Guo, D., Ali, A., Mi, S., Liu, T., Ren, C., et al. Accumulation, ecological-health risks assessment, and source apportionment of heavy metals in paddy soils: A case study in Hanzhong, Shaanxi, China, China. *Environ. Pollut.* 2019. V. 248. – P. 349-357. doi:10.1016/j.envpol.2019.02.045.
- Рибалова О. В., Бригада О. В., Макаров С. О., Бондаренко О. О. Новий метод оцінки ризику для здоров'я населення від впливу забруднення ґрунтів важкими металами. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2019. Вип. 29 (1). С. 79-99. <http://reposit.sc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/8855>.
- Рибалова О., Артем'єв С., Бригада О., Ільїнський О., Мацак А. Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення ґрунтів на території полігонів твердих побутових відходів. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2024. Вип. 60. С. 399-413. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2024-60-30>.
- Trigub V., Domuschy S. Assessment of risk to health of the population from soil pollution by heavy metals: theoretical-methodological and ecological aspects. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2022. 31(1). P. 152–162. DOI <https://doi.org/10.15421/112215>.
- Integrated Risk Information System (IRIS) /U.S. Environmental Protection Agency (EPA). URL: <http://www.epa.gov/iris>.
- Yehorova O., Zhytska L., Bakharev V., Mislyuk O., Khomenko O. Assessing the deposition of heavy metals in edaphotopes and synantrophy vegetation under the conditions of technological pollution of the city. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. V. 1. № 10 (127). P. 15-26. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.297718>.
- Tong, S.; Li, H.; Wang, L.; Tudi, M.; Yang, L. Concentration, Spatial Distribution, Contamination Degree and Human Health Risk Assessment of Heavy Metals in Urban Soils across China between 2003 and 2019—A Systematic Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020. V. 17. № 9. 3099. <https://doi.org/10.3390/ijerph17093099>.
- Ajeh EA, Modi FJ, Omeregip IP. Health risk estimations and geospatial mapping of trace metals in soil samples around automobile mechanic workshops in Benin city, Nigeria. *Toxicol Rep.* 2022. 26; 9:575-587. doi: 10.1016/j.toxrep.2022.03.021.
- Kormoker T., Proshad R., Islam S., Ahmed S., Chandra K., Uddin M., Rahman M. Toxic metals in agricultural soils near the industrial areas of Bangladesh: ecological and human health risk assessment. *Toxin Rev.* 2021. 40 (4). 1135–1154. <https://doi.org/10.1080/15569543.2019.1650777>.
- IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans: Volumes 1–125. Bristol, UK: IOP Publishing PhysicsWeb; 2012.
- Cirovic, A.; Satarug, S. Toxicity Tolerance in the Carcinogenesis of Environmental Cadmium. *Int. J. Mol. Sci.* 2024. 25. 1851. <https://doi.org/10.3390/ijms25031851>.
- Mohamed Ali Hussein, Abishek Kamalakannan, Kamyab Valinezhad, Jhishnuraj Kannan, Nikhila Paleati, Rama Saad, André Kajdacsy-Balla, Gnanasekar Munirathinam. The dynamic face of cadmium-induced Carcinogenesis: Mechanisms, emerging trends, and future directions. *Current Research in Toxicology*. 2024. Volume 6. 100166. <https://doi.org/10.1016/j.crtox.2024.100166>.
- Kubier A, Wilkin RT, Pichler T. Cadmium in soils and groundwater: A review. *Appl Geochem.* 2019. V. 108:1-16. doi: 10.1016/j.apgeochem.2019.104388. PMID: 32280158; PMCID: PMC7147761.

21. Корнелюк Н. М., Хоменко О. М., Мислюк О. О. Еколого-геохімічна оцінка забруднення ґрунтів м. Черкаси важкими металами. *Екологічна безпека*. 2019. № 2 (28). с. 44-51. DOI: 10.30929/2073-5057.2019.2.44-51
22. Зайцев Ю.О., Грищенко О.М., Романова С.А., Зайцева І.О. Вплив бойових дій на вміст валових форм важких металів у ґрунтах Сумського та Охтирського районів Сумської області. *Агроекологічний журнал*. 2022. № 3. 136-149. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2022.266419>.
23. Mislyuk, O., Khomenko, E., Yehorova, O., Zhytska, L. Assessing risk caused by atmospheric air pollution from motor vehicles to the health of population in urbanized areas. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. V. 1. № 10 (121), 19–26. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.274174>

ЕКОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБІВ ВІДНОВЛЕННЯ ҐРУНТОВОГО ПОКРИВУ ЗА АНТРОПОГЕННОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ

Нікітченко Б.Я., Наумовська О.І.

Національний університет біоресурсів і природокористування України
вул. Героїв Оборони, 13, 02000, м. Київ
b.nikitchenko@nubip.edu.ua, el.naumovskaya@gmail.com

Розглянуто проблеми основних видів забруднення, причини деградації сільськогосподарських територій в результаті військової агресії, методи поліпшення стану і сучасні міжнародні практики відновлення порушеного ґрунтового покриву.

Бойові дії, дотепер продовжують відбуватися на території України спричиняючи ряд екологічних проблем, які стосуються якості, стану та, насамперед, прогресуючих деградаційних процесів порушення і руйнації ґрунту. Забруднення ґрунту важкими металами, паливно-мастильними матеріалами, викликає екологічні ризики продуктивного використання угідь на предмет вирощування органічної продукції. Унаслідок обстрілів, мінувань, авіаударів відбуваються пожежі, засмічення територій, поширення токсичних речовин у товщу ґрунту, і як наслідок – погіршення стану ґрунтового покриву. Розглянуто основні фізико-хімічні, екологічні, біологічні зміни ґрунтового покриву за впливу воєнних дій. Описано основні чинники, які спричиняють погіршення якості українських земель. Збіднення ґрунту, спричиняє дестабілізацію всіх хімічних, фізичних та біологічних процесів, тому виникає потреба у пошуку нових альтернативних та простих рішень. Описано міжнародний досвід у сфері відновлення та реабілітації порушених ґрунтів внаслідок воєнних дій та розглянуто основні методи очищення і подальшого використання даних земель. Проаналізовано технологію відновлення ґрунту – фіторе mediaція, використовуючи рослини-аккумулянти забруднюючих, токсичних речовин.

Фіторе mediaція – комплекс методів очистки ґрунтового, водного середовища за допомогою рослин, що є економічно вигідним та одним із найдієвіших методів відновлення порушених ґрунтів з високим виносом забруднюючих речовин. Розглянуто ефективні види рослин, які добре адаптовані до кліматичних умов України, є стійкими до забруднень нафтопродуктами та важкими металами і насамперед проявляють акумулятивні властивості стосовно токсикантів у ґрунті, а саме можуть накопичувати полутанти у своїй фітомасі. *Ключові слова:* деградовані ґрунти, важкі метали, нафтопродукти, консервація земель, рослини-аккумулянти.

Ecological substitution of methods of land cover restoration during anthropogenic transformation. Nikitchenko B., Naumovska O.

The article discusses the problems of the main types of pollution, the causes of agricultural land degradation due to military aggression, methods of improving the condition of the land, and modern international practices for restoring disrupted soil cover. The ongoing hostilities in Ukraine continue to cause a range of ecological problems related to soil quality, condition, and, most importantly, the progressing degradation processes of soil disturbance and destruction. Soil pollution with heavy metals and petroleum products poses ecological risks to the productive use of land for growing organic products. As a result of shelling, mining, and airstrikes, fires, land contamination, and the spread of toxic substances in the soil occur, leading to the deterioration of the soil cover. The article examines the main physical-chemical, ecological, and biological changes in the soil cover due to the impact of military actions. It describes the key factors that contribute to the deterioration of the quality of Ukrainian land. Soil depletion destabilizes all chemical, physical, and biological processes, thus creating a need to search for new, alternative, and simple solutions.

The article also presents international experience in the restoration and rehabilitation of degraded soils due to military actions and discusses the main methods of soil purification and subsequent land use. The technology of soil restoration through phytoremediation is analyzed, using plants that accumulate pollutants and toxic substances.

Phytoremediation is a complex of methods for cleaning soil and water environments using plants, which is economically advantageous and one of the most effective methods for restoring disturbed soils with high pollutant removal. Effective plant species that are well adapted to the climatic conditions of Ukraine, are resistant to pollution by oil products and heavy metals, and primarily exhibit accumulative properties with respect to toxicants in the soil, namely, they can accumulate pollutants in their phytomass, are considered. *Key words:* degraded soils, heavy metals, petroleum products, land conservation, pollutant-accumulating plants.

Постановка проблеми. Останніми десятиліттями інтенсивний техногенний вплив спричинив вагоме збільшення площ деградованих ґрунтів, що суттєво впливає на стан та якість ґрунтового покриву. Потрапляння важких металів, радіонуклідів, нафтопродуктів, надлишку пестицидів та інших токсикантів у ґрунтовий покрив в результаті антропогенної діяльності призводять до забруднення всіх компонентів навколишнього природного середо-

вища, що сприяє значному погіршенню родючості ґрунту, знищенню біоценозу та зменшення біорізноманіття [21].

Актуальність дослідження. Війна призводить до численних екологічних проблем та загроз компонентам довкілля таких як: заміновані території, загроза біоті Смарагдової мережі, втрата біорізноманіття та загроза червонокнижним видам рослин та тварин і, насамперед, деградація та різноманітні

забруднення ґрунту токсичними речовинами і тд. Беручи до уваги, дані Міністерства оборони України, площа сільськогосподарських земель, які були звільнені від окупації та потребували повного або часткового розмінування становить близько 470 тис. га, проте фахівцями обстежено більше 131 тис. га та із яких близько 115 тис. га було розміновано на початок 2024 року [19].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Наукова робота виконується в рамках виконання ініціативної тематики «Наукове обґрунтування оцінювання локальних джерел забруднення агроценозів» (№ 0122U001176), яка полягає у проведенні комплексу досліджень вивчення ступеня трансформації компонентів довкілля за антропогенного впливу локальних джерел їх забруднення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На деградованому ґрунті потрібно вирощувати фіторе mediaційні культури через зміну біогеохімічних циклів поживних речовин, мікробного різноманіття ґрунтового покриву, зменшення органічної речовини, збільшення концентрації важких металів, залишків нафтопродуктів. Іони важких металів при більш високих концентраціях токсичні для рослин, але в оптимальних межах вони необхідні як мікротамакроелементи. Багато важких металів є токсичними, як для навколишнього середовища, так і для здоров'я людини. Нафтопродукти та їх залишки призводять до інтоксикації живих організмів та можуть навіть спричинити їх загибель. Через довгий період напіврозпаду нафтопродукти та важкі метали здатні впродовж тривалого часу зберігатися в товщі ґрунту та негативно впливати на ріст і розвиток рослинного покриву. Для рекультивації забрудненого ґрунтового покриву можна використовувати різні технології та методи: промивання ґрунту, фітосанація, фіторе mediaція, фітоекстракція, ризофільтрація, пневматичний розрив пласту, хімічне відновлення, механічне очищення [22].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. У даній статті описано основні зміни якісних показників ґрунту, які спричинені впливом воєнних дій, проаналізовано та розглянуто вітчизняні та міжнародні методи відновлення ґрунтового покриву.

Новизна. Проблема забруднення ґрунту є одним із головних питань людства, що дає поштовх для відкриття нових шляхів відновлення ґрунтового покриву. Після повномасштабного вторгнення росії відсоток забруднених ґрунтів важкими металами, нафтопродуктами суттєво виріс, що спричиняє ряд екологічних проблем, які потребують швидких та ефективних екологічних рішень.

Методологічне та загальнонаукове значення. У ході дослідження було використано такі наукові методи: аналізування інформаційних джерел,

емпіричного оцінювання, аналогії та порівняння міжнародного досвіду у сфері запобігання, локалізації, усунення забруднень важкими металами, радіонуклідами, паливно-мастильними матеріалами та пошук ефективних рішень для вирішення проблеми забруднення ґрунтового покриву.

Виклад основного матеріалу. Кожен день війни в Україні приносить згубний вплив на довкілля та інфраструктуру. Розрізняють такі якісні показники стану ґрунтового середовища:

- 1) Фізичні;
- 2) Фізико-хімічні;
- 3) Екологічні;
- 4) Біологічні.

Воєнні дії завдають значної шкоди біорізноманіттю. Кожен вибух снаряду, кожен авіаудар пригнічує, або навіть нівелює ріст рослинності, значно скорочує популяцію ґрунтової фауни, в тому числі мікроорганізмів, в загальному руйнує існуючий біогеоценоз. Важливим є те, що багато рослин здатні накопичувати, акумулювати у своїй фітомасі забруднюючі речовини, якими насичені ґрунти після вибухів снарядів. Сільськогосподарські культури, які вирощені на забруднених територіях не можна використовувати з метою споживання населенням. Шкоди в основному зазнає родючий шар ґрунту, гумусовий шар, в якому знищуються важливі симбіотичні зв'язки рослин та мікроорганізмів. В той же час, у ґрунті збільшується концентрація мінеральних речовин, що призводить до появи екзогенних сукцесій покриву рослин [7].

Фізичні зміни ґрунтового покриву насамперед полягають в перемішуванні генетичних горизонтів після вибухів бомб, снарядів; механічні деформації ґрунту після руху важкої техніки, будівництва фортифікаційних споруд, бліндажів; витискання води, утворення порожнин у структурі покриву, просідання поверхні та певних змінах у мікрорельєфі [1]. Не можна виключати і тепловий вплив на фізичні зміни ґрунту, що спричиняє локальні зміни температури, зміни агрегатного та гранулометричного складу ґрунтового покриву, що призводить до різкого зменшення біорізноманіття [5].

Також первинні зміни ґрунтового покриву спостерігаються внаслідок засмічення ґрунтів уламками, артилерійськими снарядами, гільзами, мінами та ракетами, які можуть спричиняти ерозію, деградацію ґрунтового покриву, масштабні зсуви поверхні та невідомі зміни структури. Воєнні дії пошкоджують дренажні системи, від яких залежить рівень підземних вод, пошкодження даних систем може призводити до підтоплення значних територій, в тому числі сільськогосподарського призначення. Фізичні зміни ґрунтового покриву провокують погіршення повітропроникності, водопроникності ґрунту, та здатності ґрунту утримувати вологу. Вибухи та вогнепальні постріли призводять до руйнування, розривання структури ґрунтового покриву та випалювання

поверхневого рослинного шару. Колосальна сила вибухів здатна перемішувати значну масу ґрунту з одного місця на інше, перемішувати генетичні горизонти та призводити до його реструктуризації. Воєнні дії супроводжуються постійним використанням важкої техніки, що призводить до ущільнення, стискання ґрунту та стає причиною непридатності у подальшому їх ефективному використанні. Всі ці зміни призводять до опустелювання значних територій та погіршення умов вирощування сільськогосподарських культур [1].

«Бомбтурбація» – це тип порушення ґрунту, під час якого спостерігається перемішування генетичних горизонтів, утворення локальних типів повоєнних ландшафтів та значні зміни мікрорельєфу. Поява кратерів впродовж воєнних дій спричиняється бомбардуванням територій, одним з наслідків дії вибуху є утворення воронки, що з'являється завдяки вивільненню великої кількості енергії снаряду та утворення кругової ударної хвилі. Вибухова хвиля порушує повітряно-водний режим ґрунту та дестабілізує процеси гумусоутворення [2].

Екологічні зміни полягають насамперед у накопиченні у ґрунті забруднюючих речовин таких як:

- рухомі та нерухомі форми важких металів
- нафтопродукти (паливно-мастильні матеріали)
- радіоактивні речовини та їх сполуки

У епіцентрах бойових дій важкі метали подекуди перевищують фонові значення в десятки, а то і навіть сотні разів. Разом із залишками боєприпасів до ґрунту потрапляють токсичні елементи такі як: Cd, As, Cr, Cu, Pb та інші.

У результаті окиснення залишків зброї до ґрунтового профілю потрапляє S, яка при взаємодії з водою перетворюється на сульфатну кислоту, змінюючи кислотність ґрунту та знищує мікроорганізми від яких безпосередньо залежить утворення гумусового шару.

Через рух та проходження важкої воєнної техніки ґрунт ущільнюється та до нього надходить величезна кількість паливно-мастильних матеріалів, порушується повітряний та водний режим профілю, ускладнюється біодоступність поживних речовин до рослин, порушуються біохімічні процеси та зменшується доступ кисню до ризосфери.

Оболонки боєприпасів здебільшого виготовляють з чавунного сплаву з додаванням вищенаведених важких металів, а в деяких випадках було виявлено навіть збіднений уран, з плином часу вони окислюються та здатні потрапляти до ланцюгів живлення.

Не можна не згадати, фосфорні бомби до складу яких входить білий фосфор у якого температура горіння до 1300 °C. Продукти горіння, потрапляючи на поверхню ґрунту, утворюють солі, що посилює горизонтальну міграцію залишків фосфорних бомб на значні відстані. Висока температура горіння боєприпасів спричиняє загибель великої кількості мікроорганізмів, навіть ґрунтоутворюючих.

Надмірний вміст фосфатів у ґрунті приносить шкоду росту і розвитку рослинам. Фосфорні бомби здатні викликати великі за площею пожежі, які досить проблемно загасити, доки не вигорить весь фосфор або не перешкодити доступ до кисню [11].

Протягом горіння білого фосфору в повітря виділяється білий дим, що в основному складається з триоксиду P_4O_6 та пентаоксиду P_4O_{10} . Оксиди фосфору, які утворилися є надмірно гігроскопічними, тобто здатні абсорбувати вологу, утворюючи фосфоровмісні кислоти: пірофосфорна $H_4P_2O_7$, ортофосфорна H_3PO_4 , гіпофосфорна H_3PO_2 , ортофосфориста H_3PO_3 , поліфосфорні кислоти та циклічні і лінійні поліфосфати. За умови низької концентрації кисню впродовж горіння білого фосфору може утворитися фосфін PH_3 . Фосфін здатний знаходитися в повітрі набагато довше, ніж інші продукти реакції, через слабку розчинність у воді, газоподібний стан та слабку здатність до взаємодії з іншими речовинами. Фосфін перебуваючи у газоподібному стані впродовж одного дня здатен розкладатися до безпечних речовин. Проте, при динамічному горінні аерозолі фосфору здатні обволікатися оксидами, чим і консервують у собі найпростіший білий фосфор.

Велика кількість аерозолів від горіння фосфору може долати буферність ґрунту і змінювати його рівень pH. Взаємодія металів з конденсатами фосфору може призводити до подальшої міграції та вимивання з ґрунту. Білий фосфор здатний викликати опіки листя, його опадання та згортання, хлороз, в'янення, некротичні плями та безпосередньо загибель рослини [10].

Істотного впливу навколишньому середовищу завдає і токсичний склад капсулів снарядів – засоби, які потрібні для загоряння порохового заряду у зброї або ж безпосередньо детонації снаряду. У складі капсулів є ініціюючі речовини для детонації бризантних вибухових речовин, що здатні руйнувати та роздроблювати предмети, які знаходяться в зоні вибуху [4].

Здебільшого за складом, капсулі є ударно-запальною сумішшю речовин таких як: гримуча ртуть, антимоній, бертолетова сіль, азид свинцю, тринітрозорцинат свинцю, нітрат стронцію, магнієвий порошок, нітрат і карбонат бісмуту. Через потрапляння цих речовин до ґрунту, атмосфери та підземних, прогнозується значне забруднення важкими металами та залишками вибухових речовин [12].

Після обстрілів нафтобаз та великих промислових об'єктів у ході горіння в повітря може потрапляти велика кількість канцерогенних забруднювачів таких як: важкі метали, легкі органічні сполуки, діоксид сірки, окис вуглецю, оксиди азоту та ін. Під час горіння мазутів (рідких палив) разом з димовими газами до повітря надходять: оксиди вуглецю, азоту та сірки, сірчаний ангідрид, тверді та газоподібні залишки неповного згоряння нафтопродуктів, спо-

луки натрію та ванадію, що провокує виникнення кислотних дощів. Горіння нафти супроводжується потраплянням до повітря небезпечних речовин, які можуть становити загрозу життю людини та росту і розвитку живих організмів таких як: сірчана кислота, сажа та продукти згоряння також бензоапірен, який є канцерогеном. Кислотні дощі, викликані здебільшого сірчаною кислотою можуть загрожувати баштанним сільськогосподарським культурам (кабачки, огірки, кавуни). Розлив нафти небезпечний однією своєю особливістю, вуглеводи нафти можуть розчинятися у собі інші забруднюючі речовини (важкі метали) становлячи цим ще більшу небезпеку як для водних об'єктів так і для ґрунтового середовища [5].

Геохімічні властивості нафти розглядаються насамперед як властивості її складових: циклічних вуглеводнів, метанових вуглеводнів, смол, асфальтенів та сірчистих сполук. Твердий парафін достатньо важко окислюється та руйнується в повітрі, він здатний закупорювати ґрунт, лишаячи його можливості вільного дихання та вологообміну. Це, насамперед, спричиняє цілковиту деградацію біогеоценозу. Ароматичні вуглеводні є одними з найбільш токсичних складових нафти, у концентрації близько 1% від вологи ґрунтового покриву гине весь рослинний покрив. Токсичний екологічний вплив смолистих компонентів на ґрунт полягає в погіршенні водно-фізичних властивостей, бо нафта проникає вертикально по профілю а основна маса смолисто-асфальтенових компонентів поглинається у гумусовому шарі, блокуючи доступ повітря та вологи, зменшується пористість ґрунту. Дані компоненти є гідрофобними, бо огортають кореневу систему, чим погіршують доступ повітря та вологи. Забруднення нафтою утворює нову екологічну обстановку, що спричиняє глибокі зміни природних біоценозів та у подальшому їх деградацію [6].

На сьогодні, у сучасних бронебійних боєприпасів активна частина складається здебільшого зі збідненого урану. Використовують даний метал через його особливу фізичну властивість – самозаймання та горіння при зіткненні з броньованою технікою. Дрібні уламки уранової серцевини боєприпасу поширюються та викликають займання горючих засобів та детонацію наявних боєприпасів вже всередині броньованої техніки. Приблизно 70% збідненого урану в снаряді згорає, перетворюючись в аерозоль радіотоксичних оксидів урану таких як: U_3O_8 , UO_2 розмірами частинок від 0,5 до 5 мікрон. Вагома частина даних аерозолів потрапляє до повітря, згодом осідає на поверхню ґрунту і проникає у підземні води забруднюючи дані середовища на тривалий час, допоки не мине період напіврозпаду [8].

Достеменно не відомо майбутній вплив залишків снарядів із збідненого урану на навколишнє середовище та людину. Проте, всім відомий так званий термін «синдром Перської затоки», він виник внаслідок Косовської війни 1998–1999 років. Війна привернула

увагу багатьох держав-лідерів та була вирішена завдяки втручанням НАТО. За офіційними даними, впродовж війни було застосовано приблизно 31 тисячі боєголовок з масою 10 тон збідненого урану. Окрім радіоактивного впливу на довкілля, уран також є канцерогеном і мутагеном, а його частинки неможливо повністю вилучити з ґрунту [9].

Впродовж з 24 березня по 5 червня 1999 року під час Косовської війни, літаки НАТО провели близько 34 000 польотів, призводячи до високого рівня забруднення локальної території, в опадах, які потрапляли на поверхню ґрунту була маса токсичних речовин таких як: полібутадин, стеарат свинцю, поліетилен, перхлорат амонію, повінілхлорид, високотоксичні гідроксиди та вихлопні гази, які містили оксиди азоту (основного руйнівника озонового шару) [9].

Біологічні зміни ґрунтового покриву полягають у зменшенні та загибелі популяцій підземних мікроорганізмів, черв'яків, комах, які відіграють важливу роль у ґрунтоутворенні, а саме [16]:

- розкладають органічні рештки, утворюючи гумусовий шар;

- підтримують фертильність, кислотність ґрунту.

Усі організми ґрунтового середовища є дуже важливими, утворюючи вагому складову біорізноманіття та підтримуючи екологічну стійкість ґрунту. Ґрунтові організми гинуть від переущільнення поверхневого шару важкою технікою, теплових ударів, руйнування та перемішування горизонтів, зневоднення товщі ґрунту та обмеження доступу повітря [2].

Беручи до уваги міжнародний досвід боротьби з деградованими ґрунтами після війни, можна сказати, що кожна країна використовувала різні методи, деякі були ефективні, а деякі не допомагали покращувати стан ґрунту. Найбільших пошкоджень ґрунтових ресурсів зазнала територія Франції під час Першої світової війни, відомо, що під час битви на Соммі сільськогосподарські угіддя було зруйновано, окопи пронизували поля, залишаючи деградовані землі. Приблизно 250 000 акрів, тобто 100 000 га сільськогосподарських угідь було знищено настільки, що було прийнято рішення вилучити дані землі з користування та висаджувати лісові насадження.

Під час воєнних дій на території Франції близько 1,5 мільйони акрів лісових насаджень було в зонах ведення активних бойових дій або в окупації, а близько 494 000 акрів лісів було знищено, місцева фауна також постраждала, у тому числі популяція європейського буфало значно скоротилася та перебувала під загрозою зникнення [1].

Під час Другої світової війни Норвегія протягом 5 років була окупована нацистами, первинні збитки було завдано ґрунтам безпосередньо самими норвежцями, які викопували окопи та захисні смуги. Завдяки зарядам динаміту закладеного на територіях країни та опадам почалися зсуви та перемішування мате-

ринських горизонтів. Відступаючи, німецька армія знищила землі на майже 15 мільйонах акрів, сільськогосподарські території та лісові угіддя зазнали суттєвих втрат. Нідерландці відкриттям дамби, мали за мету призупинити наступ німців, а в свою чергу це спричинило деградацію земель, засолення та затоплення.

У травні 1943 року аби знищити промислові склади в Німеччині було розбомблено дві вагомні греблі в Рурській долині, що спричинило затоплення близько 7500 акрів сільськогосподарських угідь [20].

Військові дії, які відбувалися в пустелях Північної Африки були досить суттєвими та спричинили багато пошкоджень. Ґрунтовий покрив був ущільнений військовими машинами та танками, рослинність була повністю знищена, а пилові бурі почали виникати все частіше, особливо в районах проведення бойових дій.

Одним з найбільш згубних, руйнівних та довготривалих наслідків для довкілля було ядерне бомбардування Хіросіми та Нагасакі. У серпні 1945 року було скинуто дві ядерні боєголовки впродовж трьох днів, попри збитки від радіаційного забруднення територій радіонуклідами, були додаткові втрати, викликані масштабними пожежами, токсичними опадами, після бомбардування, забруднення ґрунтового та водного середовищ загибель та зникнення тваринного і рослинного світу [2].

Не можна не згадати, прямі екологічні збитки під час воєнних дій в Перській затоці, що сталися у 1991 році. У намірах зупинити вторгнення було знищено заводи з опріснення води, що завдало шкоди економіки Кувейту та Саудівської Аравії. Війська Ірану вилили мільйони галонів нафти в мілкі води затоки та регулярно знищували нафтові родовища Кувейту. Детонатори, які встановили заздалегідь, знищили близько 1250 свердловин нафти, а ще 600 свердловин горіло після детонації вибухівки. Військові машини, що рухалися пустелею, знищили не лише рослинний покрив, а й пошкодили природну кірку ґрунтового покриву пустелі, що посилює вітрову ерозію [2].

Починаючи з 1989 року після закінчення Холодної війни в Європі було покинуто та потребувало відновлення приблизно 1,5 мільйони гектарів територій, здебільшого подальше використання даних земель вважалося недоцільним, через вагомий хімічний забруднення та велику кількість замінованих територій, що спричинило появу природних заповідників. Концепція перетворення забруднених територій після війни в природні заповідники, міжнародні парки миру, так звані – Natura 2000 набула популярності в усіх країнах Європи, тобто всі компоненти довкілля з часом можуть самовідновлюватися.

У Франції за десятиліття після Другої світової війни було відновлено більшість територій шляхом лісонасаджень, а сільськогосподарські угіддя повернуті у обробіток, але деякі сільськогосподар-

ські території не можна було повертати, через надмірне хімічне забруднення та нерозірвані снаряди, тому перевагу віддали поверхневому очищенню, висаджуванню лісів або консервуванню територій. Будівництво житла, ведення сільського господарства було суворо заборонено на територіях з високими концентраціями важких металів та інших токсичних речовин.

Після війни в Перській затоці, влада Кувейту не відновлювала ґрунтовий покрив та водні об'єкти, а лише утилізували забруднений ґрунт та засипали піском нафтові озера або підпалювали. Кувейтським інститутом наукових досліджень та Японським центром нафтової енергетики було розпочато спільну програму у 1994 році з відновлення території площею 1 га, покритою нафтопродуктами. Було апробовано 3 основні та ефективні методи біоремедіації: компостні відвали, землеробство та біовентиляційні палі. Як наслідок, біодеградація нафти була до 84% шлему, тобто майже повне очищення території, але даний метод досить трудомісткий та нерентабельний [3].

Університет Кувейту виявив, що декілька рослин здатні виживати в нафтозабрудненому ґрунті, тобто виявляли стійкість, їх коріння було здорове, а мікробіота кореневої системи зменшувала концентрацію нафтопродуктів. Дане дослідження показало, ефективне рішення проблеми, що легке забруднення нафтою зменшується приблизно на 80% за півроку, а важке забруднення впродовж року. Таким чином, фіторемедіація економічно ефективна та дієва, головне обрати рослини дотичні до місцевого рельєфу та клімату [3].

У Болгарії досліджували ефективність конопель (*Cannabis sativa* L.) послаблення забруднення важкими металами ґрунту використовуючи фіторемедіанти у зоні локального впливу підприємства кольорових металів. Шляхом сівозміни: озимий горох, озима пшениця, озимий ячмінь та коноплі було досягнуто екстрагування біомасою коноплі таких важких металів: Zn, Cu, Cd, Pb.

У США було доведено ефективність кукурудзи (*Zea mays* L.) з використанням синтетичних хелатів, як підсилюючого ефекту в поглинанні Pb, з допомогою хелатів було помітно істотне збільшення акумуляції Pb в стеблах, ніж в коренях з 500 мг/кг до 1000 мг/кг [22].

Одним з найперспективніших методів очищення компонентів довкілля на сьогодні вважається фіторемедіація з грецької *phyton* – рослина, й англійської *remediation* – виправлення [13].

Фіторемедіація об'єднує в собі велику кількість дієвих методів, які базуються на різних процесах очищення, поглинання та розкладання токсикантів:

- фітоекстракція – поглинання забруднюючих речовин кореневою системою рослин і переміщення та акумуляція їх у надземній частині рослин;

- фітостимуляція покращує мікробний обмін речовин у ризосфері рослин;

– фітодеградація полягає у розкладанні забруднюючих речовин до нетоксичних сполук, в основному базується на біорізноманіттю рослин та їх метаболізму;

– ризофільтрація – поглинання рослинною ризосферою розчинених форм забруднюючих речовин;

– ризодеградація – процес розкладання токсикантів у ризосфері рослин за допомогою ґрунтових мікроорганізмів.

Дані методи вважаються ґрунтоохоронними, тобто такими, що після їх застосування ґрунт не втрачає свої властивості. Процес розробки та впровадження фіторе mediaційних технологій включає в себе декілька завдань:

– характеристика місцевості, опис забруднення, а саме визначення кількості та глибини просочування забруднюючих елементів;

– добір рослин, які будуть акумулювати, розкладати токсиканти, якими забруднена досліджувана ділянка [14].

Забруднений ґрунт потрібно підготувати перед висаджуванням рослин-акумулятивів, тобто забезпечити нормальний рівень аерації ґрунту, провести дослідження ґрунту для визначення типу та ступеню забруднення і можливо використовувати біостимулятори росту рослин та регуляторів кислотності ґрунту для більшого виносу токсикантів. Для кращого очищення потрібно враховувати умови вирощування вибраних рослин та густоту висаджування [15].

Основними перевагами технології фіторе mediaції забрудненого токсикантами ґрунту можна вважати:

– у основі даного методу лежить використання біологічних, обмінних процесів рослин та мікроорганізмів;

– фіторе mediaція ефективний та економічно вигідний метод для очищення великих площ забруднених земель;

– даний метод сприяє підтримці екологічної стійкості та збереженню біорізноманіття, так як не застосовуються хімічні речовини для очищення, а лише обмінні процеси мікроорганізмів та рослин [22].

До рослин, які здатні накопичувати токсичні речовини відносять такі енергетичні культури як: *Miscanthus giganteus*, який за використання гуматів активно нарощує кореневу та надземну частину, що у свою чергу збільшує накопичення забруднювачів рослиною; *Brassica napus L.*, який добре пристосований до кліматичних умов України, виступає, як сидерат, покращує структуру ґрунту завдяки добре

розвиненій кореневій системі, є не лише енергетичною та олійною культурою, а й хорошим абсорбентом важких металів з ґрунтового профілю, а саме: Co, Cd, Pb, Cu, Zn; *Hippophae rhamnoides L.*, багаторічна культура, яка покращує стан земельного покриву, а саме, збільшує кількість азотфіксаторів, деструкторів нафти та підвищує вміст амонійного та загального азоту [23, 24].

Україна має досить значний досвід відновлення порушених земель, внаслідок Чорнобильської катастрофи. Чорнобильська катастрофа відбулася 26 квітня 1986 року була спричинена вибухом на четвертому реакторі. У докілья потрапила велика кількість радіоактивних речовин, що несло за собою колосальну загрозу для біорізноманіття та здоров'я людей. За офіційними даними, з сільськогосподарського обігу було виведено близько 5 мільйонів гектарів земель, а довкола атомної станції було створено 30 кілометрів зони відчуження. Загалом було забруднено внаслідок аварії на ЧАЕС більше 200000 км² [17]. Після аварії було прийнято Закон України від 27.02.1991 року «Про правовий режим територій, що зазнали радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи» [18]. За об'ємом та ступенем ураження земель наслідки можна було порівняти з бойовими діями, тому цей досвід застосування методів і підходів відновлення ґрунтового покриву є важливим для повоєнної України. Слід відмітити, наявність чітких та обґрунтованих критеріїв зонування пошкоджених територій і насамперед відповідних дій із подальшим управлінням такими землями [2].

Головні висновки. Враховуючи всі плюси та мінуси різних методів відновлення порушених сільськогосподарських територій: консервації земель, порівнюючи міжнародний досвід Болгарії, США, ми дійшли висновку, що найоптимальнішим та найдешевшим методом є фіторе mediaція. Основним завданням у фіторе mediaції є правильний підбір рослин-акумулятивів забруднюючих речовин зважаючи на забруднення, тип ґрунту та кліматичні умови.

Перспективи використання результатів дослідження. Фіторе mediaція є перспективним методом очищення та поліпшення стану ґрунту зі значним потенціалом, бо при її використанні можливий вагомий виніс фітомасою рослин-акумулятивів: важких металів, залишків нафтопродуктів, органічних забрудників; даний метод є економічно вигідним та сприяє підтриманню екологічної стійкості і біорізноманіття.

Література

1. Broomandi, P., Guney, M., Kim, J.R., & Karaca, F. (2020). Soil Contamination in Areas Impacted by Military Activities: A Critical Review. *Sustainability*, 12(21), 9002. doi: 10.3390/su12219002
2. Сплодитель А., Голубцов О., Чумаченко С., Сорокіна Л. Вплив війни Росії проти України на стан українських ґрунтів. Результати аналізу. 2023. URL: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/zabrudnennia-zemel-vid-rosii2.pdf>
3. Chabay, I., Frick, M., & Helgeson, J. (2015). Land Restoration. *Elsevier*. (p. 572). doi: 10.1016/c2013-0-18711-9
4. Лобойченко В.М., Пліско Г. (2017). Оцінка екологічних наслідків від вибухів патронів та гранат на складах боєприпасів. *Збірник наукових робіт курсантів*, Вип. 15. С. 112–120.

5. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів. Інформація про наслідки для довкілля від російської агресії в Україні 24 лютого – 18 березня 2022 року. 2022. URL: <https://mepr.gov.ua/informatsiya-pro-naslidky-dlya-dovkillya-vid-rosijskoyi-agresiyi-v-ukrayini-24-lyutogo-18-bereznia-2022-roku-2/>
6. Процько Я.І. (2010). Вплив нафти та нафтопродуктів на ґрунтовий покрив. Вісник Полтавської державної аграрної академії. Вид. 2-ге. Полтава. URL: <https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/visnyk/2010/02/189.pdf>
7. Evans, R., & Seddon, B. (2022). *Vybukhovi boieprypasy, posibnyk*. GICHD: 1th ed. URL: https://www.gichd.org/fileadmin/AMAT/_uploads/GICHD_Ukraine_Guide_2022_Second_Edition_in_Ukrainian.pdf
8. Станкевич С.В., Головань Л.В. (2020). Техноекология: навч. посібн. Харків: Видавництво Іванченко І. С. 337 с. URL: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2021/Stankevich_2020_338.pdf
9. Sullivan, C. (2014). Kosovo Liberation Army (KLA). History & Facts. Encyclopedia Britannica. URL: <https://www.britannica.com/topic/Kosovo-Liberation-Army>
10. Toxicological Profile for White Phosphorus. Atlanta, GA, USA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 1997. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK598135/>
11. Вілора В. (2022). Екологія в умовах війни: бомба уповільненої дії. Армія Інформ. Інформаційне агентство. URL: <https://armyinform.com.ua/2022/06/05/ekologiya-v-umovah-vijny-bomba-upovilnenoj-di-i/>
12. Сидоренко В. Л. (2013). Деякі аспекти визначення рівнів забруднення навколишнього природного середовища продуктами аварії на складі боєприпасів. *Збірник наукових праць Севастопольського національного університету ядерної енергії та промисловості*, 1, С. 110-119
13. Булаченко Р. В. (2013). Можливості застосування рослин фіторемедіантів для захисту ґрунтів Полтавщини від діяльності об'єктів нафтопромислового комплексу. Розробка екологічно безпечних технологій процесів і устаткування. *Екологічна безпека*, 15(1). С. 99-102. URL: [https://www.kdu.edu.ua/EKB_jurnal/2013_1\(15\)/Pdf/99.pdf](https://www.kdu.edu.ua/EKB_jurnal/2013_1(15)/Pdf/99.pdf)
14. Міжвідомчий тематичний науковий збірник «Землеробство» (2019). Вінниця: ТОВ «Твори». Вип. 2(97). 134 с. URL: https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2021/04/maket-zem-2-19_pidgotovlenij.pdf
15. Лисиця А.В. (2018). Біоіндикація і біотестування забруднених територій. Методичні рекомендації до самостійного вивчення дисципліни. Рівне: Дока-центр, 94 с. URL: https://kegt.rshu.edu.ua/images/dustan/2019/la_19_03_ms.pdf
16. Чорний С.Г. (2018). Оцінка якості ґрунтів: навчальний посібник. Миколаїв: МНАУ, 233 с. URL: https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/3259/1/Chornyj_Ocinka_jakosti_gruntiv.pdf
17. Красіков О. М. (2016). До 30-річчя Чорнобильської катастрофи: причини, наслідки та уроки. URL: <https://elar.naiu.kiev.ua/bitstreams/f1a19acb-0f1d-42db-a031-80cc306513e5/download>
18. Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи : Закон України від 27.02.1991 № 791а-ХІІ. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/791%D0%B0-12> (дата звернення: 05.02.2025)
19. Тхорик Л.О., Бережнюк Є.М. (2024). Забруднення ґрунтів важкими металами внаслідок воєнних дій в Україні та можливі заходи з їх відновлення. Київ: «Екологія – Філософія існування людства». № 10. 309 с. URL: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u341/zbirnik_filosofiya_2024.pdf#page=275
20. Johnsen, I.V., Mariussen, E., & Voie, H. (2019). Assessment of intake of copper and lead by sheep grazing on a shooting range for small arms: a case study. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 26 (8), 7337–7346.
21. Цицора Я.Г., Шкатула Ю.М., Забарна Т.А., Пелех Л.В. (2022). Інноваційні підходи до фіторемедіації та фіторекультиваци у сучасних системах землеробства. Вінниця: ТОВ «Друк». 1200 с. URL: <http://socrates.vsau.org/repository/getfile.php/31038.pdf>
22. Кляченко О.Л., Мелничук М.Д., Іванова Т.В. (2015). Екологічні біотехнології: теорія і практика. Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД». 254 с. URL: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/ekologichni_biotekhnologii_31-07-15.pdf
23. Подан І.І., Джура Н.М. (2019). Вплив нафтового забруднення і гуматів на ріст рослин міскантусу. *Екологічні науки*, 2(25). С. 182–186. doi: 10.32846/2306-9716-2019-2-25-30
24. Шевчик Л.З. Екологічна оцінка та фіторемедіація нафтозабруднених ґрунтів : автореф. дис. ... канд. біол. наук : 03.00.16 / Л. З. Шевчик. Дніпро : Дніпропетр. нац. ун-т ім. О. Гончара, 2017 р. – 21 с. URL: http://www.dnu.dp.ua/docs/ndc/dissertations/D08.051.04/dissertation_5902f7c3b8f84.pdf
25. Строкаль В.П., Бережнюк 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://nubip.edu.ua/sites/default/files/u341/monografiya-ostanniy_variant_isbn_5.pdf

ПІСЛЯДІЯ ҐРУНТОВИХ ДОМІШОК НА ВРОЖАЙНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ БІОМАСИ МІСКАНТУСУ ТА ПРУТОПОДІБНОГО ПРОСА, ВИРОЩЕНИХ НА ТЕХНОЗЕМІ В СТЕПУ УКРАЇНИ

Харитонов М.М., Лемішко С.М., Бабенко М.Г.

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, м. Дніпро

kharytonov.m.m@dsau.dp.ua

Багаторічна державна політика проведення обов'язкової рекультивациі порушених гірничими розробками земель в Україні призвела до виникнення особливого типу маргінальних земель – техноземів. Виявлення найбільш ефективних ґрунтових домішок, пов'язане з реалізацією безвідходних ресурсних циклів, дає ще одну можливість підвищення біоенергетичного потенціалу маргінальних земель. Закладені на техноземі на півдні Дніпропетровської області в умовах навчально-дослідної станції рекультивациі земель ДДАЕУ мікропольові досліді із міскантусом та прутіоподібним просом включали варіанти, де муніципальний осад стічних вод вносили окремо (10 та 20 т/га) та разом із золою соняшникового лушпиння (10 т/га). Варіант із внесенням в суміш лесоподібного суглинку та червоно-бурої глини (співвідношення 1:1) комплексного мінерального добрива азоту, фосфору та калію в дозі 60 кг/га та співвідношенні 1:1:1 був передбачений як традиційний для порівняння з дією зазначених нетрадиційних добрив у якості ґрунтових домішок. Встановлено, що міскантус був здатний давати стабільні врожаї за умов достатньої кількості опадів на протязі восьми років. На протязі цього часу його врожайність була більшою ніж у прутіоподібного проса на 0,5-2 т/га у варіанті з внесенням осаду стічних вод (ОСВ) в дозі 20 т/га. Відчутне зменшення врожайності міскантусу було зафіксоване на дев'ятий рік внаслідок виникнення посушливих умов в 2024 році, де додатковим чинником могла стати зміна мікроклімату в Нікопольському районі, спричинена руйнуванням дамби Каховського водосховища в червні 2023 року. Просо прутіоподібне як рослина ксерофіт продемонструвала більшу стійкість до несприятливих погодних умов на відміну від міскантусу. Стартове внесення осаду стічних вод дозі 20 т/га дозволило забезпечити вміст азоту, фосфору і калію в біомасі енергетичних культур на рівні, який трохи поступався показникам. варіанту із внесенням мінеральних добрив в дозах $N_{60}P_{60}K_{60}$. Зменшення вмісту важких металів в надземній біомасі міскантусу та прутіоподібного проса у порівнянні з даними отриманими нами в цьому ж експерименті після трьох років вирощування засвідчило фітостабілізаційну роль цих культур щодо накопичення цих елементів в ризомах. *Ключові слова:* міскантус, прутіоподібне просо, елементи, технозем.

Long term effect of soil amendments on the yield and biomass quality of Miscanthus and switchgrass grown on technosol in the Steppe of Ukraine. Kharytonov M., Lemishko S., Babenko M.

The long-term state policy of mandatory reclamation of lands disturbed by mining in Ukraine has led to the emergence of a special type of marginal lands – technosols. Identification of the most effective soil amendments associated with the utilization of waste-free resource cycles provides another opportunity to increase the bioenergy potential of marginal lands. Microfield experiments with miscanthus and switchgrass, established on technosols in the south of Dnipropetrovsk region in the conditions of the DSAEU land reclamation training and research station, included treatments where municipal sewage sludge was applied separately (10 and 20 t/ha) and together with sunflower husk ash (10 t/ha). The option with the introduction of a complex mineral fertilizer of nitrogen, phosphorus and potassium into a mixture of loess-like loam and red-brown clay (ratio 1:1) at a dose of 60 kg/ha and a ratio of 1:1:1 was envisaged as traditional for comparison with the effect of the indicated non-traditional fertilizers as soil amendments. It was established that miscanthus was able to give stable yields under conditions of sufficient rainfall for eight years. During this time, its yield was higher than that of switchgrass by 0.5-2 t/ha in the option with the introduction of sewage sludge (SS) at a dose of 20 t/ha. A significant decrease in the yield of miscanthus was recorded for the ninth year due to the occurrence of drought conditions in 2024, where an additional factor could be a change in the microclimate in the Nikopol district, caused by the destruction of the dam of the Kakhovka reservoir in June 2023. Switchgrass as a xerophyte plant demonstrated greater resistance to adverse weather conditions, unlike miscanthus. The initial application of sewage sludge at a dose of 20 t/ha allowed to ensure the content of nitrogen, phosphorus and potassium in the biomass of energy crops at a level that was slightly inferior to the indicators of the trial with the application of mineral fertilizers at doses of $N_{60}P_{60}K_{60}$. The decrease in the content of heavy metals in the above-ground biomass of miscanthus and switchgrass compared to the data obtained by us in the same experiment after three years of cultivation demonstrated the phytostabilizing role of these crops in terms of the accumulation of these elements in rhizomes. *Key words:* miscanthus, switchgrass, elements, technosol.

Постановка проблеми. Вирощування багаторічних трав на малородючих землях вимагає внесення поживних речовин, що за умов використання традиційних мінеральних добрив та меліорантів значно збільшить загальні витрати, а також потребуватиме велику кількість енергії для їх виробництва та транспортування. У цьому зв'язку має сенс дослідити використання того, що часто називають

«відпрацьованими поживними речовинами», які доступні на місцевому чи регіональному рівнях, для забезпечення високих урожаїв технічних або енергетичних культур, що використовують біосировину. Енергетичний потенціал міскантусу та проса прутіоподібного зараз активно вивчається, але потреба проведення багаторічних досліджень є викликом сьогодення для створення мережі міні котелень як

додаткового альтернативного заходу під час виведення внаслідок військових дій з ладу теплових електростанцій України. Відомо, що використовувати енергетичні плантації трав'янистих культур можна протягом тривалого часу – 15-20 років. Тобто цей факт свідчить про економічну доцільність створення великих плантацій трав'янистих енергокультур на маргінальних землях.

Метою роботи було вивчення тривалості післядії від стартового внесення ґрунтових домішок (золи соняшника та осаду стічних вод) на щорічну урожайність, вміст макроелементів та важких металів при вирощуванні міскантусу та прутноподібного проса на фітомеліорованій технічній суміші лесоподібного суглинку та червоно-бурої глини.

Актуальність дослідження. Потреба у використанні відновлюваної енергії для зниження залежності від викопного палива стає все більш очевидною. Виробництво біопаливної сировини на маргінальних землях може підвищити енергетичну безпеку країни шляхом витіснення імпортного палива, зменшити вплив на навколишнє середовище через скорочення викидів парникових газів. Різноманітна сировина швидкозростаючих неінвазійних трав'янистих культур може бути використана для виробництва біопалива другої генерації, створення «зеленого» конвейєру забезпечення міні котелень гранулами. Основні кліматичні особливості центрального Степу України це дефіцит атмосферних опадів, достатня кількість тепла та світла в період вегетації рослин. Оскільки багаторічні трав'янисті культури, а саме міскантус та просо прутноподібне, мають C_4 тип фотосинтезу, це дозволяє їм в період вегетації використовувати меншу кількість води та поживних речовин порівняно з травами, що мають C_3 тип фотосинтезу. Встановлені насадження енергетичних трав'янистих культур мають продуктивність коренів, сумірну з біомасою пагонів, що робить їх цінним інструментом поглинання вуглецю в ґрунті.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Відомо, основними чинниками зміни культур в сівозмінах є необхідність уникнення виснаження ґрунту вимогливими до поживних речовин рослинами та ризику виділення ризосферою рослин відповідних речовин, які запобігають можливості продовження їх вирощування в монокультурі. Існування великої кількості маргінальних земель, в тому числі рекультивованих, еродованих та виведених із сільськогосподарського виробництва, внаслідок їх забруднення в ході військових дій, є тим ресурсом який може бути використаний не тільки для вирощування багаторічних трав'янистих культур для виробництва біопаливних гранул, але й різного роду біокомпозитних матеріалів.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Не достатньо дослідженою є вивчення

тривалості впливу разового внесення деяких нетрадиційних добрив (золи лушпиння, осаду стічних вод) на хімічний склад надземної маси енергетичних трав'янистих культур у багаторічному досліді. Це стосується і порівняння стабільності отримання біопаливної сировини в умовах центрального Степу України.

Новизна. Тривале вирощування міскантусу та світчграсу в Україні переважним чином досліджувалося в умовах більш забезпечених опадами правобережної підзони Лісостепу. У роботі вперше зроблена порівняльна оцінка адаптивного потенціалу міскантусу та прутноподібного проса за рівнем урожаю, вмістом макроелементів та важких металів в надземній біомасі, зібраній після вирощування на технічній суміші лесоподібного суглинку та червоно-бурої глини після їх тривалого вирощування.

Методологічне або загальнонаукове значення. Багаторічні дослідження проводили на півдні Дніпропетровської області в умовах навчально-дослідної станції Дніпровського державного аграрно-економічного університету. Рослини міскантусу та проса прутноподібного були висаджені восени 2015 року в польовому експерименті на технічній суміші, що складалась з лесоподібного суглинку та червоно-бурої глини. Застосовували такі ґрунтові домішки: зола лушпиння соняшника (10 т/га), осад стічних вод (ОСВ, 10 т/га), суміш золи лушпиння соняшника та осаду стічних вод (10 т/га), подвійна доза осаду стічних вод (20 т/га), мінеральне добриво ($N_{60}:P_{60}:K_{60}$ кг/га). Контролем слугувала ділянка без внесення будь-яких домішок. Осад міських стічних вод (ОСВ) був зібраний на очисній станції міста Покров після остаточної обробки зневоднювальною центрифугою. Зола лушпиння соняшника була зібрана після спалювання у твердопаливному котлі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед факторів які впливають на продуктивність біомаси та хімічний склад міскантусу гігантського та світчграсу або проса прутноподібного важливими є мінливість генотипу, географічне положення ареалу, кліматичні умови та технологія вирощування [1,2]. Найбільш відомими генотипами міскантусу є *M. × giganteus*, *M. sacchariflorus* and *M. Sinensis* [3]. Генотипи проса прутноподібного включають багато сортів, які відрізняються відповідно їх адаптивності до умов ландшафту [4, 5].

Середньорічна кількість опадів в лісостеповій зоні складає 600-680 мм, а в Степу не перевищує 500-550 мм. Дефіцит вологи може негативно позначитися на врожайності та якості біомаси. Для вирощування міскантусу найбільше підходять ґрунти середньої щільності. Просо прутноподібне – багатифункціональна культура, що активно використовується як протиерозійна, кормова, декоративна рослина, для фіторе mediaції та як субстрат для вирощування грибів [6-8]. Коренева система міскантусу та світчграсу може сягати глибини до 2,5-3 м. Обидві

культури здатні давати врожаї біомаси для потреб відновлювальної енергетики [9-12].

Методи дослідження. Методика досліджень передбачала визначення наступних параметрів: врожайність міскантусу та прутноподібного проса, вміст азоту, фосфору, калію та важких металів у біомасі рослин. Врожайність трав'янистих енергокультур визначалась щорічно восени ваговим методом з подальшим розрахунком у т/га. Вміст азоту, фосфору та калію визначали після мокрого кислотного розчинення біомаси рослин [13]. Вміст важких металів в отриманих витяжках вимірювали із застосуванням методу атомно-абсорбційної спектрофотометрії.

Виклад основного матеріалу. Результати визначення урожайності сухої біомаси міскантусу та прутноподібного проса за дев'ять років наведені на рисунках 1 та 2.

Починаючи з четвертого року урожайність біомаси міскантусу була більшою ніж у прутноподібного проса на 0,5-2 т/га. Між тим, на протязі трьох останніх років темпи приросту біомаси міскантусу зменшились, у той час, як приріст надземної маси у рослин прутноподібного проса зберігався на тому ж рівні. Особливо чутливою до посушливих умов реакція міскантусу була в 2024 році. Результати визначення в 2024 році вмісту макроелементів в біомасі міскантусу та прутноподібного проса наведені на рисунках 3 та 4.

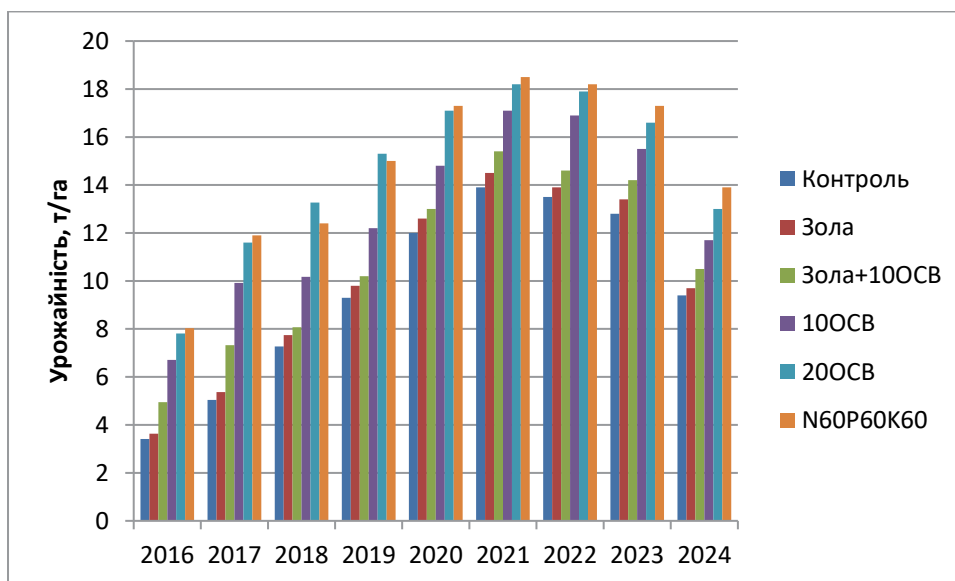


Рис. 1. Урожайність сухої біомаси міскантусу на техноземі

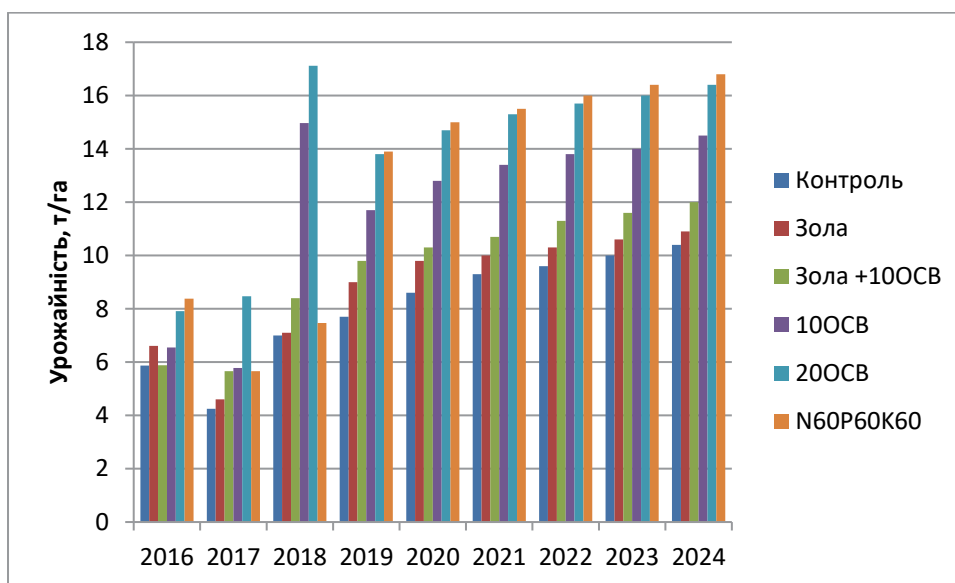


Рис. 2. Урожайність сухої біомаси світчґрасу на техноземі

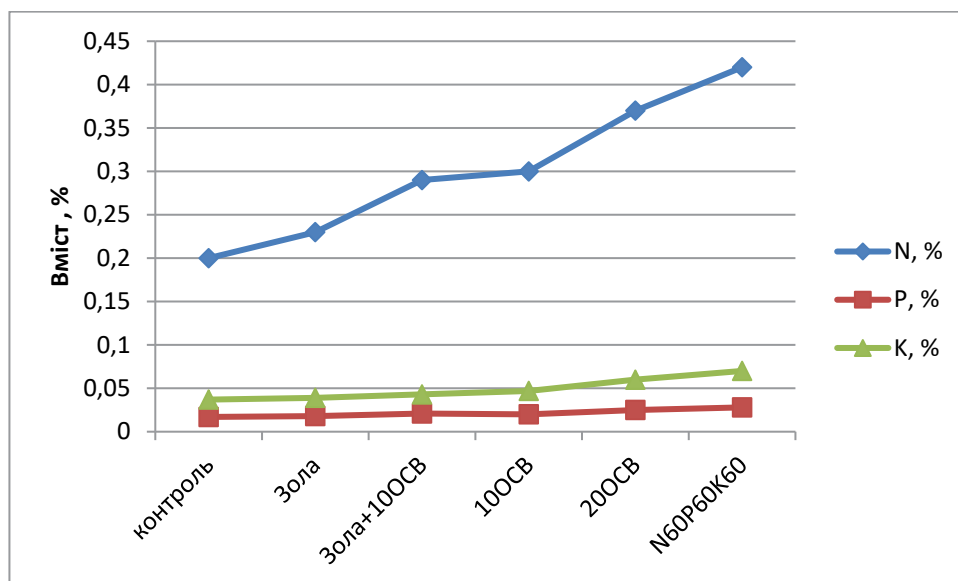


Рис. 3. Вміст макроелементів в сухій біомасі міскантусу, %

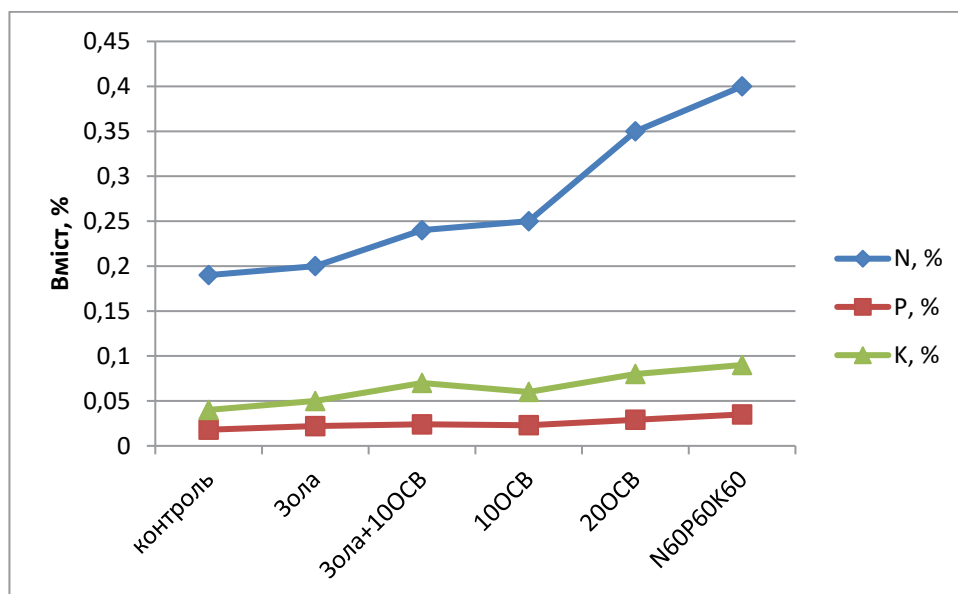


Рис. 4. Вміст макроелементів в сухій біомасі прутноподібного проса, %

Застосування осаду стічних вод у найбільшому рівні зазначилось на вмісті азоту, фосфору і калію в дозі 20 т/га. Трохи більші показники були відмічені у варіанті із стартовим внесенням мінеральних добрив в дозах $N_{60}P_{60}K_{60}$. Результати визначення в 2024 році вмісту важких металів в біомасі міскантусу та прутноподібного проса наведені в таблиці 1.

Вміст заліза, марганцю, цинку, міді та свинцю у біомасі міскантусу та прутноподібного проса на ділянках із застосуванням ґрунтових домішок був вище ніж у контролі у варіанті з внесенням осаду стічних вод у дозі 20 т/га. Разом з тим, зазначений рівень важких металів в надземній біомасі міскантусу та прутноподібному просі був нижче у порів-

нянні з даними отриманими нами в цьому ж експерименті після трьох років вирощування [14]. Відомо, що такі рослини, як міскантус та просо прутноподібне накопичують важкі метали в підземній частині [15, 16]. Отже вирощування таких культур, які здатні накопичувати важкі метали в ризомах на протязі їх вирощування зменшує ризик вилугування токсикантів з техногенно забрудненого ґрунту у підземні води.

Головні висновки. В умовах півдня Дніпропетровської області міскантус був здатний давати стабільні врожаї за умов достатньої кількості опадів на протязі восьми років. На протязі цього часу його врожайність була більшою ніж у прутнопо-

Таблиця 1

Вміст важких металів в біомасі міскантусу та пруттоподібного проса, мг/кг

Елемент	Контроль	Зола	Зола+10ОСВ	10ОСВ	20ОСВ	N60P60K60
Міскантус						
Fe	140,3	160	185	180	195	149
Mn	52	120,1	135,3	130	140,3	70,5
Zn	13	19,3	23,4	23,5	26,4	16
Cu	5	6,3	7,8	8,2	14	6,1
Pb	2,1	2,5	2,8	2,7	3,0	2,2
Прутоподібне просо						
Fe	130	153,3	184,7	180,5	193,6	139,2
Mn	45,5	75,2	80,4	78,6	110	53,6
Zn	10,2	15,3	16,8	16,2	21,2	13,4
Cu	4	6,4	7,5	7,2	13,8	6,2
Pb	1,9	2,4	2,7	2,6	2,9	2,0

дібного проса на 0,5-2 т/га. Відчутне зменшення врожайності міскантусу було зафіксоване на дев'ятий рік внаслідок виникнення посушливих умов в 2024 році, де додатковим чинником могла стати зміна мікроклімату в Нікопольському районі, спричинена руйнуванням дамби Каховського водосховища в червні 2023 року. Просо пруттоподібне як рослина ксерофіт продемонструвала більшу стійкість до несприятливих погодних умов на відміну від міскантусу. Стартове внесення осаду стічних вод дозі 20 т/га дозволило забезпечити вміст азоту, фосфору і калію в біомасі енергетичних культур на рівні, який трохи поступався показникам. варіанту із внесенням мінеральних добрив в дозах N₆₀P₆₀K₆₀. Зменшення вмісту

важких металів в надземній біомасі міскантусу та пруттоподібному просі у порівнянні з даними отриманими нами в цьому ж експерименті після трьох років вирощування засвідчило фітостабілізацію роль цих культур щодо накопичення цих елементів в ризомах.

Перспективи використання результатів досліджень. У подальшому матеріали досліджень можуть бути ураховані при закладенні в підзоні центрального Степу України комерційних плантацій з вирощування міскантусу і пруттоподібного проса, розрахованих на довготривалий період їх використання для забезпечення мінікотелень біопаливними гранулами.

Література

- Karp, A., Shieid, I. Bioenergy from plants and the sustainable yield challenge. *New Phytologist*. 2008. Vol.179, № 1. P. 15-32. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02432.x>.
- Kulik M. Impact of seeding terms and row spacing on yield of switchgrass phytomass, biofuel and energy output. *Annals of Agrarian Science*. 2016. Vol.14, № 4. P. 331-334. <https://doi.org/10.1016/j.aasci.2016.09.011>.
- Hodkinson T.R., Chase T.R., Takahashi C., Lietch I.J., Bennett M.D. Renvoize S.A. The use of DNA sequencing (ITS and trnL-F), AFLP, and fluorescent in situ hybridization to study allopolyploid *Miscanthus* (Poaceae). *American Journal of Botany*. 2002. Vol.89. P.279–286. DOI:10.3732/ajb.89.2.279
- Hultquist S.J., Vogel K.P., Lee D.J., Arumuganathan K., Kaeppler S. Chloroplast DNA and nuclear DNA content variations among cultivars of switchgrass, *Panicum virgatum* L. *Crop Sci*. 1996. Vol.36. P.1049–1052
- Fike J.H., Parrish D.J., Wolf D. D., Balasko J. A., Green J.T., Rasnake M., Reynolds J.H. Long-term yield potential of switchgrass-for-biofuel systems. *Biomass and Bioenergy*. 2006. Vol.30, № 3. P.198-206. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2005.10.006>
- Hartman J.C., Nippert J.B., Orozco R.A., Springer C.J. Potential ecological impacts of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) biofuel cultivation in the Central Great Plains. *Biomass and bioenergy*. 2011. Vol.35, P.3415-3421.
- Mitchell R., Fritz J., Moore K., Moser L., Redfearn D., Weste D. Predicting forage quality in Switchgrass and Big Bluestem. *Agron. J*. 2001. Vol. 93. P.118-124. DOI: 10.2134/agronj2001.931118x
- Smeets E.M.W., Lewandowski I.M., Faaij A.P.C. The economical and environmental performance of miscanthus and switchgrass production and supply chains in a European setting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2009. Vol.13. P.1230-1245. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.006>
- Christian, D. G., Riche, A. B., Yates, N. E. Growth, yield and mineral content of *Miscanthus* × *giganteus* grown as a biofuel for 14 successive harvests. *Industrial Crops and Products*, 2008. Vol.28. P.320–327. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.02.009>
- Heaton E. A., Dohleman F. G., Long S. P. Meeting us biofuel goals with less land: The potential of *Miscanthus*. *Global Change Biology*. 2008. Vol.14, № 9, 2000–2014. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01662.x>
- Marra, M., Keene, T., Skousen, J., Griggs, T. Switchgrass yield on reclaimed surface mines for bioenergy production. *Journal of Environmental Quality*. 2013. Vol.42, № 3. P.696–703. <https://doi.org/10.2134/jeq2012.0453>

12. Skousen, J., Keene, T., Marra, M., Gutta, B. Reclamation of mined land with switchgrass, miscanthus and arundo for biofuel production. *Journal of the American Society of Mining and Reclamation*. 2012. Vol. 2, № 1. P.177–191. <https://doi.org/10.21000/JASMR13010177>
13. Thomas R.L., Sheard R.W., Mayer J.R. Comparison of conventional and automated procedures for nitrogen, phosphorus and potassium analysis of plant material using a single digestion. *Agron. J.* 1967. Vol.59. P.240-243.
14. Kharytonov M.M., Martynova N.V., Babenko M.G., Rula I.V. Environmentally compatible utilization of reclaimed mine lands for sustainable production food and bioenergy feedstock. *Publishing House "Baltija Publishing"*. 2020. P. 625-658. <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-45-7.30>
15. Malinowska, E., Kania, P. The effects of organic waste materials on *Miscanthus × giganteus* yield and Zn and Ni content. *Sci Rep.* 2024. Vol. 14. P. 16372. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-67413-y>
16. Shrestha P., Bellitürk K., Görres J.H. Phytoremediation of Heavy Metal-Contaminated Soil by Switchgrass: A Comparative Study Utilizing Different Composts and Coir Fiber on Pollution Remediation, Plant Productivity, and Nutrient Leaching. *Int J Environ Res Public Health*. 2019. Vol.16, № 7. P.1261. <https://doi.org/10.3390/ijerph16071261>.

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЗБАГАЧЕННЯ ҐРУНТУ УРБООКОСИСТЕМИ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ ВНАСЛІДОК ТРИВАЛОЇ ДІЇ АНТРОПОГЕННОГО ФАКТОРУ

Яковишина Т.Ф.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
пр. Дмитра Яворницького, 19, 49057, м. Дніпро
t_yakovyshyna@ukr.net

Євроінтеграція України передбачає наслідування EU Soil strategy та EU Action Plan «Towards Zero Pollution for Air, Water and Soil», що вимагає приведення у відповідність системи оцінювання забруднення ґрунтів важкими металами до стандартів ЄС. Якість проведеного оцінювання вмісту забруднювачів надасть змогу вірно підібрати найбільш ефективні заходи з відновлення ґрунтів урбоекосистем з високим рівнем антропогенного навантаження. Нерозуміння причини надлишкового вмісту сполук важких металів в ґрунті в подальшому призведе до прийняття помилкових рішень при розробці заходів з його ремедіації та ще більше підвищить рівень екологічної небезпеки для мешканців урбоекосистем. Запропоновано залучати до системи оцінювання поелементного та поліелементного забруднення міських ґрунтів сполуками важких металів коефіцієнт збагачення, для чіткого розуміння антропогенного внеску в формування їх надлишкових кількостей з урахуванням особливостей конкретної території при визначенні рівня забруднення відносно зональних ґрунтів. Встановлено нестачу нікелю та рівень забруднення ґрунтів урбоекосистеми м. Дніпро сполуками важких металів (Zn, Cu, Pb і Cd) за коефіцієнтом збагачення, відносно нормування до стабільного хімічного елементу (Al). Виявлено тенденцію зростання збагачення важкими металами міських ґрунтів в ряді $Cu > Zn > Pb > Cd > Ni$. Оцінено рівень збагачення ґрунтів урбоекосистеми м. Дніпро сполуками важких металів в межах категорій від недостатньо до значно збагаченого, як за кожним досліджуваним важким металом, так і за їх сукупністю. Ґрунтовно доведено ефективність використання показників Er та MEQ при оцінюванні забруднення ґрунтів сполуками важких металів шляхом нормування із залученням стабільних елементів, яке надає можливість виділити вплив антропогенного фактору щодо причин їх накопичення порівняно до зональних ґрунтів. *Ключові слова:* важкі метали, забруднення, коефіцієнт збагачення, ґрунт, урбоекосистема, екологічна небезпека, стабільний елемент.

Ecological assessment of the soil enrichment of the urban ecosystem by heavy metals due to the long-term effect of anthropogenic factor. Yakovyshyna T.

Ukraine's European integration involves following the EU Soil strategy and the EU Action Plan "Towards Zero Pollution for Air, Water and Soil", which requires bringing the assessment system of soil pollution by heavy metals into line with EU standards. The assessment quality of the pollutants content makes it possible to correctly select the most effective measures for the restoration soils of urban ecosystems with a high level of anthropogenic load. Misunderstanding the cause of the excessive content of heavy metal compounds in the soil will subsequently lead to making erroneous decisions when developing measures for its remediation and will further increase the level of environmental danger for residents of urban ecosystems. The enrichment coefficient has been proposed to involve in the assessment system of elemental and polyelemental pollution of urban soils by heavy metal compounds, for a clear understanding of the anthropogenic contribution to the formation of their excess quantities, taking into account the characteristics of a specific territory when determining the level of pollution relative to zonal soils. The lack of nickel and the level of soils contamination by heavy metal compounds (Zn, Cu, Pb and Cd) for Dnipro urban ecosystem have been established with using of enrichment coefficient, relative to the standardization to a stable chemical element (Al). A trend of increasing enrichment of urban soils by heavy metals has been revealed in the series $Cu > Zn > Pb > Cd > Ni$. The soil enrichment level of Dnipro urban ecosystem by heavy metal compounds has been estimated within the categories from insufficient to significantly enriched, both for each studied heavy metal and for their totality. The effectiveness of using Er and MEQ indicators for assessment of soil contamination by heavy metal compounds by standardization with stable elements has been proposed for possibility to isolate the influence of the anthropogenic factor as the causes of their accumulation compared to zonal soils. *Key words:* metals, pollution, enrichment factor, soil, urban ecosystem, ecological hazard, stable element.

Постановка проблеми. Євроінтеграція України передбачає наслідування EU Soil strategy та EU Action Plan «Towards Zero Pollution for Air, Water and Soil», що потребує приведення у відповідність системи оцінювання забруднення ґрунтів до стандартів ЄС. Існуюча система визначення рівня забруднення через нормування відносно фонові концентрації та ГДК має бути переглянута і уточнена шляхом залучення показників, які б надавали розуміння про причини надлишкових кількостей сполук важких металів в ґрунті та їх поведінку в певних ґрунтових

умовах. На відміну від гомогенних суміжних середовищ (вода, повітря) ґрунт, як неоднорідний складноорганізований, профільно-розподілений об'єкт, не може бути репрезентативно охарактеризований лише показником концентрації сполук важких металів в поверхневому шарі. Якість проведеного оцінювання вмісту забруднювачів надасть змогу вірно підібрати найбільш ефективні заходи з відновлення антропогенно навантажених ґрунтів урбоекосистем.

Актуальність дослідження. Валовий вміст важких металів в ґрунтах визначається їх концентра-

цією в материнській породі. Породи збагачені важкими металами зумовлюють їх підвищений вміст в ґрунтах, що за умов невизначеності пов'язаної з відсутністю даних про ґрунотворну породу, може сприйматися як забруднення, хоча таким насправді не є, адже це пов'язано з природними процесами. Нерозуміння причини надлишкового вмісту сполук важких металів в ґрунті в подальшому призведе до прийняття помилкових рішень при розробці заходів з його ремедіації та ще більше підвищить рівень екологічної небезпеки для мешканців антропогенно навантажених територій урбоєкосистем. Тому досить важливо залучати до системи оцінювання поелементного та поліелементного забруднення міських ґрунтів сполуками важких металів показник, який би, надавав чітке розуміння антропогенного внеску в формування їх надлишкових кількостей з урахуванням особливостей конкретної території та давав змогу встановити рівень забруднення відносно зональних ґрунтів.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження проведено у рамках реалізації Закону України «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» (розпорядження Кабінету Міністрів України від 28.02.2019 р.); Стратегії екологічної безпеки та адаптації до змін клімату на період до 2023 р. (розпорядження Кабінету Міністрів України № 1363 від 20.10.2021 р.); під час виконання у Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка» НДР «Інноваційні технології захисту довкілля для забезпечення екологічної безпеки техногенно-навантажених регіонів» (державний реєстраційний номер 0124U002506, 2024-2027 рр.).

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Найбільш поширеними при нормуванні поелементного забруднення ґрунту є показники, що базуються на фоновій концентрації – коефіцієнт забруднення (Cf), індекс геоаккумуляції (Igeo) та ГДК – коефіцієнт небезпеки ($K_{\text{нб}}$). До інтегрованих індексів на основі фонових або базових значень, відносяться: ступінь забруднення (Cd) та його модифікований варіант (mCd), індекс забруднення (PLI) та індекс забруднення Немерова (NPI).

Проте дослідженнями [1-2] встановлено, що результати оцінки забруднення ґрунтів сполуками важких металів в багатьох випадках виявляються дуже залежними від використаних референтних значень. Тільки коефіцієнт збагачення (enrichment factor – EF) [3-4] надає можливість диференціації елементів відносно їх вмісту, по-перше, як такого, що може бути зумовлений як результатом діяльності людини так і, навпаки, мати природне походження, а, по-друге, надає чітку відповідь щодо оцінки ступеня забруднення. Слід також враховувати направленість антропогенної діяльності в межах урбоєкосистеми, що впливає на вміст сполук важких металів в ґрунті,

а саме деконцентрація, пов'язана з процесом будівництва та забруднення зумовлене її функціонуванням. Тому для отримання більш точних результатів стану ґрунтів, що зазнали забруднення внаслідок тривалого антропогенного впливу виникає потреба в удосконаленні системи оцінювання, шляхом застосування комбінації одиничних та інтегрованих показників, які враховують особливості місця дослідження шляхом нормування відносно стабільних елементів (Al, Fe, Ca, Ti, Mn, Sc) [5-6].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Проблема дослідження полягає в обґрунтуванні ефективності використання в системі оцінювання екологічної небезпеки урбоєкосистем показників Ег – для елементного та MEQ – для поліелементного забруднення ґрунтів сполуками важких металів, як такого що забезпечує нормування за фоновію концентрацією відносно стабільного елементу та відбиває рівень їх збагачення порівняно до зонального ґрунту в результаті тривалого впливу антропогенного фактору.

Новизна. Встановлено рівень забруднення ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро сполуками важких металів (Zn, Cu, Pb, Cd та Ni) за коефіцієнтом збагачення. Набуло подальшого розвитку застосування показників Ег та MEQ для оцінювання забруднення ґрунтів сполуками важких металів, як таких що завдяки нормуванню до стабільного елементу (Al) надають можливість виділити вплив антропогенного фактору щодо їх деконцентрації та накопичення відносно зональних ґрунтів, які знаходяться в нативних умовах.

Методологічне або загальнонаукове значення. Обґрунтування ефективності використання в системі оцінювання екологічної небезпеки урбоєкосистем показників Ег – для поелементного та MEQ – для поліелементного забруднення ґрунтів важкими металами проводили використовуючи базу даних вмісту Zn, Cu, Pb, Cd та Ni в ґрунтах урбоєкосистеми м. Дніпро [7]. Зональним ґрунтом виступав чорнозем звичайний малогумусний важкосуглинковий на лесі.

Для оцінювання збагаченості ґрунту використовували валовий вміст, як такий що відбиває всю кількість важких металів в ґрунті та зумовлюється їх наявністю в материнській породі – в нативних умовах, а також чітко показує надлишкову кількість, пов'язану з антропогенним фактором.

Коефіцієнт збагачення при оцінюванні елементного забруднення важкими металами розраховували згідно методики [8] за формулою (1)

$$EF = \frac{\left(\frac{C_n}{LV}\right)_{\text{зразок}}}{\left(\frac{GB}{LV}\right)_{\text{фон}}} \quad (1)$$

де $\left(\frac{C_n}{LV}\right)_{\text{зразок}}$ – відношення вмісту досліджуваного металу (C_n) до вмісту стабільного елементу (LV), як то Al, Fe, Ca, Ti, Mn, Sc [9];

(GB/LV)фон – фонове відношення вмісту досліджуваного металу (Cn) до вмісту стабільного елементу (LV), як то Al, Fe, Ca, Ti, Mn, Sc.

За стабільний елемент було обрано Al, він не надходить до ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро з антропогенних джерел, отже його концентрація є відносно постійною. Процедура вибору відповідної концентрації Al для нормалізації в ґрунтах детально описана у G.F. Birch (2020) [10].

Прийому підвищення вмісту важкого металу в міських ґрунтах встановлювали відносно отриманих значень EF, а саме:

- від 0,05 до 1,5 – вміст важкого металу в ґрунті пов'язаний з природними процесами ґрунтоутворення і зумовлений наявністю в материнській породі;
- значення EF вище за 1,5 наголошують про антропогенний шлях підвищення вмісту важкого металу і свідчать про забруднення.

Для встановлення рівня забруднення ґрунту згідно значень коефіцієнту збагачення за кожним досліджуваним важким металом використовували наступну шкалу (табл. 1):

Таблиця 1

Нормування коефіцієнту збагачення за умов оцінювання поелементного забруднення ґрунту важкими металами

Значення EF	Рівень збагачення ґрунту
$EF < 2$	недостатньо збагачений
$2 \leq EF < 5$	помірно збагачений
$5 \leq EF < 20$	значно збагачений
$20 \leq EF < 40$	високо збагачений
$EF \geq 40$	надзвичайно високо збагачений

Таблиця 2

Нормування приведенного середнього коефіцієнту збагачення за умов поліелементного забруднення важкими металами ґрунту [6, 10]

MEQj	Рівень збагачення ґрунту
$MEQ_j < 1,5$	Незбагачений
$1,5 < MEQ_j < 3,0$	Незначно збагачений
$3,0 < MEQ_j < 5,0$	Помірно збагачений
$5,0 < MEQ_j < 10,0$	Значно збагачений
$MEQ_j > 10$	Високо збагачений

Середній коефіцієнт збагачення (MEQj) для поліелементних умов забруднення ґрунту важкими металами визначали за формулою (2) [10, 11] згідно нормування, наведеного в табл. 2.

$$MEQ_j = \frac{\sum_{i=1}^n EF_{ij}}{n} \quad (1)$$

Аналіз виборок значень коефіцієнтів збагачення по досліджуваним металам здійснювали методами математичної статистики [12].

Викладення основного матеріалу. Як показали результати досліджень рівень збагачення ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро сполуками важких металів коливався в межах категорій від недостатньо до значно збагаченого, та змінювався в ряді: $Cu > Zn > Pb > Cd > Ni$ (табл. 3, рис. 1). Низьке збагачення ґрунтів нікелем пов'язане з природними процесами ґрунтоутворення, на які накладається стаціонально-деструктивне забруднення внаслідок будівництва при перемішуванні верхнього шару з підстилючими породами за умов відсутності антропогенного впливу. Менші значення середнього, ніж в медіани за всіма досліджуваними металами свідчили про наявність невеликих за територією, але потужних осередків забруднення, які мали прив'язку до існуючих та колишніх промислових зон. Значний розмах між максимальним і мінімальним значенням у коефіцієнтів збагачення Zn, Cu та Pb зумовлений тривалим впливом антропогенного фактору, а саме їх вмістом у викидах промислових підприємств, так, приміром, в правобережній частині міста південно-західна група підприємств бере свої витoki від «брянського заводу» (1887 р. заснування) має більш ніж столітню історію за умов збереження металургійного профілю до теперішнього часу. На промислову зону лівобережжя, пов'язану з колишнім заводом Шодуар (1899 р. заснування) накладається вплив залізничної товарної станції Нижньодніпровськ. Мінімальні значення EF знаходилися на одному рівні (0,17-0,28) у досліджуваних важких металів, зумовлювалися їх деконцентрацією внаслідок будівельної діяльності та територіально припадали на висотну забудову спальних районів міста, віддалених від промислових зон. Гостровершинне розподілення виборок збагачення ґрунтів Cu і Pb обумовлено строкатістю забруднення, в той час як відносно Zn вже сформувався урбанізований фон з окремими осередками hot spots. Правостороння асиметрія свідчила про антропогенний фактор підвищення валового вмісту важких металів (Cu, Zn, Pb, Cd) в ґрунтах урбоєкосистеми м. Дніпро.

Використання MEQ надало змогу оцінити поліелементний характер забруднення міських ґрунтів відносно збагаченості сполуками важких металів, (табл. 4, рис. 1). Найбільший внесок в збагачення ґрунтів сполуками важких металів спричиняли Cu, Zn та Pb, що зумовлювалось переважаючим впливом викидів промислових підприємств порівняно з викидами автотранспорту за виключенням центральної частини міста. Антропогенний фактор підвищення вмісту сполук важких металів позначався на ділянках відбору проб, що припадали до категорій незначно збагаченого ґрунту і вище.

Головні висновки. Встановлено нестачу нікелю та рівень забруднення ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро сполуками важких металів (Zn, Cu, Pb і Cd) за коефіцієнтом збагачення, відносно нормування до стабільного хімічного елементу (Al).

Таблиця 3

Статистична характеристика виборок коефіцієнтів збагачення Zn, Cu, Pb, Cd, та Ni ґрунтів урбоекосистеми м. Дніпро за умов елементного характеру впливу

Показник	Коефіцієнт збагачення				
	Cu	Zn	Pb	Cd	Ni
Мінімум	0,17	0,28	0,22	0,25	0,20
Максимум	19,78	17,60	13,94	3,07	1,69
Середнє	1,58	5,34	2,14	1,09	0,69
Медіана	9,98	8,94	7,08	1,66	0,95
Екссес	45,31	0,11	7,70	2,20	2,05
Асиметрія	6,28	0,99	2,90	1,04	0,87
Дисперсія	6,15	18,82	8,52	0,28	0,07
Стандартне відхилення	2,50	4,37	2,94	0,53	0,27
Розмах	19,61	17,31	13,72	2,82	1,49

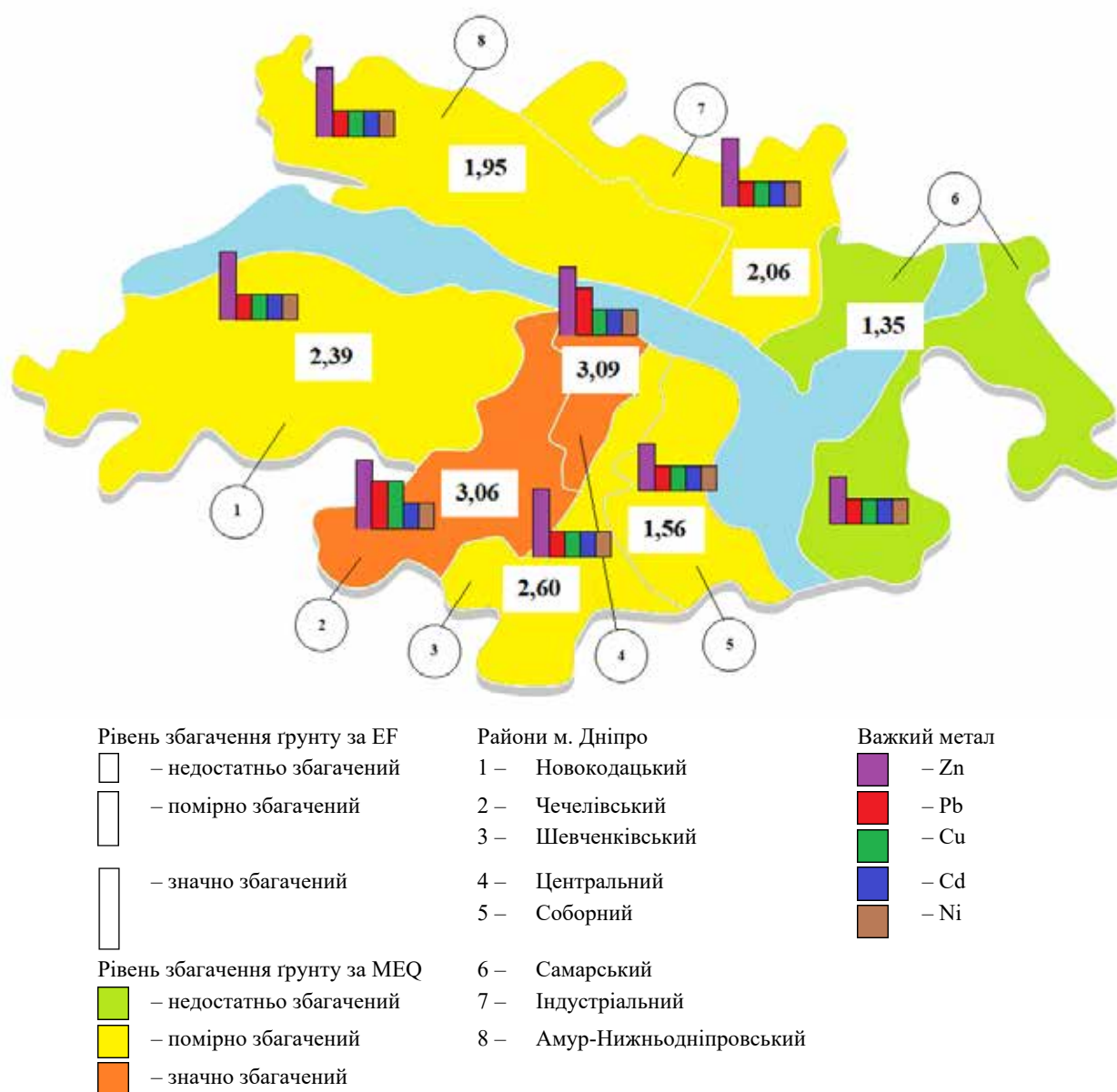


Рис. 1. Збагачення ґрунту важкими металами за середніми значеннями EF та MEQ по районам м. Дніпро

Таблиця 4

**Збагачення ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро важкими металами
з урахуванням поліелементного характеру впливу**

Адміністративна одиниця	Рівень збагачення ґрунту за МEQ			
	незбагачений	незначно збагачений	помірно збагачений	значно збагачений
Амур-Нижньодніпровський район	<u>0,78 (0,44-1,28)</u> 7	<u>2,10 (1,52-2,80)</u> 4	<u>4,16</u> 1	<u>6,90</u> 1
Індустріальний район	<u>0,73 (0,62-0,84)</u> 2	<u>1,74</u> 1	<u>3,54 (3,12-3,96)</u> 2	-
Новокодацький район	<u>1,17 (1,04-1,37)</u> 6	<u>2,42 (1,51-2,92)</u> 3	<u>3,92 (3,13-4,70)</u> 2	<u>6,55</u> 1
Самарський район	<u>0,81 (0,54-1,05)</u> 5	<u>1,71(1,58-1,83)</u> 2	<u>3,35</u> 1	
Соборний район	<u>0,81 (0,30-1,15)</u> 4	<u>2,31 (2,11-2,63)</u> 4		
Центральний район	<u>1,39</u> 1	<u>2,49</u> 1		<u>5,09</u> 1
Чечелівський район	<u>1,32 (1,15-1,48)</u> 2	<u>2,06 (1,60-2,31)</u> 3	<u>4,13 (3,60-4,74)</u> 3	<u>5,44</u> 1
Шевченківський район	<u>1,09 (0,89-1,29)</u> 2	<u>2,50 (2,02-2,97)</u> 2	<u>3,67 (3,11-4,15)</u> 3	
Лівобережжя	<u>0,78 (0,44-1,28)</u> 14	<u>1,72 (1,52-2,80)</u> 5	<u>3,62 (3,12-4,16)</u> 6	<u>6,90</u> 1
Правобережжя	<u>1,18 (0,30-1,48)</u> 14	<u>2,32 (1,51-2,97)</u> 13	<u>3,90 (3,11-4,74)</u> 8	<u>5,69 (5,09-6,55)</u> 3
м. Дніпро	<u>0,98 (0,30-1,48)</u> 28	<u>2,15 (1,51-2,97)</u> 18	<u>3,62 (3,11-4,74)</u> 14	<u>6,00 (5,09-6,90)</u> 4

Примітка: чисельник – середнє значення та в дужках межі коливань в ґрунтах відповідної категорії збагачення; знаменник – кількість ключових ділянок відбору проб ґрунту.

Виявлено тенденцію зростання збагачення важкими металами міських ґрунтів в ряді $Cu > Zn > Pb > Cd > Ni$. Оцінено рівень збагачення ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро сполуками важких металів в межах категорій від недостатньо до значно збагаченого, як за кожним досліджуваним важким металом, так і за їх сукупністю. Ґрунтовно доведено ефективність використання показників E_r та МEQ при оцінюванні забруднення ґрунтів сполуками важких металів внаслідок особливостей нормування із залученням стабільних елементів, яке надає можливість виді-

лити вплив антропогенного фактору щодо причин їх накопичення порівняно до зональних ґрунтів.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати досліджень можуть бути використані для обґрунтування залучення показників збагачення ґрунту важкими металами – E_r та МEQ до блоку оцінювання при удосконаленні системи моніторингу урбоєкосистем, що зазнали тривалого різнонаправленого масштабного впливу антропогенної діяльності при їх розбудові і функціонуванні.

Література

1. Kowalska J.B., Mazurek R., Gąsiorek M., Zaleski T. Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination – a review. *Environmental Geochemistry and Health*. 2018. Vol. 40. P. 2395-2420. <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0106-z>
2. Maanan M., Saddik M., Maanan M., Chaibi M. Environmental and ecological risk assessment of heavy metals in sediments of Nador lagoon, Morocco. *Ecol Indic*. 2015. Vol. 48. P. 616-626.
3. Sojka M., Choinski A., Ptak M., Siepak M. Causes of variations of trace and rare earth elements concentration in lake bottoms sediments in the Bory Tucholskie National Park, Poland. 2021. *Scientific Reports*. Vol. 11. P.1–18. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80137-z>
4. Zhou Y., Gao L., Xu D., Gao B. Geochemical baseline establishment, environmental impact and health risk assessment of vanadium in lake sediments, China. *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 660. P. 1338–1345. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.093>
5. Saddik M., Fadili A., Makan A. Assessment of heavy metal contamination in surface sediments along the Mediterranean coast of Morocco. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2019. Vol.191. doi:10.1007/s10661-019-7332-4

6. Carrillo K.C., Rodríguez-Romero A., Tovar-Sanchez A., Ruiz-Gutiérrez G., Viguri Fuente J.R. Geochemical baseline establishment, contamination level and ecological risk assessment of metals and As in the Limoncocha lagoon sediments, Ecuadorian Amazon region. *Journal of Soils and Sediments*. 2022. Vol.22. P.293–315. doi:10.1007/s11368-021-03084-w
7. Яковишина Т. Ф. Розвиток наукових основ удосконалення системи моніторингу мігрування небезпечних сполук металів в ґрунтах урбоекосистем. дис. док. техн. наук: 21.06.01. Дніпро, 2019. 479 с.
8. Teng Y., Ni S., Wang J., Niu L. Geochemical baseline of traceelements in the sediment in Dexing area, South China. *Environmental Geology*. 2009. Vol. 57 P. 1649–1660. <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1446-2>
9. Wei C., Wen H., Geochemical baselines of heavy metals in thesediments of two large freshwater lakes in China: implications forcontamination character and history. *Environmental Geochemistry and Health*2012. Vol. 34. P. 737–748. <https://doi.org/10.1007/s10653-012-9492-9>
10. Birch G.F., Olmos M.A. Sediment-bound heavy metals as indicators of human influence and biological risk in coastal water bodies. *ICES Journal of Marine Science*. 2008. Vol. 65(8). doi:10.1093/icesjms/fsn139
11. Mekky H.S., Abou El-Anwar E.A., Salman S.A., Elnazer A.A., Abdel Wahab W., Asmoay A.S. Evaluation of heavy metals pollution by using pollution indices in the soil of Assiut District, Egypt. *Egyptian Journal of Chemistry*. 2019. Vol. 62, No. 9. pp. 1673–1683.
12. Тарасова В.В. Екологічна статистика. Київ: Центр уч. літератури, 2008. 392 с.

ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ

УДК 504.054:574.3

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.2-59.20>

РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕННЯ РАДІОЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ҐРУНТУ ЗА ВМІСТОМ ПРИРОДНОГО РАДІОНУКЛІДУ КАЛІЙ-40

Дунаєвська О.Ф., Сокульський І.М., Ковальчук О.М., Махінько Р.Г.

Поліський національний університет

бульв. Старий, 7, 10008, м. Житомир

oksana_fd@ukr.net, sokulskiy_1979@ukr.net, olehkovalchuk1102@gmail.com, vse-svit@ukr.net

З моменту відкриття іонізуючого випромінювання наукова спільнота вивчає його дію на організм людини. Після аварії на ЧАЕС дослідження були зосереджені, переважно, вивченню активності та міграції ^{137}Cs та ^{90}Sr у складових довкілля. На підставі таких радіоекологічних досліджень була проведена мінімізація наслідків аварії, здійснені ефективні контрзаходи, встановлені норми опромінення різних категорій населення, розподіл території України на зони радіоактивного забруднення, розроблені допустимі рівні основних дозоутворюючих радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у воді та продуктах харчування. У сьогоднішні питання радіаційної безпеки актуальне у зв'язку з воєнними діями та ядерним тероризмом.

Джерела природного походження, зокрема, радіонуклід ^{40}K , викликає зовнішнє і внутрішнє опромінення людини, його внесок у сумарну річну дозу опромінення оцінюється в 6,5 % та може сягати 180 мкЗв. Його вміст не нормується у продуктах харчування, але нормується у глиняному, порцеляно-фаянсовому і скляному посуді побутового призначення та будівельних матеріалах, мінеральній сировині.

Відомо, що різні типи ґрунти по-різному накопичують ^{40}K : від 90 Бк/кг (торф'янистий) до 700 Бк/кг (бурий). Потужність поглиненої дози у повітрі найменша на рівні 1 м від поверхні торф'янистого ґрунту (10 нГр/год). З 1 га дерново-опідзолених піщаних ґрунтів Житомирщини виноситься майже 81,5 Бк ^{40}K . Науковці виділили території України з вагомою природною радіоактивністю ґрунтів (питома радіоактивність більша за 850 Бк/кг): Запорізька, Вінницька, Кіровоградська, Черкаська, Київська області.

Зразки ґрунту відбирали за периметром села Обиходи Коростенської міської громади та на березі річки Олешня. Дослідження проб ґрунту проводили радіометричним методом у сертифікованій вимірювальній лабораторії Поліського національного університету.

Результатами досліджень встановлено, що найбільшу радіоактивність за ^{40}K мали проби з берегової лінії річки (254,0 Бк/кг). На півдні села забруднення ^{40}K розподілялось рівномірно: від 130,0 Бк/кг до 137,0 Бк/кг. Найнижчий вміст радіонукліда ^{40}K зафіксовано на заході: від 82,1 Бк/кг до 93,1 Бк/кг. На півночі села питома активність ^{40}K у ґрунті становила від 104,0 Бк/кг до 128,0 Бк/кг. На сході села Обиходи питома активність сягає 160,0 Бк/кг. *Ключові слова:* ^{40}K , ґрунт, питома активність, радіоекологічний моніторинг, радіоактивне забруднення.

Results of the radioecological monitoring of soil for the content of natural radionuclide potassium-40. Dunaievskaya O., Sokulskiy I., Kovalchuk O., Makhinko R.

The scientific community has been studying its effects on the human body since the ionising radiation had discovered. Following the Chernobyl accident, research focused mainly on the activity and migration of ^{137}Cs and ^{90}Sr in environmental constituents. Based on such radioecological studies, the consequences of the accident were minimised, effective countermeasures were implemented, exposure standards for various categories of the population were established, the territory of Ukraine was divided into radioactive exclusion zones, and permissible levels of the main dose-forming radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr in water and food were developed. Today, the issue of radiation safety is relevant in connection with military operations and nuclear terrorism.

Sources of natural origin, in particular, the radionuclide ^{40}K , cause external and internal exposure to humans; its contribution to the total annual dose is estimated at 6.5% and can reach 180 μSv . Its content in food is not regulated, but it is regulated in clay, porcelain, earthenware and glassware for household use and in building materials and mineral raw materials.

It is known that different types of soil accumulate ^{40}K in different ways: from 90 Bq/kg (peaty) to 700 Bq/kg (brown). The absorbed dose rate in the air is lowest at the level of 1 m from the surface of peaty soil (10 nGy/h). Almost 81.5 Bq of ^{40}K are released from 1 hectare of soddy-podzolized sandy soils in the Zhytomyr region. Scientists have identified the territories of Ukraine with significant natural radioactivity of soils (specific radioactivity exceeds 850 Bq/kg): Zaporizhia, Vinnytsia, Kirovohrad, Cherkasy, and Kyiv regions.

Soil samples were collected around the perimeter of the village of Obykhody in the Korosten municipality, and on the bank of the Oleshnya River. The soil samples were analysed using the radiometric method at the certified Measurement Laboratory of Polissia National University.

The results of the study showed that the samples from the river bank had the highest ^{40}K radioactivity (254.0 Bq/kg). In the south of the village, ^{40}K contamination was distributed evenly: from 130.0 Bq/kg to 137.0 Bq/kg. The lowest content of ^{40}K radionuclide was recorded in the west: from 82.1 Bq/kg to 93.1 Bq/kg. In the north of the village, the specific activity of ^{40}K in the soil ranged from 104.0 Bq/kg to 128.0 Bq/kg. In the east of the village of Obykhody, the specific activity reaches 160.0 Bq/kg. *Key words:* ^{40}K , soil, specific activity, radioecological monitoring, radioactive contamination.

Постановка проблеми. Життя людини на Землі супроводжується постійною дією іонізуючого випромінювання. Після застосування атомної бомби у 1945 році велике зацікавлення у науковому середовищі викликала дія іонізуючого випромінювання на організм людини. Після аварії на ЧАЕС дослідження включали міграцію радіонуклідів, переважно, ^{137}Cs та ^{90}Sr у складових довкілля. Була розроблена та втілена система мінімізації наслідків такої глобальної катастрофи [1] та впроваджені ефективні контрзаходи, встановлені норми опромінення різних категорій населення [2]. Важливу роль відіграв радіоекологічний моніторинг [3], за результатами якого відбувся поділ України на зони радіоактивного забруднення [4] та розроблені допустимі рівні ^{137}Cs та ^{90}Sr у воді та продуктах харчування [5]. Питання радіаційної безпеки набуло актуальності у зв'язку з ядерним тероризмом [6]. Однак, не слід забувати про опромінення від джерел природного походження, зокрема, про радіонуклід ^{40}K , який зумовлює зовнішнє і внутрішнє опромінення людини та внесок якого у сумарну річну дозу опромінення оцінюється в 6,5 % та може сягати 180 мкЗв [7]. Проте, його вміст не нормується у продуктах харчування [5], а лише у глиняному, порцеляно-фаянсовому і скляному посуді побутового призначення та будівельних матеріалах, мінеральній сировині [2].

Актуальність дослідження. Актуальність проведення радіаційного моніторингу радіонукліду ^{40}K зумовлена не лише його внеском у дозу опромінення населення. Згідно останніх наукових досліджень нафтогазодобування призводить до радіаційного забруднення довкілля, опромінення персоналу, утворення радіоактивних відходів. А радіоактивність нафтоводяної композиції подекуди перевищувати питому активність відпрацьованих вод атомних електростанцій у 30 разів [8]. Для забезпечення екологічної безпеки необхідно розробити стратегію на державному рівні, яка має передбачити правила поводження з обладнанням, відходами цієї промисловості, яка є забруднена радіонуклідами природного походження [9]. Урановидобувна промисловість також збільшує дозове навантаження на довкілля і людину [10].

Будівельні матеріали, що містять природні радіонукліди, серед яких ^{40}K , можуть формувати до 70 % річної ефективної дози опромінення населення [11].

^{40}K міститься у ґрунтах різних видів. Дослідженнями встановлено, що його вміст до рослини перевищує надходження ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th [12]. Тому вивчення питомої активності ґрунту за цим радіонуклідом є важливим завданням.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями забезпечується виконанням розділу теми науково-дослідної роботи «Моніторингові дослідження біосфери Українського Полісся», затвердженої у Міністерстві

освіти і науки України (державний реєстраційний номер 0124U000645).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивчення питомої активності ґрунту за радіонуклідом ^{40}K демонструє, що різні типи ґрунти по-різному його накопичують: від 90 Бк/кг (торф'янистий) до 700 Бк/кг (бурий). Відповідно, і потужність поглиненої дози у повітрі найменша на рівні 1 м від поверхні торф'янистого ґрунту (10 нГр/год) [7]. Існує велика ймовірність збільшення питомої активності ґрунту за радіонуклідом ^{40}K при видобуванні корисних копалин, під час яких радіоактивна пластова вода розливається на ґрунт, призводячи до надходження радіонуклідів [8]. З 1 га дерново-опідзолених піщаних ґрунтів Житомирщини виноситься майже 81,5 Бк ^{40}K [12]. До ґрунту радіонукліди, в тому числі і ^{40}K , можуть надійти при зрошенні, так, у воді Дніпровського водосховища питома активність за ^{40}K сягає 4,9 Бк/л, що в 20 разів більше, ніж активність за ^{137}Cs та в 70 разів вища, ніж за ^{90}Sr [13]. Багаторічні дослідження науковців дозволили виокремити території України з вагомою природною радіоактивністю ґрунтів (питома радіоактивність більша за 850 Бк/кг): Запорізька, Вінницька, Кіровоградська, Черкаська, Київська області [14].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Радіоекологічний моніторинг є важливою складовою державної системи моніторингу довкілля для забезпечення екологічної безпеки. Більшість таких моніторингових досліджень спрямовані на вивчення показників міграції, активності ^{137}Cs та ^{90}Sr , які надійшли у довкілля внаслідок аварії на ЧАЕС. Тому, зважаючи на вагомий внесок природних радіонуклідів, зокрема, ^{40}K у сумарну річну дозу опромінення населення, необхідно втілити в радіоекологічний моніторинг збір інформації та визначення вмісту ^{40}K у складових довкілля, в першу чергу, у ґрунті.

Новизна. Наше дослідження дозволило провести аналіз питомої активності земель різного призначення за ^{40}K та визначити можливість використання для сільськогосподарського виробництва.

Методологічне або загальнонаукове значення. Україна, як аграрна країна і значна частина міжнародної спільноти, вивчає можливості використання нетрадиційних земель для кормовиробництва, рослинництва, тваринництва. Такий підхід дозволить реалізувати стратегії сталого розвитку в контексті продовольчої безпеки.

Викладення основного матеріалу. Зразки ґрунту відбирали за периметром села Обиходи Коростенської міської громади та на березі річки Олешня. Обиходи розташовані на сході Коростенщини (рис. 1). Проби відбирали за допомогою бура БП-25-15 на глибині 0–25 см методом конверта. Такі «конверти» розташовувалися через кожні 100 м і мали семикратну повторюваність в одній точці, що відмічена на карті (рис. 2). З точкових проб формували зразок для ана-



Рис. 1. Картографічне знаходження села Обиходи

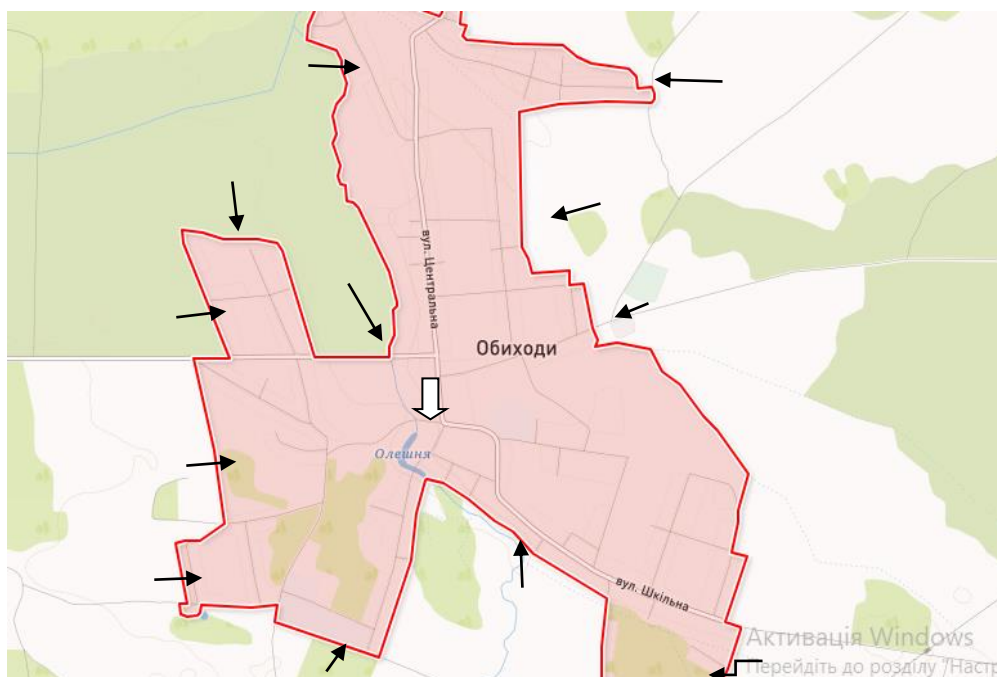


Рис. 2. Місця відбору проб ґрунту у селі Обиходи

лізу вагою не менше 1 кг. Перед визначенням питомої активності з підготовленого ґрунту вилучали нетипові домішки. Дослідження проб ґрунту проводили радіометричним методом у сертифікованій Вимірювальній лабораторії Поліського національного університету.

Результатами досліджень встановлено, що найбільшу радіоактивність за ^{40}K мали проби на межі річки і берегової лінії: $254,0 \pm 72,2$ Бк/кг. Суттєвих відмінностей між лівим і правим берегом не виявлено. На півдні села забруднення ^{40}K розподіля-

лось рівномірно: від $130,0 \pm 40,2$ Бк/кг (південний захід) до $137,0 \pm 16,6$ Бк/кг (південний схід). У найближчій південній точці до річки Олешня питома радіоактивність дорівнювала $132,0 \pm 35,0$ Бк/кг. Найменше знаходилося радіонукліда ^{40}K у трьох західних точках: від $93,1 \pm 34,1$ Бк/кг (північніше) до $87,5 \pm 29,6$ Бк/кг і $82,1 \pm 33,9$ Бк/кг (південніше). На північних точках відбору питома активність ^{40}K поступово збільшувалася: $104,0 \pm 36,6$ Бк/кг, $114,0 \pm 38,1$ Бк/кг, $121,0 \pm 34,0$ Бк/кг, $128,0 \pm 36,7$ Бк/кг. На сході села Обиходи питома активність зростає

з південнішої точки до північнішої: $151,0 \pm 39,8$ Бк/кг, $153,0 \pm 43,1$ Бк/кг, $160,0 \pm 43,4$ Бк/кг. Дослідження природних радіонуклідів відбувається в різних країнах світу. Так, визначення питомої активності радіоактивного ізотопу ^{40}K у ґрунтах окремих районів міста Наджаф (Центральний Ірак) мало найнижче значення $208,19$ Бк/кг, а найвище – $530,18$ Бк/кг із середнім значенням $349,86$ Бк/кг [15]. У Ефіопії в районі зони Метекель питома активність зразків ґрунту становила 330 Бк/кг [16]. Таким чином, вміст ^{40}K в ґрунті села Обиходи менший за деякі місцевості Ефіопії та Іраку, що свідчить про його нерівномірний розподіл. Отримані й ґрунтовні дослідження вмісту ^{40}K у тропічних фруктах та коефіцієнтах переходу з ґрунту до рослин і розподілу в них. Встановлено, що коефіцієнт переходу для ^{40}K вищий в $24,5\text{--}90,5$ разів в залежності від виду плоду і ^{40}K рівномірно розподіляється в різних органах рослин аналогічно з ^{137}Cs [17]. У ґрунті Тайваню дослідження встановили високу концентрацію ^{40}K – 609 Бк/кг. Нелущений рис накопичував до 10% ґрунтового ^{40}K , найбільше його переходило в стебла і листя рослини [18]. Сектор Лішава Румунії має досить високий вміст у ґрунті ^{40}K – 543 Бк/кг [19].

У підсобних господарствах радіоактивно забруднених територій населення успішно вирощує кіз та птицю (курей, гусей, качок) [20]. Така продукція відповідає вимогам безпеки ДР-2006 [5]. Для зменшення вмісту ^{40}K в ґрунті можна започаткувати вирощування певних культур, які його накопичують у великих концентраціях, після яких суттєво зменшується його вміст [12].

Важливість радіоекологічного моніторингу зростає в умовах війни, пошкодженні атомних станцій і загрози аварій на них, можливого використання ядерної зброї. На жаль, в Україні не проводяться системні визначення природних радіонуклідів в складових довкілля. Наші дослідження започаткували їх у зоні радіоактивного забруднення (обов'язкового відселення).

Головні висновки. Питома активність радіонукліду ^{40}K , який вважається земного походження, у ґрунті різних типів та географічного розташування нерівномірна.

Радіометричний аналіз ґрунту села Обиходи Коростенської міської громади Житомирської області встановив, що питома активність радіонукліду ^{40}K залежить від географічного розташування та наявності водного об'єкта. В ґрунті берега річки Олешка найвища його концентрація – $254,0$ Бк/кг. Найменша радіоактивність відмічена на заході населеного пункту – $82,1$ Бк/кг.

Перспективи використання результатів дослідження. Нами започатковано і апробовано дослідження питомої активності ^{40}K в ґрунті. Необхідно продовжити такі визначення і розробити паспорт питомої активності ^{40}K , оскільки він може вносити суттєвий вклад в опромінення населення.

Література

1. Чоботько Г.М., Райчук Л.А., Швиденко І.К., Уманський М.С. Від кризи до відновлення: наукові здобутки інституту агро-екології і природокористування НААН у мінімізації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС. *Агро-екологічний журнал*. 2024. № 2. С. 6-16. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2024.305647>
2. Державні гігієнічні нормативи «Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97)» : Постанова № 62 від 01.12.97 МОЗ України. <https://zakon.rada.gov.ua/go/v0062282-97>.
3. Дунаєвська О.Ф., Зимарова А.А., Іщук О.В., Сокульський І.М., Піциль А.О. Особливості та результати проведення радіо-екологічного моніторингу для забезпечення екологічної безпеки в сучасних умовах. *Екологічні науки*. 2024. № 5 (56). С. 216-220. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.40>
4. Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи : Закон України від 27.02.1991 № 791а-ХІІ. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/791%D0%B0-12> (дата звернення 24.11.2024).
5. Державні гігієнічні нормативи «Допустимі рівні вмісту радіонуклідів Cs 137 та Sr 90 у продуктах харчування та питній воді» : Наказ МОЗ України 03.05.2006 № 256. *Офіційний вісник України*. 2006. № 29. С. 142, Ст. 2114.
6. Дунаєвська О.Ф., Сокульський І.М., Мельник Н.В., Піциль А.О. Екологічні проблеми сільського господарства в умовах воєнного стану. *Екологічні науки*. 2024. № 1 (52). С. 22-27. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.1.3>
7. Полякова І. О. Прихована радіаційна небезпека від джерел природного походження. Engineering sciences: development prospects in countries of Europe at the beginning of the third millennium: Collective monograph. Volume 2. Riga : Izdevnieciba "Baltija Publishing", 2018. С. 269-296.
8. Гриценко А. В., Дмитрієва О. О., Вітько В. І., Ткачова О. В. Підвищення радіаційної безпеки нафтогазових родовищ. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*: зб. наук. статей XVII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 13-17 вересня 2021 р.) / УКРНДІЕП. Харків : ПП «Стиль-Іздат», 2021. С. 7-14.
9. Про виклики і загрози національній безпеці України в екологічній сфері та першочергові заходи щодо їх нейтралізації : Рішення Ради національної безпеки і оборони України від 23 березня 2021 року. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0018525-21#n2> (дата звернення 24.03.2025)
10. Топольний Ф. П., Гелевера О. Ф. Життя в краю підвищеної радіації. Кропивницький : Лисенко В. Ф., 2019. 125 с. URL : <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/14843> (дата звернення 24.03.2025)
11. Dolina L. F., Kilovy V. P., Astakhov D. V., Kalimbet M. V. Monitoring of radioactivity at dnurt campus. *Science and Transport Progress*. 2021. № 3 (63). С. 49–59. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2016/74712>
12. Куценко М.І. Інтенсивність накопичення радіонуклідів вегетативною масою фацелії пижмолістої. *Таврійський науковий вісник*. 2024. № 139. Ч. 1. С. 273-279.

13. Байдак Л. А. Радіоекологічна складова вчення про техногенну трансформацію прісноводних екосистем. ретроспектива та сьогодення. *Дослідження з історії і філософії науки і техніки*. 2018. Вип. 26–27. С. -89. DOI: <https://doi.org/10.15421/2618012>
14. Булигін С.Ю., Вітвіцький С.В., Буланий О.В., Тонха О.Л. Моніторинг якості ґрунтів. К.: Видавництво НУБіП України, 2019. 421с
15. Department of Environment, Ministry of Oil, Basra Oil Company, Basra, Iraq. Determining The Specific Activity of Radioactive Isotopes of, ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{40}K , ^{137}Cs in The Soils of Selected Areas of Najaf city – Central Iraq. International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA) (09.11.2022, Ankara, Turkey). 2022. pp. 1-7. DOI: 10.1109/HORA55278.2022.9799995
16. Tadesse Abate. The Activity Concentrations of Radionuclides ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K of Soil Samples in the Case of Metekel Zone, Ethiopia. *EPJ Nuclear Sci. Technol.* 2022. **8** (14). P. 1-7. DOI: <https://doi.org/10.1051/epjn/2022011>
17. H. Velasco, R.M. Anjos. A review of ^{137}Cs and ^{40}K soil-to-plant transfer factors in tropical plants. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2021. Vol. 235-236. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2021.106650>
18. Huang W-H, Chen T-C, Lin S-C, Chen Z-M, Yeh Y-L. Assessment Activity Concentrations of Rice Components (Root, Stem, Leaf, and Grain) and Transfer Factors (TF) from Paddy Soil to Rice Grain of Radionuclides ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , and ^{137}Cs Investigation in Taiwan. *Agronomy*. 2025. № 15(1). P. 23. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy15010023>
19. Ion A, Cosac A, Ene VV. Natural Radioactivity in Soil and Radiological Risk Assessment in Lişava Uranium Mining Sector, Banat Mountains, Romania. *Applied Sciences*. 2022. № 12(23). P. 12363. DOI: <https://doi.org/10.3390/app122312363>
20. Ю. І. Савченко, І. М. Савчук, С. П. Ковальова, Т. Ю. Приймачук. Економічна ефективність вирощування качок на територіях радіоактивного забруднення. *Агропромислове виробництво Полісся*. 2018. Вип. 11. С. 88–95.

РАДІОЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ УРБОСИСТЕМ ЛЬВОВА

Іванов Є.А., Кравців С.С., Войтків П.С.

Львівський національний університет імені Івана Франка

вул. Університетська, 1, 79000, м. Львів

yevhen.ivanov@lnu.edu.ua, stepan.kravtsiv@lnu.edu.ua, petro.voytkiv@lnu.edu.ua

Львів має розвинену промисловість і транспортну мережу, що виступають джерелами надходження різних радіоактивних речовин у природне середовище міста. Підвищений радіаційний фон зумовлює використання будівельних матеріалів (граніту, базальту, бетону тощо), спалюванням вуглеводнів на ТЕЦ і котельнях та забрудненням повітря автотранспортом. У 2018–2024 рр. проведено радіоекологічні дослідження в межах центральної частини Львова. Особливо детальні роботи виконано на території Львівської цитаделі (понад 800 вимірів). Здійснено вимірювання потужності гамма-випромінювання, густини потоку бета-випромінювання і показника радіаційної чистоти довкілля.

У центральній частині Львова середній рівень гамма-випромінювання змінюється від 0,05 до 0,07 мкЗв/год, а максимальний – не перевищує 0,14 мкЗв/год. Густина потоку бета-випромінювання знаходиться у проміжку 1,5–2,0 част/см²хв. Біля Львівського національного університету та парку імені Івана Франка вона становить до 0,15–0,25 мЗв/год. Встановлено сучасні рівні радіаційного фону, що залежать від особливостей геологічних умов і рельєфу. Наприклад, контрольні вимірювання біля Чатової скелі виявили гамма-фон на рівні 0,11–0,13 мЗв/год, довкола Високого замку – 0,10–0,12 мЗв/год, а на Кортумовій горі – 0,12 мЗв/год. У долині річки Полтви гамма-фон є дещо вищим та складає 0,14–0,15 мЗв/год. У західній і південно-західній частинах міста радіаційний фон коливається у межах від 0,06 до 0,09 мЗв/год. Мінімальні показники гамма-випромінювання у районі Львівської цитаделі виявлені на ґрунті (0,067 мкЗв/год). Максимальні значення гамма-випромінювання заміряно біля Львівської наукової бібліотеки імені Василя Стефаника (0,256 мкЗв/год). На сьогодні удосконалюється мережа пунктів радіоекологічного вимірювання, що сприяє поглибленню дослідження радіаційного фону в урбосистемах міста. *Ключові слова:* місто, урбосистема, радіоактивні речовини, радіаційний фон, радіоекологічні дослідження, моніторинг.

Radioecological monitoring of urbosystems of Lviv. Ivanov Ye., Kravtsiv S., Voitkiv P.

Lviv has a developed industry and transport network, which are sources of various radioactive substances entering the city environment. The increased radiation background is caused by the use of building materials (granite, basalt, concrete, etc.), the combustion of hydrocarbons at thermal power plants and boiler houses, and air pollution by vehicles. In 2018–2024, radioecological studies were conducted within the central part of Lviv. Particularly detailed work was carried out on the territory of the Lviv Citadel (over 800 measurements). The average and maximum gamma radiation power, beta radiation flux density, and the radiation purity index of the environment were measured.

In the central part of Lviv, the average gamma radiation level varies from 0,05 to 0,07 $\mu\text{Sv/h}$, and the maximum does not exceed 0,14 $\mu\text{Sv/h}$. The beta radiation flux density is in the range of 1.5–2.0 parts/sq.cm min. Near Lviv National University and Ivan Franko Park, it is up to 0,15–0,25 mSv/h. Modern levels of background radiation have been established, which depend on the characteristics of geological conditions and relief. For example, control measurements near Chatova Rock revealed a gamma background of 0,11–0,13 mSv/h, around Vysoky Zamok (High Castle) – 0,10–0,12 mSv/h, and on Kortumova Gora – 0,12 mSv/h. In the Poltva River valley, the gamma background is somewhat higher and is 0,14–0,15 mSv/h. In the western and southwestern parts of the city, the radiation background ranges from 0,06 to 0,09 mSv/h. The minimum gamma radiation levels in the Lviv Citadel area were detected on the ground (0,067 $\mu\text{Sv/h}$). The maximum gamma radiation levels were measured near the Vasyl Stefanyk Lviv Scientific Library (0,256 $\mu\text{Sv/h}$). Currently, the network of radioecological measurement points is being improved, which contributes to the deepening of the study of the radiation background in the city's urban systems. *Key words:* city, urban system, radioactive substances, radiation background, radioecological studies, monitoring.

Постановка проблеми. Львів як й інші великі міста України, має досить розвинену промисловість і транспортну мережу, що виступають джерелами надходження різних радіоактивних речовин у природне середовище міста. Потенційно це може призводити до збільшення радіаційного фону в межах урбосистем міста. У будь-якому великому місті радіаційний фон є суттєво вищим, ніж в його агломераціях, оточуючих природних геосистемах, а тим більше у межах природоохоронних територій. Це явище називають техногенно-поосиленим радіаційним фоном урбосистем. Підвищений радіаційний фон у великих містах зумовлений використанням різних будівельних матеріалів (граніту, базальту, цегли, бетону, асфальту тощо), спалюванням вуг-

леводнів чи вугілля на ТЕЦ і котельнях та забрудненням повітря автотранспортом. В урбосистемах водночас розміщено чимало об'єктів із побутовими і медичними джерелами радіації малої потужності.

Актуальність дослідження. Радіоактивне забруднення урбосистем є питанням, що турбує кожного містянина, адже у час сучасних інформаційних технологій про це відомо чимало. Тому слід регулярно проводити заміри гамма- і бета-випромінювання та порівнювати результати та аналізувати зміни. У результаті постійного моніторингу можна визначати джерела забруднення. Разом з тим місто Львів є туристичним центром України, куди щорічно на екскурсії приїжджають десятки тисяч людей. Подорожуючи містом важливо розуміти наскільки

екологічно безпечними у радіаційному плані є міські простори міста (вулиці, площі, тротуари, велосипедні доріжки, парки тощо).

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Радіоекологічне дослідження спрямовано на удосконалення системи радіоекологічного моніторингу урбосистем великих міст України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нормативна база роботи регульована існуючими документами з радіаційної безпеки [1, 2]. Навчально-методичні основи проведення радіоекологічного дослідження урбосистем міст викладено у методичних рекомендаціях [3], посібниках [4, 5] і статтях [6]. Особливості радіаційної ситуації у Львові загалом та його окремих районів зокрема подано у наукових працях І. Волошина [7], Є. Іванова [8], Є. Іванова, Ю. Андрейчука, Т. Козака [9] та різних інтернет-джерелах [10–12].

Методика дослідження. Радіоекологічні дослідження в урбосистемах великих міст передбачають проведення польових (експедиційних) робіт, які включають в себе три етапи робіт: підготовчий, польовий і камеральний. На підготовчому етапі підготовлено та опрацьовано цифрові топографічні основи масштабу 1 : 2 000, сплановано маршрути із відносно рівномірними розподілом точок дослідження.

Контроль радіаційної ситуації в межах урбосистем Львова проведено за допомогою дозиметра-радіометра МКС-05 «Терра». Цей прилад призначено для вимірювання еквівалентної дози і потужності еквівалента дози фотонного (гамма- і рентгенівського) іонізуючого випромінювання, а також поверхневої густини потоку частинок бета-випромінювання. У 2018–2024 рр. здійснено щосезонні радіоекологічні дослідження в межах центральної частини Львова. Особливо детальні роботи виконано на території Львівської цитаделі. Всього за цей період знято понад 800 контрольних промірів. На кожній точці здійснено вимірювання середньої і максимальної потужності гамма-випромінювання, густини потоку бета-випромінювання і показника радіаційної чистоти довкілля. Проміри проводили протягом 15–20 хв. із зазначенням у щоденнику опису обстановки навколо точки радіаційного контролю (географічна прив'язка, ґрунт або покриття, відстань від потенційних джерел радіаційного забруднення) і погодних умов (атмосферний тиск, температура атмосферного повітря, опади). Радіометричні вимірювання виконано на двох висотах: на рівні ґрунтового або техногенного покриву та на висоті 1,2–1,5 м від площадки, що зроблено з метою вивчення впливу відстані від земної поверхні як головного джерела техногенної радіації на рівень забруднення урбосистем радіонуклідами.

Географічну прив'язку точок визначено приладом геопозиціонування GPS Garmin eTrex. Цей GPS-прилад позиціонує електронний маршрут

у шляховому журналі на сторінці карти, а у журналі відображає інформацію для точок маршруту, включаючи їхнє місцезоположення і даний час.

На камеральному етапі створено базу геоданих і моделі радіаційного моніторингу досліджуваних територій. Аналітичне опрацювання даних, які отримані за допомогою дозиметра-радіометра проводиться із математичним обробленням та побудовою різних графіків і діаграм. Кінцевим результатом є радіоекологічна карта, діаграми, рисунки і текстовий аналіз.

Особливості природних умов міста і Львівської цитаделі. У Львові та його передмістях виділяють урбосистеми та інші природно-антропогенні системи Львівської улоговини, Розточчя, Опілля і Пасмового Побужжя [8]. Окремі міські ландшафтні системи мають різні фонові радіаційні показники, що головню зумовлені особливостями міських і передміських просторів природно-антропогенного походження.

Львівську улоговину, яка займає найнижчі рівні міста, у його центральній частині, що обмежена височинними частинами, зокрема Розточчям, Львівським плато (Опіллям) і Пасмовим Побужжям. Власне в улоговині й здійснюється плосковершинний останець Львівської цитаделі [7]. Львівська улоговина охоплює широку долину р. Полтви, а також її схили, що розчленовані ярами верхів'я річки і закріплені парковими насадженнями. Ерозійний останець Цитадель височіє посередині улоговини.

Розточчя є горбистою залісненою частиною міста, яка розпочинається з горбистого пасма Шевченківського гаю та простягається через Високий замок, до Клепарівської, Голосіївської і Брюховецької височин. Це пасмо є крайнім північно-західним відрогом Подільської височини. Верхні морфологічні рівні займають Кортумова гора, Високий Замок, Піскова гора і Чатові скелі. Поверхня району має асиметричну будову із максимальними висотами, що зосереджені вздовж північно-східного краю, який стрімко піднімається (на 80–100 м) над прилеглою Львівською улоговиною. Розточчя не утворює суцільної височини, воно у декількох місцях прорізано долинами, по яких в епоху зледеніння просувались льодовики і стікали талі води, що залишили у долинах рік великі площі пісків. Білогірсько-Мальчицька долина відокремлює Розточчя від Львівського плато і водночас з'єднує долини Полтви і Верещиці.

Пасмове Побужжя складається з плосковерхих пасом, які простягаються від Розточчя і Львівського плато у східному і південно-східному напрямі до долини Західного Бугу. Ці пасма розділені широкими плоскими, і часом перезволоженими долинами з невеличкими потічками. Висота пасом сягає 60 м над рівнем долин. В межах Львова місцевість розрізає широка долина Полтви, ускладнена ерозійними останцями.

Опілля (Львівське плато) займає майже половину міського простору та околиць із західної і південної частини міста. Воно має пластовий структурний тип рельєфу, який дещо порушують балки. Невеликі допливи Полтви врізані у схили плато. Відріг плато охоплює декілька ерозійних останців, серед яких слід виокремити Львівську цитадель.

Львівська цитадель є пам'яткою фортифікаційного мистецтва середини XIX ст. у Галицькому районі Львова. Зведення цитаделі велось у 1850–1856 рр. Цитадель складається з чотирьох веж-бастіонів і триповерхової будівлі казарми та розташована на узгір'ї, яке складається з трьох невеликих гір: Вроновських (Шембека), Пелчинської (Познаньської) і Калічої (Жебрацької).

Для Львівської цитаделі властиве цікаве розташування у природно-географічному відношенні, адже це ерозійний останець розташований в межах сильнорозчленованого Львівського плато. Гора має практично правильну округлу форму з крутими схилами, які виходять до вулиць Вітовського, Франка, Грушевського, Мартовича, Стефаника і Коперніка. Абсолютні відмітки земної поверхні у верхній

частині гори коливаються від 320 до 325 м. У свою чергу, абсолютні відмітки земної поверхні у підніжжі гори становить 285 м (район пл. І. Франка) до 279 м (район вул. В. Стефаника) (рис. 1). Перевищення коливаються від 40 до 45 м. Крутість схилів є значною і може сягати 25–30°, при цьому домінують спади, сильноспадисті і круті схили.

Сучасний радіаційний фон у місті і в межах Львівської цитаделі. Проведені радіоекологічні дослідження не ставили за мету аналіз просторово-територіального поширення радіаційного забруднення на всій території Львова. Для цього недостатнім є часовий проміжок і кількість досліджуваних промірів. Головним завданням є виявлення закономірностей зміни рівнів забруднення радіонуклідами в основних типах урбосистем міста. Однак загальні риси поширення ареалів радіаційного забруднення у місті все ж вдалося відстежити.

У центральній, старовинній частині міста, яку внесено до списку архітектурної спадщини ЮНЕСКО і є головно пішохідною, середній рівень гамма-випромінювання змінюється від 0,05 до 0,07 мкЗв/год, а максимальний – не перевищує

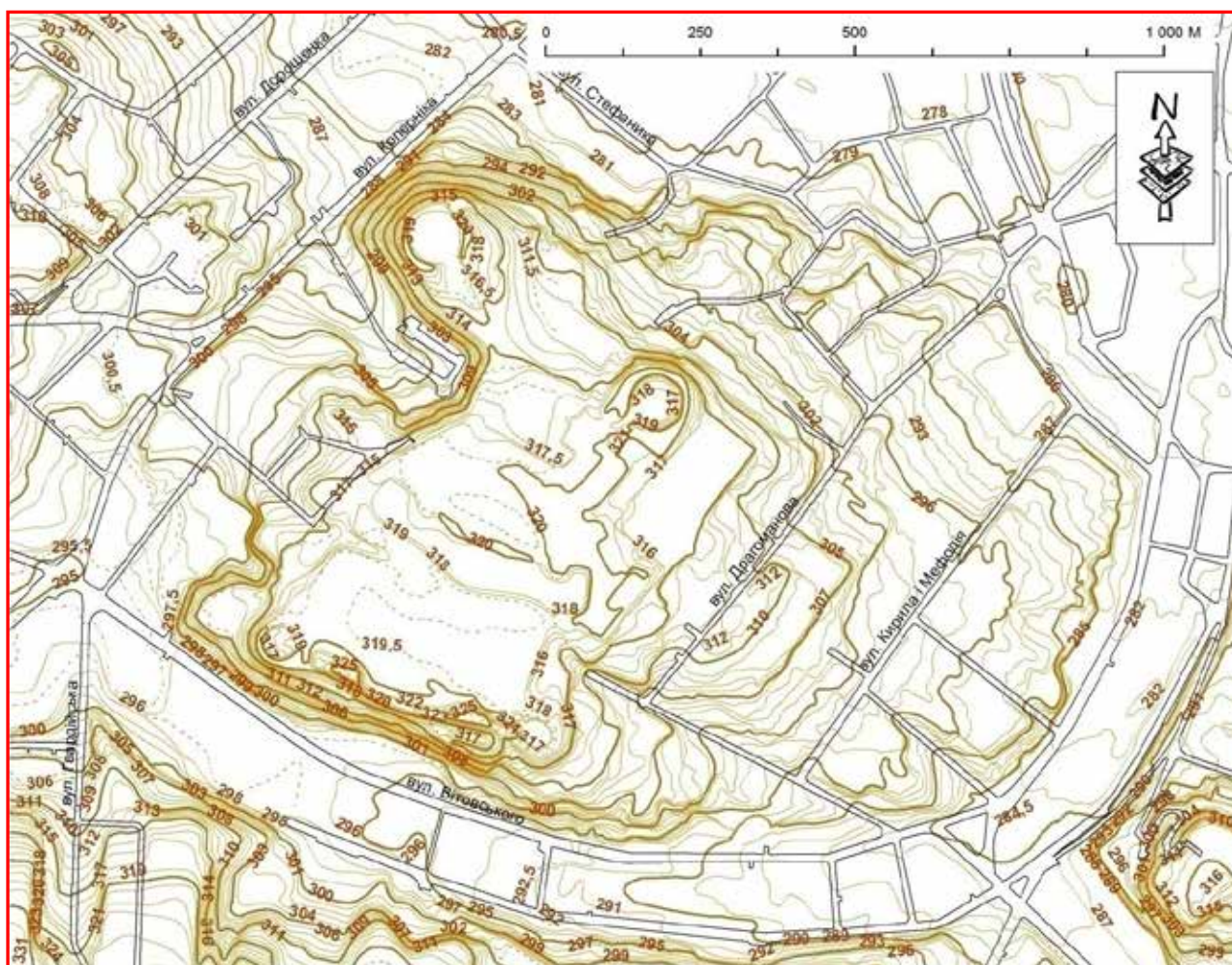


Рис. 1. Гіпсометрична карта Львівської цитаделі та її околиць

0,14 мкЗв/год. Густина потоку бета-випромінювання знаходиться у проміжку 1,5–2,0 част/см²хв. Забудована частина Львова представлена культурним ґрунтовим шаром, що впливає на радіаційний фон міста. Ґрунти цього шару майже суцільно вкривають територію історичної частини міста, але потужність шару вирізняється за різних геолого-геоморфологічних умов. Суттєво вирізняються долинні (заплавні), ерозійні (ярково-долинні), схиліві і вододільні (плакорні) типи місцевості [5].

Дослідженнями радіаційної обстановки у Львів охоплено різні типи урбосистем – вулиці, площі, тротуари, прибудинкові і паркові зони тощо. На дорогах з інтенсивним рухом спостерігаємо дещо підвищені, у порівнянні з іншими ділянками міста, рівні **потужності експозиційної дози**. Наприклад, у районі біля Львівського національного університету та парку ім. І. Франка вона становить до 0,15–0,25 мЗв/год. У східній частині Львова, у Личаківському районі, радіаційний фон істотно нижче і є в межах 0,04–0,07 мЗв/год. Місцями радіаційний фон у інших районах міста сягає показників у 0,12 мЗв/год. Схожа радіаційна ситуація подібна й для території Високого замку [8].

На основі контролю радіоекологічного стану у Львові й передмісті встановлено сучасні рівні радіаційного фону, що залежать від особливостей геологічних умов і рельєфу. Наприклад, контрольні вимірювання біля Чатової скелі виявили

гамма-фон на рівні 0,11–0,13 мЗв/год, довкола Високого замку – 0,10–0,12 мЗв/год, а на Кортумовій горі – близько 0,12 мЗв/год. У долині річки Полтви (район вул. Чорновола) гамма-фон є вищим і складає 0,14–0,15 мЗв/год. У західній і південно-західній частинах міста гамма-фон коливається у межах від 0,06 до 0,09 мЗв/год. Розточанські масиви мають дещо нижчі показники радіаційного фону порівняно з тими, що властиві для Львівської улоговини і долини р. Полтви. Останцеві масиви утворюють окремі радіаційні мікрозони, оскільки навколо них радіаційні величини є нижчими [7].

Зупинимось детальніше на аналізі у районі Львівської цитаделі. Територію вдалося вкрити щільною мережею пунктів вимірювання потужності гамма-випромінювання (рис. 2). При цьому заміри проведено на різних типах покриття урбосистем: бруківка, бетонне покриття, ґрунти, піщані чи супіщані поверхні, залізні і дерев'яні поверхні будівельних споруд.

Мінімальні показники гамма-випромінювання у районі дослідження виявлено на бетонному покритті становлять 0,079 мкЗв/год, а на ґрунті – 0,067 мкЗв/год (рис. 3). Максимальні значення гамма-випромінювання заміряно на базальтовому покритті біля Меморіалу жертвам комуністичного режиму, який сягає 0,178 мкЗв/год, а на схожих базальтових плитах біля Львівської національної наукової бібліотеки України імені Василя Стефаника

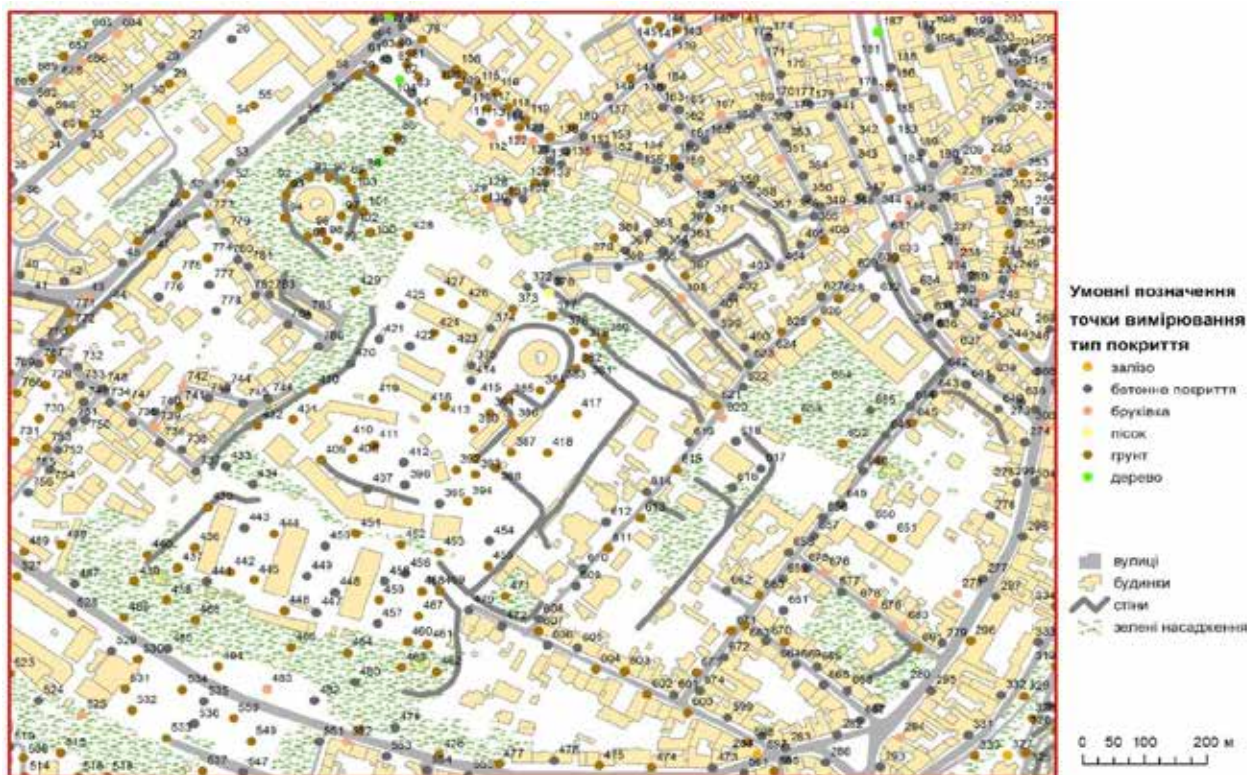


Рис. 2. Пункти вимірювання потужності гамма-випромінювання у районі Львівської цитаделі за типами покриття



Рис. 3. Показники потужності гамма-випромінювання у районі Львівської цитаделі

ці значення ще вищі – 0,256 мкЗв/год. На гранітних плитах у районі парку імені Івана Франка ці значення можуть перевищувати 0,148 мкЗв/год. Найвищі показники потужності гамма-фону спостерігаємо на вулицях Крушельницької, Стефаника, Каменярів і Саксаганського, які коливаються від 0,146 до 0,299 мкЗв/год.

Львівська цитадель складається з чотирьох башт і корпусів казарм. Навколо башти форту № 1, де розташоване книгосховище наукової бібліотеки ім. Стефаника найвищий показник гамма-фону становить 0,112 мкЗв/год, а найнижчий – 0,072 мкЗв/год. Дані, які отримані біля башти форту № 2, в якій розташований готель «Citadel Inn», найвищий показник гамма-випромінювання на бетонному покритті становить 0,136 мкЗв/год, а найменший на схожому покритті – 0,128 мкЗв/год. На ґрунтовому покритті найвищий показник складає 0,106 мкЗв/год, а найнижчий – 0,073 мкЗв/год. Біля корпусів казарм найвищий рівень гамма-фону сягає 0,127 мкЗв/год, а найменший – 0,058 мкЗв/год. На бетонному покритті біля казарм найвищі значення гамма-випромінювання становлять 0,152 мкЗв/год, а найнижчі – 0,062 мкЗв/год. Показники біля третьої і четвертої башт-форту є схожими до значень біля колишніх казармених приміщень. Між цими баштами знаходиться автостоянка на якій гамма-випромінювання є підвищене і знаходиться в межах 0,124–0,152 мкЗв/год.

Густина потоку бета-частинок в межах Львівської цитаделі змінюється від 1,5 до 2,2 част/см²хв. Найбільшу густину бета-випромінювання спостерігаємо біля казарм, яка становить 2,6 част/см²хв.

Узагальнені геодані, зважаючи на плямистий характер поширення забруднення урбосистем радіонуклідами, лише у загальному характеризують радіаційну ситуацію в місті. За результатами радіоекологічних досліджень нами розділено усі урбосистеми Львова на житлові, промислові, транспортні і паркові. Ці типи урбосистем мають властивий їм узагальнений рівень радіаційного забруднення. При цьому транспортні урбосистеми мають найвищу ступінь радіоактивного забруднення (9,7–9,9 мКі/км²). Це пов'язано з тим, що автотранспорт є головним джерелом поступлення іонізуючого випромінювання у довкілля Львова. Дещо менший рівень концентрації радіонуклідів властивий для густозаселених житлових урбосистем (8,0–8,2 мКі/км²). Ще нижчі показники радіоактивного забруднення властиві для промислових урбосистем (5,6–5,8 мКі/км²). Таке зниження показників іонізуючого випромінювання відбулося протягом останніх десяти років і зумовлене зменшенням виробництва на підприємствах або їх закриттям. Однак найкращу радіоекологічні умови спостерігаємо у паркових частинах міста, де середня концентрація радіонуклідів становить лише 1,7–1,8 мКі/км².

Радіаційний моніторинг у місті. На сьогодні успішно функціонує проєкт SaveEcoBot, що відображає інтерактивну карту України із результатами вимірювання радіаційного фону. У Львові вимірювання проводять на 17 постах різними способами, від щоденних ручних замірів відповідними державними установами на стаціонарних постах до багаторазових на онлайн станціях моніторингу. Систему громадського моніторингу радіаційного фону розвивається у співпраці із міжнародною організацією Safecast, встановлюють стаціонарні пристрої і мобільні установки, що вимірюють рівень радіації. Також у межах співпраці отримано три портативні детектори радіоактивного випромінювання з модулем GPS – Safecast bGeigie Nano, які дають змогу щодня збирати геодані про стан радіації.

Наприклад, радіаційний фон у місті станом на 16 лютого 2025 р. перебував у своїх звичних межах і становив 0,079–0,120 мкЗв/год (найменший і найбільший показники за останні 24 год.). Найвища величина потужності експозиційної

дозы (радіаційний фон) за останню добу зафіксовано о 18:00 год. на посту спостереження за адресою вул. В. Винниченка, 12 і вона становила 0,120 мкЗв/год, що нижче контрольного рівня [12].

Висновки. На основі проведеного радіоекологічного дослідження зробимо такі висновки:

1. В урбосистемах центральної частини Львова загрозового рівня радіації не виявлено. Формування мікрозон із підвищеними значеннями радіаційного фону пов'язані головню із неоднорідністю геологічних порід, решти природних умов та впливом техногенних чинників на довкілля.

2. У Львові середній рівень гамма-випромінювання змінюється від 0,05 до 0,09 мкЗв/год, а максимальний – не перевищує 0,26 мкЗв/год. Густина потоку бета-частинок головню коливається від 1,5 до 2,0 част/см²хв, а найбільша сягає 2,6 част/см²хв.

3. На сьогодні удосконалюється діюча мережа пунктів радіоекологічного вимірювання, що сприятиме поглибленню дослідження радіаційного фону в урбосистемах міста.

Література

1. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97) / Міністерство охорони здоров'я України. Київ, 1997. URL: <http://www.insc.gov.ua/docs/nrbu97.pdf>
2. Норми радіаційної безпеки України; доповнення: Радіаційний захист від джерел потенційного опромінювання (НРБУ-97/Д-2000); Державні гігієнічні нормативи / Міністерство охорони здоров'я України. Київ, 2000. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0116488-00#Text>
3. Методичні рекомендації з дозиметричного контролю / Академія наук УРСР, Міністерство охорони здоров'я УРСР; Г. А. Косінов, Г. М. Коваль, О. А. Адаменко та ін. Київ: Здоров'я, 1990. 40 с.
4. Іванов Є. Радіаційна екологія : навч.-метод. посібн. Львів : Видав. центр ЛНУ ім. І. Франка, 2011. 217 с.
5. Іванов Є. А. Радіоекологічні дослідження : навч. посібн. Львів : Видав. центр ЛНУ ім. І. Франка, 2004. 149 с.
6. Іванов Є. Оцінка стану хімічного і радіоактивного забруднення антропогенно-обумовлених геокомплексів. *Сучасна географія та навколишнє природне середовище* : матер. міжнарод. наук. конф. Вінниця, 1999. С. 30–32.
7. Волошин І. Особливості радіаційної ситуації у м. Львові. *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. 2006. Вип. 33. С. 53–61.
8. Іванов Є. А. Радіаційне забруднення урбосистем Львова. *Науковий вісник УкрДЛТУ: Проблеми урбоекології та фітомеліорації*. 2003. Вип. 13.5. С. 142–145.
9. Іванов Є., Андрейчук Ю., Козак Т. Радіоактивне забруднення екосистем парку імені Івана Франка. *Біомедична електроніка та фізичні методи в екології* : зб. тез Всеукр. наук. семін. Львів : Видав. центр ЛНУ ім. І. Франка, 2007. С. 65.
10. На Львівщині встановлюють нові пристрої для вимірювання радіації. *Львівський портал*: інформаційна агенція. 7 серпня 2024 р. URL: <https://portal.lviv.ua/news/2024/08/07/na-lvivshchyni-vstanovliuiut-novi-prystroi-dlia-vymiruvannia-radiatsii>
11. Радіаційний фон в місті Львів. *Чорнобиль, Прип'ять, Чорнобильська АЕС і зона відчуження*: сайт. URL: <https://chornobyl.in.ua/uk/radiacijniy-fon-lviv.html>
12. Стан радіаційного фону в місті Львів. SaveEcoBot: інтерактивний проєкт. URL: <https://www.saveecobot.com/radiation/lvivska-oblast/lviv>

УДК 630:551.3

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.2-59.22>

ОЦІНКА ДИНАМІКИ ЛІСОВОГО ПОКРИВУ ЗСУВОНЕБЕЗПЕЧНИХ ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ПЛАТФОРМИ GOOGLE EARTH ENGINE

Рушак В.О., Чепурний І.В.

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

У статті представлено результати дослідження просторово-часових змін лісового покриву на зсувонебезпечних територіях Українських Карпат із використанням супутникових знімків та інструментів платформи Google Earth Engine. Основну увагу приділено аналізу ймовірного зв'язку між деградацією лісового покриву і розвитком зсувних процесів. У дослідженні застосовано сучасні методи дистанційного зондування Землі, зокрема аналіз багаторічних супутникових знімків Landsat (1990–2020), а також геоінформаційне моделювання для вивчення змін лісового покриву та їхнього співвідношення із розташуванням зсувів. Досліджувались дві експериментальні ділянки – у Закарпатській та Івано-Франківській областях, де було здійснено оцінку динаміки лісових екосистем та виконано просторовий аналіз стосовно зсувонебезпечних ландшафтів. Застосування вегетаційних індексів, зокрема NDVI, дало змогу виявити зони деградації та відновлення лісу з високою просторовою точністю. Встановлено, що досліджувана ділянка у Закарпатській області демонструє вищий рівень залісненості, але й більшу кількість зсувів у порівнянні з Івано-Франківською ділянкою. Аналіз супутникових даних засвідчив значне зменшення площі лісів у період 2000–2010 років, із найбільш інтенсивною деградацією у Закарпатському регіоні, тоді як у 2010–2015 роках спостерігається часткове відновлення лісового покриву. Виявлено, що більшість зареєстрованих зсувів трапляються на схилах із порушеним або деградованим лісовим покривом, що може свідчити про наявність зв'язку між станом лісів і активізацією зсувних процесів. Отримані результати підтверджують важливість урахування стану лісового покриву як одного з ключових чинників формування зсувної небезпеки та наголошують на необхідності подальших досліджень для глибшого розуміння взаємозв'язку між екосистемною динамікою і природними ризиками. *Ключові слова:* Зсуви, лісовий покрив, геоінформаційний аналіз, дистанційне зондування землі, моніторинг, Google Earth Engine.

Assessment of forest cover dynamics in landsliding-hazardous areas of the Ukrainian Carpathians using the Google Earth Engine platform. Rushchak V., Chepurnyi I.

The article presents the results of a study of spatiotemporal changes in forest cover in landslide-prone areas of the Ukrainian Carpathians using satellite images and Google Earth Engine platform tools. The main attention is paid to the analysis of the probable connection between forest cover degradation and the development of landslide processes. The study used modern methods of remote sensing of the Earth, in particular, the analysis of multi-year Landsat satellite images (1990–2020), as well as geoinformation modeling to study changes in forest cover and their correlation with the location of landslides. Two experimental sites were studied – in the Zakarpattia and Ivano-Frankivsk regions, where the dynamics of forest ecosystems were assessed and a spatial analysis of landslide-prone landscapes was performed. The use of vegetation indices, in particular NDVI, made it possible to identify areas of forest degradation and restoration with high spatial accuracy. It was found that the studied area in the Transcarpathian region demonstrates a higher level of forest cover, but also a higher number of landslides compared to the Ivano-Frankivsk area. Analysis of satellite data showed a significant decrease in forest area in the period 2000–2010, with the most intensive degradation in the Transcarpathian region, while in 2010–2015 there was a partial restoration of forest cover. It was found that the majority of registered landslides occur on slopes with disturbed or degraded forest cover, which may indicate a connection between the state of forests and the activation of landslide processes. The results obtained confirm the importance of taking into account the state of forest cover as one of the key factors in the formation of landslide hazard and emphasize the need for further research to better understand the relationship between ecosystem dynamics and natural risks. *Key words:* Landslides, forest cover, geoinformation analysis, remote sensing, monitoring, Google Earth Engine.

Постановка проблеми. Однією з ключових задач під час здійснення екологічного моніторингу зсувонебезпечних територій є виявлення чинників, що сприяють активізації зсувних процесів, а також оцінка просторово-часової динаміки таких процесів. Особливого значення набуває вивчення стану рослинного покриву як одного з природних регуляторів стійкості схилів. Деградація лісових екосистем або зміна структури лісового покриву може суттєво впливати на стабільність схилів і провокувати розвиток зсувів.

У регіоні Українських Карпат, що характеризується складною геоморфологічною будовою, активними геологічними процесами та високою антропогенною навантаженістю, проблема зсувів є особливо актуальною. За останні десятиліття кількість зареєстрованих зсувів у цьому регіоні значно зросла, що пов'язано як зі зміною кліматичних умов, так і з інтенсивною вирубкою лісу.

Гірські лісові екосистеми відіграють важливу роль у регулюванні гідрологічного режиму, акумуляції вологи, протидії ерозійним процесам, стабіліза-

ції схилів. Проте зниження площі лісового покриву, фрагментація масивів та вирубки поблизу схилів можуть призводити до підвищення зсувонебезпеки.

Актуальність дослідження. В умовах зростання інтенсивності кліматичних змін та антропогенного навантаження на гірські ландшафти Українських Карпат спостерігається підвищення частоти та масштабу зсувних процесів. Особливу небезпеку становить деградація лісового покриву, що відіграє ключову роль у формуванні гідрологічного режиму, фіксації ґрунтів і стабілізації схилів. Ліси зменшують поверхневий стік, регулюють вологість ґрунтів і слугують природним бар'єром проти ерозійних процесів. Однак через вирубку, зміну землекористування та інші впливи їх здатність до природного захисту територій знижується. У зв'язку з цим виникає потреба в оперативних та достовірних методах моніторингу змін лісового покриву. Використання супутникових знімків і платформи Google Earth Engine дозволяє виявляти критичні зони, прогнозувати ризики активізації зсувів і формувати ефективні стратегії збереження природного покриву гірських територій.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. В Україні моніторинг екзогенних геологічних процесів та зсувних процесів зокрема покладений на Державну службу геології та надр України, проте актуалізація даних кадастру зсувних процесів викликає питання. В останні роки ведуться роботи щодо створення геопорталу єдиної державної електронної геоінформаційної системи де передбачений розділ щодо небезпечних екзогенних геологічних процесів. Дані щодо лісових ресурсів наявні на геопорталі «Ліси України», доступ до якого є обмеженим. У даній роботі здійснено аналіз взаємозв'язку між змінами лісового покриву та поширенням зсувних процесів з використанням даних дистанційного зондування Землі та геоінформаційних систем. Основна увага зосереджена на геоінформаційному просторовому моделюванні за допомогою платформи Google Earth Engine, що дозволяє врахувати не лише факт наявності або відсутності лісу, а й часову динаміку його змін. Дослідження зв'язку динаміки лісового покриву з розвитком зсувних процесів дозволить обґрунтовано використовувати чинник рослинності у системах прогнозування розвитку зсувів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика взаємозв'язку між змінами лісового покриву та розвитком зсувних процесів активно досліджується як в Україні, так і за кордоном. У багатьох роботах наголошується на ключовій ролі лісових екосистем у регулюванні водного балансу, зміцненні схилів і зменшенні ризику розвитку зсувів. У роботі [1] досліджено вплив вирубки лісів на зсувну небезпеку в Карпатах і підкреслено важливість лісів як стабілізуючого чинника.

Значний науковий інтерес викликає застосування платформи Google Earth Engine (GEE) для моніторингу змін лісового покриву. Так, у дослідженні [1] використано супутникові дані Landsat для визначення динаміки лісів у Карпатському регіоні. Автор підкреслив ефективність GEE у виявленні ділянок інтенсивної вирубки у важкодоступних районах. У роботі [2] проаналізовано зміни лісового покриву в Карпатах за допомогою супутникових даних та доведено, що використання GEE дозволяє виявити тенденції вирубки лісів у гірських районах. У свою чергу робота [3] поєднала GEE з GIS-аналізом для виявлення зон підвищеного зсувного ризику поблизу туристичних об'єктів. Подібні дослідження для зсувних процесів виконано у роботі [4]. Геоінформаційний аналіз динаміки лісового покриву та його впливу на розвиток зсувів проведено у роботі [5]. Регіональне прогнозування розвитку зсувних процесів, принципи якого описано у роботах [6-8] передбачає комплексну оцінку просторових та часових факторів, що ініціюють розвиток зсувних процесів. Серед таких факторів є фактор рослинного покриву, який у зазначених дослідженнях враховується у вигляді кількісної характеристики – відстань до лісу. Аналіз робіт [9-11] свідчить про те, що методи дистанційного зондування, особливо на платформі GEE, є перспективними для оперативного моніторингу лісів і оцінки ризиків природних катастроф.

Новизна. У межах даного дослідження запропоновано новий підхід до оцінки впливу лісового покриву на розвиток зсувних процесів, що базується на використанні хмарного середовища Google Earth Engine (GEE). Уперше було проведено комплексний аналіз просторово-часової динаміки лісового покриву у зсувонебезпечних районах Українських Карпат у ретроспективі 30 років (1990–2020 рр.). Використання геоінформаційних методів аналізу дозволило виявити зсуви, розташовані безпосередньо в лісі, а також ті, що виникли після часткової або повної деградації лісової смуги. Отримані результати можуть бути застосовані під час прогнозного моделювання розвитку зсувних процесів.

Методологічне або загальнонаукове значення. Застосування платформи Google Earth Engine (GEE) як інструменту для аналізу змін лісового покриву в межах зсувонебезпечних територій Українських Карпат демонструє широкий потенціал хмарних обчислень у геоекологічних дослідженнях. Методика передбачає використання багаторічних супутникових знімків Landsat, розрахунок вегетаційних індексів (NBR, NDVI), проведення картометричних та аналітичних операцій у середовищі ГІС, на основі інтеграції з даними про зсуви. Вона дозволяє здійснювати просторово-часову оцінку впливу деградації лісів на активізацію зсувів із високою точністю та оперативністю. Запропонований підхід створює наукову базу для вдосконалення систем управління

ризиками та формування інтегрованих екологічних і ландшафтних стратегій. Його поєднання з класичними геоекологічними методами дозволяє посилити аналітичну складову досліджень зсувів, підвищуючи ефективність прийняття управлінських рішень у сфері природокористування та охорони довкілля.

Виклад основного матеріалу. У якості експериментальних ділянок з оцінки динаміки лісового покриву для зсувонебезпечних територій обрано дві ділянки розміром 25×25 м, які розташовані в Українських Карпатах (рис. 1).

Перша ділянка розташована у східній частині Закарпатської області, включає у свої межі такі населені пункти, як Колочава, Руська Мокра, Лопухів, Усть Чорна. У її межах згідно каталогу зсувів ДНВП «Геоінформ України» зареєстровано 236 зсувів, що становить 0,38 зсувів/км². Інша ділянка розташована на півдні Івано-Франківської області в основному у межах Верховинського району та включає такі основні населені пункти, як Верховина, Кривопілля,

Брустурів, Верхній Ясенів, Довгопілля тощо. У її межах зареєстровано 157 зсувів. Остання масова зареєстрована активізація зсувів тут спостерігалась у 2008 році.

Для зазначеної території досліджень виконано розрахунок динаміки лісового покриву на основі сателітних даних Landsat з використанням платформи Google Earth Engine (GEE).

Для вказаних ділянок на платформі GEE проаналізовано супутникові знімки Landsat 4, 5, 8, 9 за період 1990–2020 рр. Обробка даних Landsat включала усунення хмарності за допомогою QA_PIXEL, перерахунок значень пікселів у відображенні коефіцієнти. Визначення лісового покриву відбувалось шляхом обчислення вегетаційного індексу, як відношення різниці ближнього інфрачервоне випромінювання, NIR (канал B5 у Landsat 8/9 або B4 у Landsat 4/5) та короткохвильового інфрачервоного випромінювання, SWIR (канал B7 у Landsat 8/9 або B5 у Landsat 4/5) до їх суми. Виділення лісу за поро-

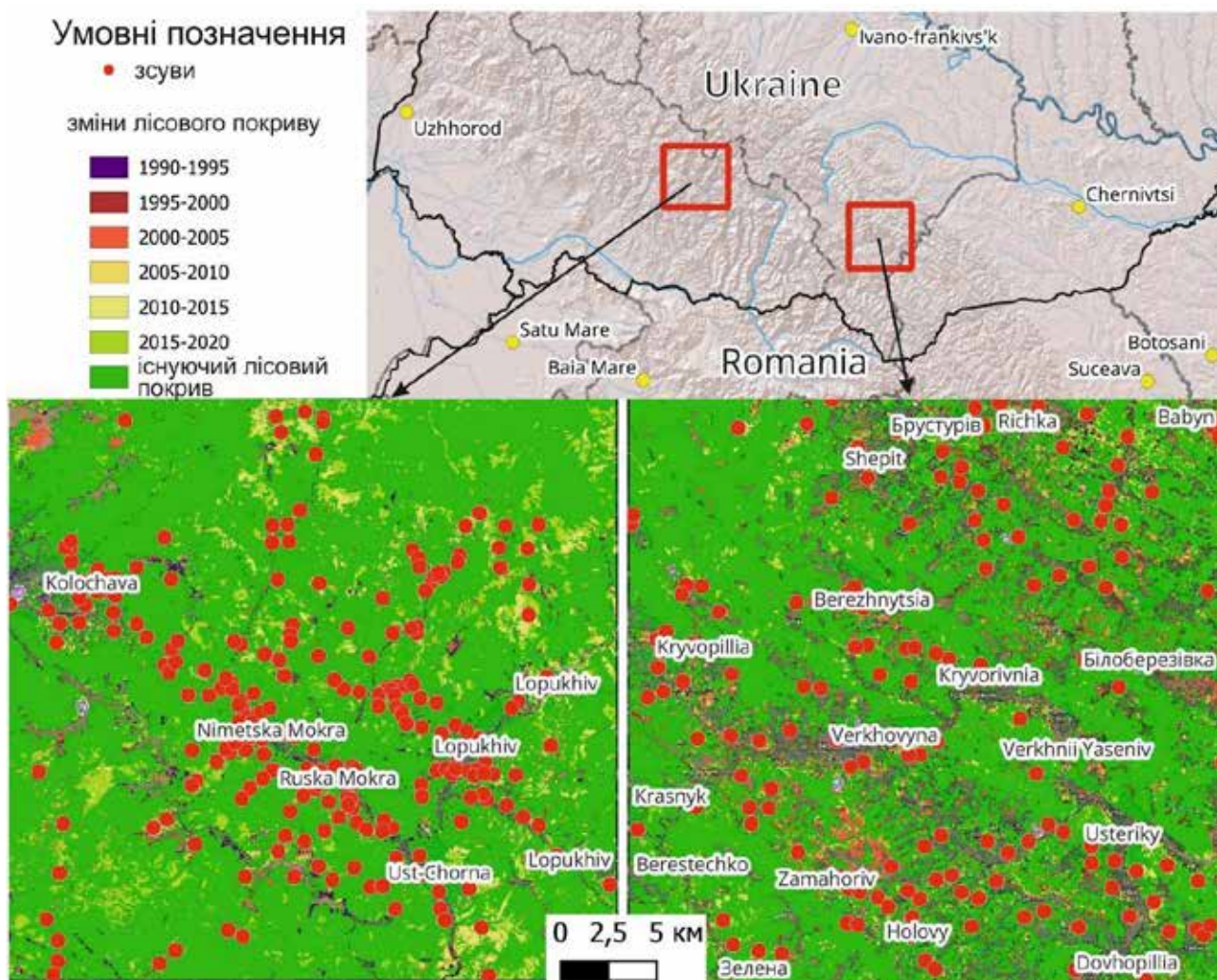


Рис. 1. Картограми динаміки лісового покриву для територій у межах Закарпаття (а) та Івано-Франківської області (б) суміщені з точками прояву зсувів

говим значення вегетаційного індексу більше 0,6. Розрахунок площі лісу у гектарах.

У результаті отримано карти зміни лісового покриття за період 1990–2020 рр (рис. 1) та графіки динаміки площі лісового покриття для двох ділянок досліджень (рис. 2). Як випливає з графіків, наведених на рисунку 2, ділянка, що розташована у Закарпатті має загалом більшу територію покриту лісом, також тут спостерігається вища кількість зсувів. Деградація лісового покриття спостерігається для обох ділянок у період з 2000 по 2010 рік. Проте більш інтенсивною на проміжку з 2000 до 2005 року вона на ділянці, розташованій у Закарпатті. Також можна спостерігати більш інтенсивне відновлення лісового покриття з 2010 до 2015 року для цієї ж ділянки.

На рис. 1 на карти динаміки лісового покриття накладено точки розвитку зсувів, які зареєстровані у каталозі зсувів ДНВП «Геоінформ України». Для кожної точки зсуву за допомогою геоінформаційного аналізу визначено стан рослинного покриття. Для ділянки, яка розташована у Закарпатті встановлено, що 15 з 236 точок не мають лісового покриття, 5 втратили лісовий покрив з 1990 по 2000 рік, 5 – з 2000 по 2010, 12 – з 2010 по 2020. Для ділянки, яка розташована у Івано-Франківській області встановлено, що 36 з 157 точок не мають лісового покриття, 1 втратив лісовий покрив з 1990 по 2000 рік, 13 – з 2000 по 2010, 3 – з 2010 по 2020.

З метою більш повної оцінки залісеності зсувних ділянок, для кожного точкового об'єкту створено буферну зону радіусом 100 м та виконано просторовий геоінформаційний аналіз, щодо наявності змін лісового покриття для зон навколо центроїдів зсувних ділянок. На рисунку 3 наведено гістограму, яка характеризує результати буферного аналізу. Для ділянки, яка розташована на території Закарпаття встановлено, що 145 зсувів у радіусі 100 м від центроїда мають порушення лісового покриття, причому 66 з них розташовані у межах суцільного лісо-

вого масиву та містять пікселі з втратами лісового покриття, інші 79 зсувів мають пікселі з відсутністю лісового покриття, що може свідчити про їхнє розташування поблизу краю лісу.

Для ділянки, яка розташована на території Івано-Франківської області встановлено, що для 132 зсувів у зоні радіусом 100 м від центроїда проявляється відсутність лісового покриття. З них лише 16 зсувів розташовані у межах суцільного лісового масиву та містять пікселі з втратами лісового покриття у радіусі 100 м. Загалом 112 зсувів розташовані поблизу межі лісу. Крім того, для чотирьох зсувів лісовий покрив повністю відсутній.

Головні висновки. Аналіз просторової динаміки лісового покриття та його змін у контексті розвитку зсувних процесів у межах двох зсувонебезпечних ділянок Українських Карпат проведено на основі супутникових знімків Landsat за 1990–2020 рр. з використанням платформи Google Earth Engine. Застосування вегетаційних індексів дозволило ефективно виявити зміни в рослинному покриві та здійснити ретроспективну оцінку тенденцій деградації або відновлення лісів.

У результаті дослідження встановлено, що досліджувана ділянка у Закарпатській області характеризується як більшою площею залісеності, так і вищим рівнем концентрації зсувних процесів. Незважаючи на відносно високий рівень лісового покриття, на цій ділянці виявлено 145 з 236 зсувів із просторовими порушеннями рослинності в радіусі 100 м від центроїдів. Для ділянки в Івано-Франківській області таких зсувів – 132 з 157.

Отримані результати засвідчують, що хоча лісовий покрив не є єдиним або визначальним чинником розвитку зсувів, він виступає важливим просторовим індикатором зсувонебезпечних територій. Особливо показовим є виявлення активізації зсувів у зонах поблизу межі лісу або на ділянках, що втратили лісовий покрив у попередні десятиліття.

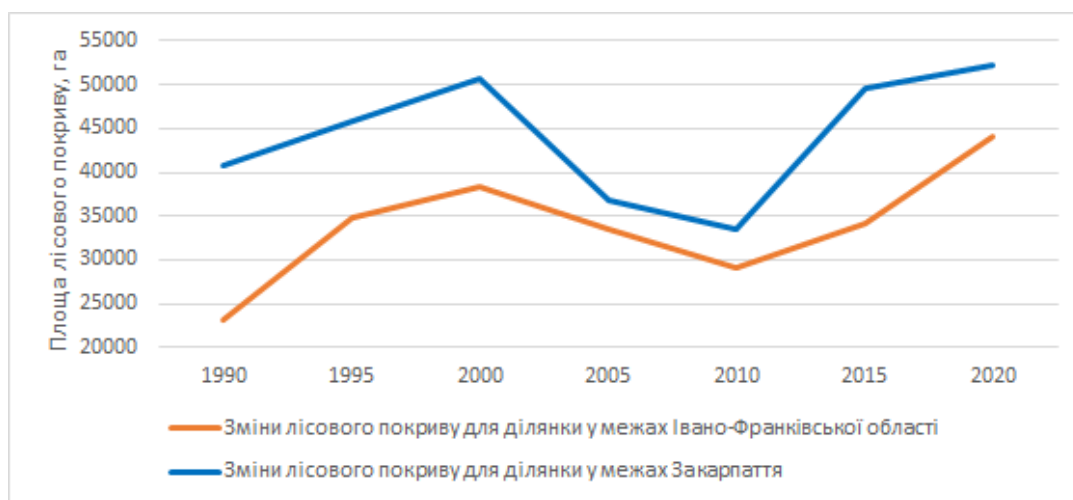


Рис. 2. Графіки динаміки лісового покриття для території досліджень

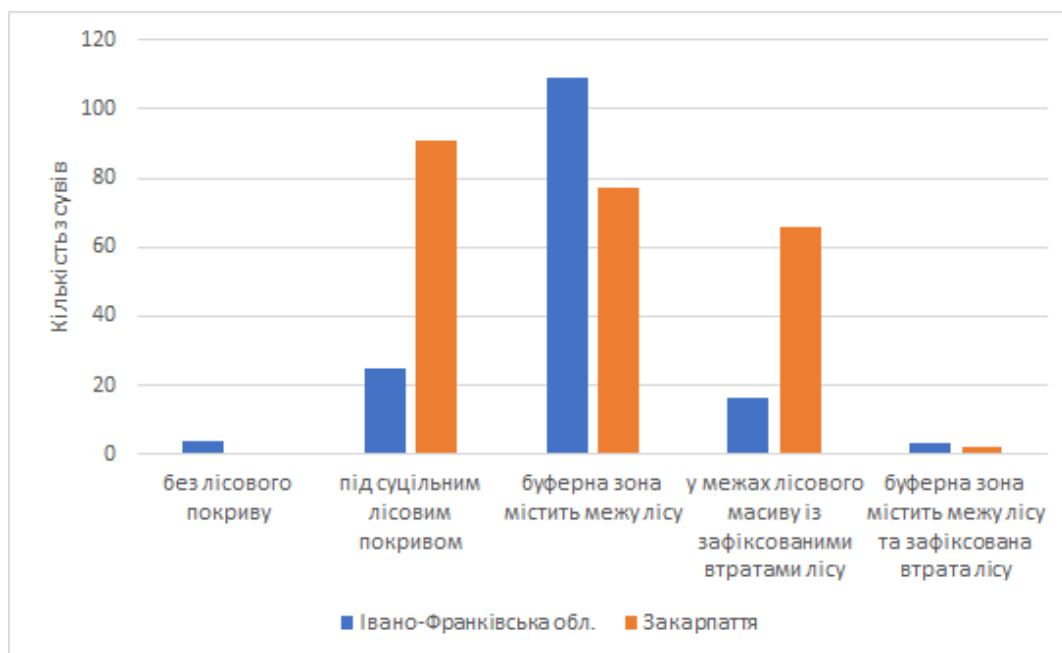


Рис. 3. Результати буферного аналізу

Перспективи використання результатів дослідження. У подальших дослідженнях доцільним є глибше вивчення взаємозв'язків між динамікою лісу та зсувними процесами з урахуванням морфометричних характеристик місцевості (висота, ухил, експозиція), а також актуалізація баз даних про зсуви, включно з часовими параметрами їх активізації. Такі підходи можуть сприяти формуванню більш точних

моделей прогнозування зсувів у гірських районах. Отримані результати мають широке прикладне значення для вдосконалення системи моніторингу зсувонебезпечних територій в Українських Карпатах. Розроблена методика може бути використана установами та організаціями для оперативного виявлення критичних зон із деградованим лісовим покривом, що потенційно схильні до розвитку зсувів.

Література

1. Дубровський М. І. Моніторинг змін лісового покриву в Українських Карпатах за супутниковими даними. Екологічні науки. 2020. № 2(29). С. 17–25.
2. Chaskovsky O. H., Hrynyk H. H. Estimation of losses of forest cover of the Ukrainian Carpathians by remote methods based on the materials of open sources of satellite information. Scientific Bulletin of UNFU. 2020. Vol. 30, № 1. P. 66–73. DOI: 10.36930/40300111.
3. Стефанюк В. В. ГІС-аналіз ризику розвитку зсувів у рекреаційних зонах Карпат. Природничий альманах. 2022. № 10. С. 49–55.
4. Davybida L., Papis J. Geomorphological Characteristics on the Landslides Observed Within the Carpathian Region in Lesser Poland Voivodeship and Ivano-Frankivsk Region on Ukraine. Fourth EAGE Workshop on Assessment of Landslide Hazards and Impact on Communities, 6–8 Sept. 2023, Dubrovnik, Croatia. EAGE, 2023. Vol. 2023, № 1. P. 1–5.
5. Chepurnyi I., Rushchak V., Chepurna T. Spatial Analysis of the Relationship between the Distribution of Landslide Areas and Forest Cover. International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2024», 6–8 Feb. 2024, Lviv, Ukraine. 2024. Vol. 2024, Issue 1. P. 1–5. DOI: 10.3997/2214-4609.2024510017.
6. Kasiyanchuk D., Kuzmenko E., Chepurna T., Chepurnyi I. Calculation of the environmental and geological landslide risk estimate. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. Vol. 1(10). P. 18–25.
7. Shtohryn L., Kasiyanchuk D., Kuzmenko E. The problem of long-term prediction of landslide processes within the Transcarpathian inner depression of the Carpathian region of Ukraine. Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences. 2020. Vol. 15. P. 157–166. DOI: 10.26471/cjees/2020/015/118.
8. Прогнозування зсувів / за ред. Кузьменка Е. Д. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2016. 601 с.
9. Hansen M. C., Potapov P. V., Moore R. et al. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. Science. 2013. Vol. 342, № 6160. P. 850–853. DOI: 10.1126/science.1244693.
10. Gorelick N., Hancher M., Dixon M. et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote Sensing of Environment. 2017. Vol. 202. P. 18–27. DOI: 10.1016/j.rse.2017.06.031.
11. Kennedy R. E., Yang Z., Cohen W. B. Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. LandTrendr-Temporal segmentation algorithms. Remote Sensing of Environment. 2010. Vol. 114. P. 2897–2910. DOI: 10.1016/j.rse.2010.07.008.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ЗАСОБАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Стасевич С.П., Махняк А.Я.

Національний університет «Львівська політехніка»

вул. С. Бандери, 12, 79013, м. Львів

serhiy.p.stasevych@lpnu.ua, andrii.y.makhniak@lpnu.ua

Штучний інтелект (ШІ) – це широка інноваційна галузь, розробкою якої займаються багато людей, компаній та організацій по всьому світу. Важко назвати одну людину або компанію, яка є «розробником» ШІ в цілому, оскільки це скоріше колективний процес, що включає в себе дослідження, розробку алгоритмів, створення програмного забезпечення та багато іншого.

Традиційні методи моніторингу ґрунту, такі як ручний відбір проб та лабораторний аналіз, часто є трудомісткими та надають обмежений обсяг даних. Однак штучний інтелект пропонує інноваційні рішення, які підвищують точність, ефективність і масштабованість в моніторингу та управлінні стану якості ґрунту.

Забруднення, кліматичні зміни та збільшення кількості людей на планеті є одними з ключових факторів, що негативно впливають на якість води. Вода є життєво важливою для людини, і її якість має вирішальне значення для здоров'я та безпеки населення. Традиційні методи моніторингу якості води ґрунтуються на трудомісткому, дорогому та обмеженому за обсягом ручному відборі проб та лабораторному аналізі. А також вони мають суттєві недоліки, такі як тривалий час обробки, високі обчислювальні вимоги та можливість людських помилок, що ускладнює отримання надійних прогнозів.

Однією з найактуальніших екологічних проблем, що негативно впливає на якість життя, економічне зростання та здоров'я людей, є забруднення повітря. Забруднення повітря є серйозною загрозою для здоров'я людини, що може спричинити розвиток раку, серцево-судинних захворювань та респіраторних захворювань. Серед дослідників спостерігається підвищений інтерес до використання ШІ для моніторингу якості повітря як інструменту для вирішення даної проблеми.

Використання ШІ для прогнозування стихійних лих дає ряд переваг перед більш традиційними підходами. Системи ШІ здатні аналізувати величезні обсяги даних з різних джерел, створюючи детальну картину стану навколишнього середовища в реальному часі. Це дає змогу владі заздалегідь планувати потенційні стихійні лиха та швидко діяти для їх вирішення. Системи ШІ здатні розробляти персоналізовані рішення для боротьби з різними типами стихійних лих у різних місцевостях. Наприклад, алгоритми ШІ можуть пропонувати зміни до правил зонування, розвитку інфраструктури та будівельних норм, щоб знизити ймовірність повеней, землетрусів або лісових пожеж. *Ключові слова:* штучний інтелект, моделі штучного інтелекту, моніторинг навколишнього середовища, довкілля, ШІ в моніторингові ґрунтів, ШІ в моніторингові якості води, ШІ в моніторингові якості повітря, ШІ для прогнозування стихійних лих.

Increasing the efficiency of environmental monitoring using artificial intelligence. Stasevych S., Makhniak A.

Artificial Intelligence is a broad field of innovation, developed by many people, companies and organizations around the world. It is difficult to name one person or company that is the “developer” of AI as a whole, as it is more of a collective process that includes research, algorithm development, software creation and much more.

Traditional soil monitoring methods, such as manual sampling and laboratory analysis, are often labor-intensive and provide limited data. However, AI offers innovative solutions that increase the accuracy, efficiency and scalability of soil quality monitoring and management.

Pollution, climate change and the increase in the number of people on the planet are among the key factors negatively affecting water quality. Water is vital to humans, and its quality is crucial for the health and safety of the population. Traditional methods of monitoring water quality rely on labor-intensive, expensive and limited manual sampling and laboratory analysis. They also have significant drawbacks, such as long processing times, high computational requirements, and the possibility of human error, which makes it difficult to obtain reliable forecasts.

One of the most pressing environmental problems that negatively affects the quality of life, economic growth, and human health is air pollution. Air pollution is a serious threat to human health, which can cause the development of cancer, cardiovascular diseases, and respiratory diseases. There is increased interest among researchers in using AI to monitor air quality as a tool to solve this problem.

Using AI to predict natural disasters offers several advantages over more traditional approaches. AI systems are able to analyze huge amounts of data from various sources, creating a detailed picture of the state of the environment in real time. This allows authorities to plan in advance for potential natural disasters and act quickly to resolve them. AI systems are able to develop personalized solutions to combat different types of natural disasters in different locations. For example, AI algorithms can suggest changes to zoning regulations, infrastructure development, and building codes to reduce the likelihood of floods, earthquakes, or wildfires. *Key words:* artificial intelligence, artificial intelligence models, environmental monitoring, environment, AI in soil monitoring, AI in water quality monitoring, AI in air quality monitoring, AI for natural disaster forecasting.

Постановка проблеми. На даний час штучний інтелект широко застосовується у моніторингові навколишнього середовища. Його використання збільшує об'єктивність отриманих результатів і робить доступним моніторинг навколишнього середовища для регіонів, які страждають від обмежених ресурсів для життєдіяльності людини. Штучний інтелект дозволяє проводити аналіз вели-

ких наборів даних для виявлення закономірностей і здійснення точних прогнозів в екологічному моніторингові. Можливості штучного інтелекту використовуються для вирішення різноманітних завдань у сфері моніторингу навколишнього середовища, серед яких – прогнозування природних катаклізмів, контроль за станом повітря, води, ґрунту, а також виявлення і контроль за концентрацією забруднюючих речовин.

Актуальність дослідження. Процес екологічного моніторингу передбачає систематичні спостереження, вимірювання та постійну оцінку параметрів навколишнього середовища для виявлення будь-яких змін, які можуть бути шкідливими для екосистеми або здоров'я населення.

Традиційними методами моніторингу стану навколишнього середовища є статистичний аналіз, лабораторний аналіз та ручний відбір проб, і вони мають суттєві недоліки: високу вартість, довго тривалість у часі та низьку точність вимірювання. Дуже часто традиційні програми екологічного моніторингу є вузько спеціалізованими, використовують невеликі об'єми вибірок і не дають повної картини стану навколишнього середовища.

Використання інноваційних технологій і наявність підготовлених кваліфікованих фахівців для регулярного точного моніторингу навколишнього середовища є першочерговим завданням для кожної країни, особливо це стосується України, яка отримала від бойових дій Росії нищівні руйнації території та інфраструктури.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Застосування інноваційних методів та інструментів з використанням дієвих алгоритмів штучного інтелекту у моніторингу навколишнього середовища дозволяє розробити ефективну систему управління екологічною безпекою у державі. Особливо це стає актуальним для приведення довілля, постраждалого від воєнних дій, до нормованого стану у відповідності до європейських та світових норм.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Штучний інтелект (ШІ, англ. Artificial Intelligence, AI) став провідною технологією Четвертої промислової революції [1] (Індустрія 4.0, англ. Industry 4.0) і за останнє десятиріччя використовується у все більше галузях економічного та суспільного життя більшості країн. Штучний інтелект, що імітує поведінку та інтелект людини, впроваджується в автоматизовані виробничі та інформаційні системи. Моделювання з використанням штучного інтелекту є ключем до побудови автоматизованих, інтелектуальних та розумних систем відповідно до потреб сьогодення [2]. Для вирішення реальних проблем можуть застосовуватися різні типи штучного інтелекту для підвищення інтелектуальних можливостей програми: аналітичний, функціональний, інтерактивний, текстовий і візуальний ШІ [3].

Застосування штучного інтелекту в моніторингу ґрунтів є значним прогресом у сільськогосподарському управлінні, збереженні навколишнього середовища та плануванні землекористування [4].

Моделі випадкового лісу (**Random Forests**) та дерева рішень (**Decision Trees**) виявилися дуже корисними при роботі зі складними наборами даних, що містять велику кількість змінних. Ці алгоритми дають можливість передбачати такі властивості ґрунту, як вміст вологи, рівень поживних речовин і pH, аналізуючи великі обсяги даних із різних джерел [5, 6]. Використання алгоритму випадкового лісу, наприклад, у дослідженні запасів органічного вуглецю в ґрунті, продемонструвало значне підвищення точності порівняно зі стандартними статистичними методами [7].

Опорні векторні машини (**SVM**, від англ. Support Vector Machine) застосовують для класифікації типів ґрунтів за фізико-хімічними властивостями, забезпечуючи точнішу оцінку стану ґрунту та сприяючи прийняттю обґрунтованих рішень [8].

У моніторингу стану ґрунту велику увагу також приділяють моделям глибокого навчання. Згорткові нейронні мережі (**CNN** or **ConvNet**, від англ. Convolutional Neural Networks) застосовують для аналізу ґрунту на основі зображень. Аналізуючи зображення, отримані з супутників або дронів, згорткові нейронні мережі здатні ідентифікувати особливості, що свідчать про стан ґрунту, ерозію та забруднення [9].

Рекурентні нейронні мережі (**RNN**, від англ. Recurrent Neural Networks) допомагають прогнозувати зміни властивостей ґрунту з часом, аналізуючи історичні дані та дані ґрунту у вигляді часових рядів [10].

Моніторинг якості води в режимі реального часу забезпечує використання штучного інтелекту [11]. Алгоритми машинного навчання дозволяють опрацьовувати дані з різних джерел. Сюди входять дані про погоду, історичні записи та дані з датчиків якості води і це дозволяє алгоритмам відслідковувати закономірності та тенденції, які можуть свідчити про зміни в якості води. За допомогою ШІ можна виявляти ледь помітні зміни у якості води, як-от коливання температури, pH, рівня кисню та наявність забруднювачів, що може вказувати на забруднення або інші проблеми [12].

Системи ШІ здатні надавати *актуальну та точну інформацію про якість повітря в реальному часі*, що допомагає владі розробляти ефективні стратегії та заходи для боротьби із забрудненням повітря [13]. У разі погіршення якості повітря, рекомендації, генеровані штучним інтелектом, можуть допомогти вжити своєчасних заходів для захисту здоров'я населення. Алгоритми машинного навчання використовують дані з різних джерел (датчики якості повітря, супутникові зображення та дані про погоду, тощо) для надання актуальної інформації про якість пові-

тря. Такі алгоритми здатні аналізувати дані та виявляти в таких даних закономірності, можуть визначати джерела забруднення, оцінювати його масштаби та надавати рекомендації щодо зменшення забруднення повітря.

У дослідженні [14] наведено класифікацію інструментів ШІ для прогнозування забруднення повітря на основі таких факторів, як ефективність, вхідні дані та частота використання методів штучного інтелекту.

В останні роки для моніторингу навколишнього середовища широко почали застосовувати алгоритми штучного інтелекту як от штучні нейронні мережі (ANN від англ. Artificial Neural Networks), глибокі нейронні мережі (DNN, від англ. Deep Neural Networks), машини підтримки векторів SVM та нечітку логіку (Fuzzy Logic). На даний час найефективнішим інструментом для моніторингу навколишнього середовища на основі штучного інтелекту є глибокі нейронні мережі DNN [14].

У роботі [15] проведені порівняльні дослідження інших методів і моделей, призначених для аналізу стану повітря, і які пропонують використовувати регресію вектору підтримки (SVR, від англ. Support Vector Regression) та авторегресійну інтегровану ковзну середню (ARIMA – AutoRegressive Integrated Moving Average) як найефективніші методи аналізу часових рядів твердих частинок (PM) діаметром $<10\text{ }\mu\text{m}$ і діаметром $<2,5\text{ }\mu\text{m}$.

Останнім часом ШІ використовують у *прогнозуванні стихійних лих та пом'якшенні їхніх наслідків*. Рішення на основі ШІ можуть надавати точні дані про стихійні лиха в режимі реального часу, тим саме надаючи владі дієвий інструмент для створення ефективних планів реагування та знижувати ризики для громадської безпеки [16].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. У теперішній час навколишнє середовище України перебуває не тільки під впливом антропогенного навантаження, але й від пагубних наслідків воєнних дій Росії, яка піддає руйнації промислові та інфраструктурні об'єкти України, що значно забруднює довкілля внаслідок їх ушкоджень та руйнування. Тому необхідно обґрунтовано вибрати правильну модель штучного інтелекту для вирішення конкретної екологічної задачі.

Новизна. У дослідженні аналізуються основні моделі штучного інтелекту, що використовуються для побудови моделей екологічного моніторингу навколишнього середовища в режимі реального часу: ґрунтів, якості повітря та води, прогнозуванні стихійних лих тощо.

Методологічне або загальнонаукове значення. Застосування інноваційних інформаційно-телекомунікаційних технологій у моделях штучного інтелекту значно прискорює і оптимізує процеси автоматизації отримання, обробки, зберігання та візуалізації екологічної інформації.

Викладення основного матеріалу. Завдяки точності алгоритмів ШІ, людський фактор зводиться до мінімуму, що сприяє більш точному екологічному моніторингу навколишнього середовища.

Переваги використання штучного інтелекту в моніторингу ґрунтів є суттєвими. Масштабованість рішень на основі ШІ дозволяє проводити комплексну оцінку стану ґрунту на великих сільськогосподарських територіях. Прогнозні дані моделей ШІ надають можливість динамічного управління станом ґрунту, наприклад, шляхом коригування графіків поливу та оптимізації внесення добрив [17] або запровадження заходів у боротьбі з ерозією.

Використання ШІ для моніторингу ґрунтів демонструє, як передові технології здатні змінювати традиційні підходи в сфері сільського господарства та екології. У міру розвитку технологій, ШІ відкриває нові можливості для більш ефективного та сталого управління земельними ресурсами.

Використання ШІ для оцінки якості води має низку переваг перед звичайними методами. ШІ забезпечує можливість постійного та миттєвого контролю за якістю води, що дозволяє органам влади оперативно реагувати на будь-які зміни та швидко і ефективно вирішувати проблеми з якістю води. Крім того, системи на основі ШІ можуть аналізувати величезні обсяги даних з численних джерел, надаючи всебічну картину змін у якості води. Ця здатність допомагає виявляти тенденції та закономірності в зміні якості води, прогнозувати майбутні проблеми та розробляти вірні стратегії для їх усунення. Рекомендації, надані ШІ, можуть також сприяти своєчасному вжиттю заходів для вирішення проблем з якістю води. Наприклад, модель може аналізувати дані в реальному часі, визначати найкращий час для очищення води або рекомендувати конкретні методи боротьби із забруднювачами [18].

Використовуючи алгоритми ШІ для аналізу даних про якість води та стану навколишнього середовища, можна створювати ефективні стратегії для контролю забруднення та збереження водних екосистем, що сприятиме підтримці біорізноманіття [19].

Моделі ШІ, зокрема глибоке навчання, дерева рішень, машини опорних векторів SVM та штучні нейронні мережі ANN [20] використовуються для прогнозування змін у якості води, таких як рН, температура та розчинений кисень. Залежно від типу та мети завдання моделі ШІ використовують різні вхідні параметри. Наприклад, в одних дослідженнях застосовувалися хімічні показники, такі як розчинений кисень, біохімічна потреба в кисні та загальний азот, тоді як в інших – фізичні параметри, такі як температура, рН та каламутність. Моделі штучного інтелекту можуть надати точні та ефективні рішення для моніторингу якості води [21].

Аналіз та прогнозування якості повітря значною мірою залежить від інформації, яка використовується конкретною моделлю ШІ та які саме забруд-

нювачі повітря переважають у даному регіоні. Використання гібридних моделей може забезпечувати кращу ефективність у політиці моніторингу та прийняття рішень щодо навколишнього середовища. Гібридні моделі поєднують властивості та переваги двох алгоритмів штучного інтелекту для прийняття обґрунтованих рішень щодо можливих наслідків від забруднювачів повітря, а також є більш надійними для прогнозування якості повітря [22].

ШІ для моніторингу якості повітря має ряд переваг перед традиційними методами. У порівнянні зі звичайними методами, системи ШІ забезпечують вищу точність збору та аналізу даних, що мінімізує можливість помилок та невідповідностей у даних про якість повітря. Крім того, алгоритми ШІ можуть надавати індивідуальні рішення для різних джерел забруднення та регіонів. Моделі ШІ, аналізуючи дані з різних локацій та джерел, можуть розробляти індивідуальні стратегії щодо зменшення забруднення повітря, до прикладу, регулювати транспортні потоки, оптимізувати роботу промислових підприємств або пропонувати зміни для міського планування [21, 23].

Рекомендації, розроблені на основі ШІ, можуть відігравати ключову роль у моніторингу якості повітря, надаючи ефективну інформацію для пом'якшення забруднення. Наприклад, алгоритми ШІ можуть рекомендувати зміни в організації дорожнього руху під час годин пікового забруднення, щоб зменшити викиди. Або запропонувати оптимальний час для промислових операцій для мінімізації впливу на навколишнє середовище. Також алгоритм штучного інтелекту здатен визначити зелені зони, де рівень забруднення знаходиться в безпечних межах [24, 25].

Рекомендації надані алгоритмами ШІ для моніторингу якості повітря допомагають органам влади впроваджувати своєчасні заходи, забезпечуючи збереження якості повітря в допустимих межах, тим саме здійснюючи захист здоров'я населення.

Алгоритми ШІ є важливими інструментами для міського управління та планування. Вони дозволяють аналізувати дані про якість повітря, трафік та розвиток міста, щоб створювати персоналізовані рішення для зменшення забруднення повітря [26]. Наприклад, алгоритм може рекомендувати зміни в організації дорожнього руху для зменшення заторів та кількості шкідливих викидів, або ж модифікації у міському плануванні для поліпшення циркуляції повітря та зниження концентрації шкідливих речовин. У промислових операціях алгоритм ШІ може аналізувати дані про викиди та розробляти індивідуальні рішення для зменшення забруднення, наприклад, шляхом впровадження більш екологічних матеріалів та джерел енергії, або оптимізації виробничих процесів для мінімізації відходів та викидів [27].

Штучний інтелект ефективно використовується в прогнозуванні стихійних лих, обробляючи великі масиви даних з різних джерел, таких як супут-

никові знімки, сейсмічні датчики та метеорологічні прогнози. Це дозволяє виявити закономірності та оцінити ризики виникнення катастроф [28].

Доступність до даних і якість самих даних представляє ще одну складність [16]. Створити точні та надійні системи прогнозування на основі ШІ складно, оскільки є багато регіонів світу з недостатніми даними про стихійні лиха. Політичні та економічні питання, поряд з технологічними обмеженнями, також можуть створювати перешкоди для отримання необхідних даних. Важливо враховувати також етичні наслідки використання ШІ для прогнозування стихійних лих (конфіденційність, права власності та можливе зловживання даними).

Головні висновки. Управління водними ресурсами та їх очищення є одним із ключових напрямків застосування ШІ. На основі аналізу даних про якість води, ШІ може розробляти спеціалізовані рішення для очищення та управління водними ресурсами, наприклад, рекомендувати конкретні системи фільтрації або стратегії хімічної обробки для зменшення негативного впливу забруднення.

Сільське господарство та виробництво продуктів харчування також отримують вигоду від моніторингу якості води на основі ШІ. На основі аналізу даних про якість води, алгоритми ШІ можуть розробляти спеціалізовані стратегії зрошення та управління врожаєм для пом'якшення негативного впливу забруднення води. Наприклад, можна оптимізувати графіки поливу, а також вибрати культури, які менш сприйнятливі до забруднення води.

Системи ШІ здатні аналізувати великі обсяги даних з різних джерел та надавати комплексну картину якості повітря в реальному часі. Це в свою чергу дозволяє керівним органам приймати обґрунтовані рішення та швидко діяти для зменшення забруднення повітря.

Існують проблеми, такі як відсутність стандартів у зборі та обробці даних, а також обмежена доступність високоякісних даних. Тому майбутні дослідження повинні зосередитися на створенні більш надійних моделей, здатних обробляти різні джерела даних та забезпечувати точні прогнози для різноманітних показників якості води.

Переваги прогнозування стихійних лих на основі ШІ, можуть бути знівельовані низкою питань, які потрібно вирішити для його успішного застосування. Якість і доступність даних, що використовуються для аналізу, є однією з основних перешкод для прогнозування стихійних лих. Точність та надійність даних є необхідною умовою для того, щоб системи ШІ могли ефективно прогнозувати та приймати правильні рішення.

На противагу перевагам застосування ШІ в екологічному моніторингу виникає і ряд проблем. Ефективність моделей ШІ значною мірою залежить від якості та доступності даних про ґрунт. Якщо дані є неточними або неповними, то прогнози, зро-

блені на їх основі, будуть ненадійними. Саме тому так важливо використовувати надійні методи збору даних. Інтеграція ШІ, крім іншого, передбачає значні інвестиції на розбудову інфраструктури та навчання моделей. Однак, незважаючи на значні початкові інвестиції, довгострокова економія від використання технологій ШІ зазвичай є вищою завдяки автоматизації та зниженню потреби в людській праці.

Перспективи використання результатів дослідження. Використання штучного інтелекту відкриває значні перспективи для моніторингу навколишнього середовища в Україні, яка стикається з численними екологічними викликами, включаючи забруднення повітря та води, проблеми з відходами, втрату біорізноманіття та наслідки війни. Застосування ШІ дозволяє покращити ефективність, точність та оперативність екологічного моніторингу, а також сприяти прийняттю обґрунтованих рішень для захисту довкілля. Ось деякі перспективні напрями використання ШІ.

Автоматизований моніторинг забруднення – ШІ може аналізувати дані з різних джерел (спутники, дрони, наземні датчики, промислові сенсори тощо) для виявлення та оцінки рівня забруднення повітря, води та ґрунтів у режимі реального часу. Це дозволить оперативно реагувати на надзвичайні ситуації та контролювати дотримання екологічних норм.

Прогнозування екологічних ризиків – ШІ завдяки аналізу історичних даних та поточних екологічних показників може прогнозувати природні катастрофи та техногенні аварії для вживання превентивних заходів та мінімізації їхніх наслідків.

Оцінка стану біорізноманіття – ШІ може використовуватися для моніторингу популяцій диких тварин, виявлення браконьєрства та оцінки стану екосистем.

Оптимізація використання природних ресурсів – ШІ може допомогти в аналізі даних про споживання води, енергії та інших природних ресурсів та розробити рекомендації щодо оптимізації їх використання.

Управління відходами – ШІ може застосовуватися для оптимізації процесів збору, сортування та переробки відходів, а також для моніторингу стану полігонів та виявлення несанкціонованих сміттєзвалищ.

Аналіз впливу війни на довкілля – ШІ може бути використаний для аналізу супутникових знімків та інших даних для оцінки збитків, завданих навколишньому середовищу внаслідок бойових дій, та планування заходів з відновлення території.

Підтримка прийняття рішень – ШІ може аналізувати великі обсяги екологічних даних, надаючи експертам та урядовцям обґрунтовані рекомендації для розробки екологічної політики та прийняття управлінських рішень.

Незважаючи на значний потенціал, впровадження ШІ в екологічний моніторинг в Україні потребує вирішення ряду завдань, включаючи забезпечення доступу до якісних даних, розвиток відповідної інфраструктури та підготовку кваліфікованих фахівців. Проте, враховуючи нагальність екологічних проблем, інвестиції в цю сферу можуть принести значні вигоди для сталого розвитку країни та збереження її природного багатства.

Література

1. The Fourth Industrial Revolution. What It Means and How to Respond. By Klaus Schwab. December 12, 2015. URL: <https://www.foreignaffairs.com/world/fourth-industrial-revolution> (дата звернення: 04.04.2025).
2. Sarker, I.H. AI-based modeling: techniques, applications and research issues towards automation, intelligent and smart systems. *SN Computer Science*. 2020. № 3:158. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42979-022-01043-x>.
3. Russell, S., Norvig, P. *Artificial intelligence: A modern approach (4th ed., Global ed.* Pearson. 2021. P. 1166.
4. Abdulraheem, M.I., Zhang, W., Li, S., Moshayedi, A.J., Farooque, A.A., Hu, J. Advancement of remote sensing for soil measurements and applications: a comprehensive review. *Sustainability*. 2023. 15 (21), 15444. DOI: <https://doi.org/10.3390/su152115444>.
5. Folorunso, O., Ojo, O., Busari, M., Adebayo, M., Joshua, A., Folorunso, D., Ugwunna, C. O., Olabanjo, O., Olabanjo, O. Exploring machine learning models for soil nutrient properties prediction: a systematic review. *Big Data Cogn. Comput.* 2023. 7 (2), 113. DOI: <https://doi.org/10.3390/bdcc7020113>.
6. John, K., Abraham Isong, I., Michael Kebonye, N., Okon Ayito, E., Chapman Agyeman, P., Marcus Afu, S. Using machine learning algorithms to estimate soil organic carbon variability with environmental variables and soil nutrient indicators in an alluvial soil. *Land* (Basel). 2020. 9 (12), 487. DOI: <https://doi.org/10.3390/land9120487>.
7. Wang, S., Gao, J., Zhuang, Q., Lu, Y., Gu, H., Jin, X. Multispectral remote sensing data are effective and robust in mapping regional forest soil organic carbon stocks in a northeast forest region in China. *Remote Sens.* (Basel). 2020. 12 (3), 393. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12030393>.
8. Padarian, J., Minasny, B., McBratney, A.B. Machine learning and soil sciences: a review aided by machine learning tools. *Soil*. 2020.6 (1), 35–52. DOI: <https://doi.org/10.5194/soil-6-35-2020>.
9. Feizizadeh, B., Garajeh, M.K., Lakes, T., Blaschke, T. A deep learning convolutional neural network algorithm for detecting saline flow sources and mapping the environmental impacts of the Urmia Lake drought in Iran. *Catena* (Amst.) 2021. 207, 105585. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105585>.
10. Bai, D., Lu, G., Zhu, Z., Tang, J., Fang, J., Wen, A. Using time series analysis and dual-stage attention-based recurrent neural network to predict landslide displacement. *Environ. Earth Sci.* 2021. 81 (21), 509. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-022-10637-w>.
11. Artiola, J., Pepper, I.L., Brusseau, M.L. (2004). Environmental Monitoring and Characterization. *Academic Press*. 2004. 410 p.
12. Ye, Z., Yang, J., Hong, N., Tu, X., Jia, J., Wang, J. Tackling environmental challenges in pollution controls using artificial intelligence: a review. *Sci. Total Environ.* 2019. 699: 134279. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134279>.

13. El-Magd, S.A.A., Soliman, G., Morsy, M., Kharbish, S. Environmental hazard assessment and monitoring for air pollution using machine learning and remote sensing. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 2022. 20(6), 6103–6116. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04367-6>.
14. Masood, A., Ahmad, K. A review on emerging artificial intelligence (AI) techniques for air pollution forecasting: fundamentals, application and performance. *J. Clean. Prod.* 2021. 322, 129072. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129072>.
15. Dobrea, M., B̃ adicu, A., Barbu, M., Subea, O., B̃ alanescu, ̃ M., Suciū, G., Dobre, C. Machine learning algorithms for air pollutants forecasting. In: *2020 IEEE 26th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)*. IEEE, 2020. pp. 109–113. DOI: <https://doi.org/10.1109/SIITME50350.2020.9292238>.
16. Zhang, X., Shu, K., Rajkumar, S., Sivakumar, V. Research on deep integration of application of artificial intelligence in environmental monitoring system and real economy. *Environ. Impact Assess. Rev.* 2021. 86, 106499. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106499>.
17. Elshaikh, A., Elsheikh, E., Mabrouki, J. Applications of Artificial Intelligence in Precision Irrigation. *J. Environ. Earth Sci.* 2024. 6 (2), 176–186. DOI: <https://doi.org/10.30564/jees.v6i2.6679>.
18. Nova, K. AI-enabled water management systems: an analysis of system components and interdependencies for water conservation. *Eigenpub Rev. Sci. Technol.* 7 (1), 105–124. URL: <https://studies.eigenpub.com/index.php/erst/article/view/12> (дата звернення: 04.04.2025).
19. Wagle, N., Acharya, T.D., Lee, D.H. Comprehensive review on application of machine learning algorithms for water quality parameter estimation using remote sensing data. *Sens. Mater.* 2020. 32 (11), 3879–3892. DOI: <https://doi.org/10.18494/SAM.2020.2953>.
20. Aldhyani, T.H., Al-Yaari, M., Alkahtani, H., Maashi, M. Water quality prediction using artificial intelligence algorithms. *Appl. Bionics Biomech.* 2020. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/6659314>.
21. Ortega-Fern' andez, A., Martín-Rojas, R., García-Morales, V.J. Artificial intelligence in the urban environment: smart cities as models for developing innovation and sustainability. *Sustainability.* 2020. 12 (19), 7860. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12197860>.
22. Fu, L., Li, J., Chen, Y. An innovative decision making method for air quality monitoring based on big data-assisted artificial intelligence technique. *J. Innov. Knowl.* 2023. 8 (2), 100294. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jik.2022.100294>.
23. Subramaniam, S., Raju, N., Ganesan, A., Rajavel, N., Chenniappan, M., Prakash, C., Dixit, S. Artificial intelligence technologies for forecasting air pollution and human health: a narrative review. *Sustainability.* 2022. 14 (16), 9951. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14169951>.
24. Boukerche, A., Tao, Y., Sun, P. Artificial intelligence-based vehicular traffic flow prediction methods for supporting intelligent transportation systems. *Comput. Netw.* 2020. 182, 107484. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107484>.
25. Degas, A., Islam, M.R., Hurter, C., Barua, S., Rahman, H., Poudel, M., Ruscio, D., Ahmed, M.U., Begum, S., Rahman, M.A. A survey on artificial intelligence (ai) and explainable ai in air traffic management: current trends and development with future research trajectory. *Appl. Sci.* 2022. 12(3), 1295. <https://doi.org/10.3390/app12031295>.
26. Almalawi, A., Alsolami, F., Khan, A.I., Alkhatlan, A., Fahad, A., Irshad, K., Qaiyum, S., Alfakeeh, A.S. An IoT based system for magnify air pollution monitoring and prognosis using hybrid artificial intelligence technique. *Environ.* 2022. № 206:112576. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112576>.
27. Alpan, K., Sekeroglu, B. Prediction of pollutant concentrations by meteorological data using machine learning algorithms. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inform. Sci.* 2020. 44, 21–27. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIV-4-W3-2020-21-2020>.
28. Marcin Frackiewicz. The use of artificial intelligence in environmental monitoring [online]. 2023. DOI: <https://ts2.space/en/the-use-of-artificial-intelligence-in-environmental-monitoring/> (дата звернення: 04.04.2025).
29. Bloomfield, P., Clutton-Brock, P., Pencheon, E., Magnusson, J., Karpathakis, K. Artificial Intelligence in the NHS: Climate and Emissions. *J. Clim. Change Health.* 2021. № 4:100056. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.joclim.2021.100056>.
30. Gundeti, R., Vuppala, K., Kasireddy, V. The Future of AI and Environmental Sustainability: Challenges and Opportunities. In H. Kannan, R. Rodriguez, Z. Paprika, & A. Ade-Ibijola (Eds.), *Exploring Ethical Dimensions of Environmental Sustainability and Use of AI*. 2024. C. 346–371. DOI: <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-0892-9.ch017>.

ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ВОЄННИХ ДІЙ

УДК 504

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.2-59.24>

ОЦІНКА ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ В УМОВАХ АНТРОПОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ ТА ВОЄННИХ ДІЙ

Барабаш О.В., Покшевніцька Т.В., Хрутьба Ю.С.

Національний транспортний університет
вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, 01010, м. Київ
barabashelena29@gmail.com

Розглянута оцінка впливу на довкілля як основний інструмент забезпечення екологічної безпеки та досягнення сталого розвитку в умовах зростання антропогенного забруднення та ведення бойових дій. Оцінка впливу на довкілля (ОВД) є важливим механізмом, який дозволяє систематично досліджувати екологічні ризики та можливі впливи на навколишнє природне середовище реалізації планованої діяльності або впровадження проєктів. У глобальних екологічних проблемах, таких як забруднення води, ґрунтів, атмосферного повітря, фрагментації й руйнувань цілісності ландшафтів та багато інших, оцінка впливу на довкілля набуває додаткового значення, а саме: ОВД стає не просто регуляторною процедурою, а необхідним інструментом екологічної безпеки в умовах загострення екологічних криз, розширюється спектр факторів, які необхідно враховувати при оцінці – зокрема і вплив бойових дій (що особливо актуально для України), ОВД набуває стратегічного значення для прийняття рішень для досягнення сталого розвитку на національному рівні. Автори також відзначають, що антропогенне забруднення не тільки загрожує біорізноманіттю, але й загрожує екологічній безперервності, яка є дуже важливою для підтримки здорових екосистем. Авторами проаналізовано теоретико-методологічні засади оцінки впливу на навколишнє середовище, її функції у формуванні державної екологічної політики та моніторингу навколишнього середовища. У роботі наголошується на важливості впровадження екологічних знань у процеси ухвалення рішень для досягнення сталого розвитку суспільства. Такий підхід створює підґрунтя для розробки дієвих стратегій керування природними ресурсами та реалізації екологічної політики відповідно до глобальних цілей сталості. Дослідження в цій галузі мають особливу цінність для формування екологічної свідомості громадян та заохочення їхньої участі в обговоренні екологічних аспектів планованої діяльності. Стаття також містить рекомендації щодо вдосконалення методології оцінки впливу на довкілля, з особливою увагою до збереження екологічного континуїтету та аналізу наслідків військових дій для екосистем України. Зокрема, обґрунтовується потреба в розробленні спеціальних методів оцінювання забруднення, спричиненого воєнними діями, а також включення принципів сталого розвитку до процедури ОВД. Запропоновані заходи сприятимуть перетворенню ОВД на потужніший інструмент забезпечення екологічної безпеки в умовах зростаючого антропогенного тиску на довкілля. *Ключові слова:* оцінка впливу на довкілля, цілі сталого розвитку, екологічні знання, екологічний ризик, забруднення ґрунтових вод, біорізноманіття, екологічний континуїтет, воєнні дії.

Environmental impact assessment as a tool for ensuring environmental safety and sustainable development in the context of anthropogenic pollution and military operations. Barabash O., Pokshevnytska T., Khrutba Yu.

The article discusses environmental impact assessment as the main tool for ensuring environmental safety and achieving sustainable development in the context of growing anthropogenic pollution and military operations. Environmental impact assessment is an important mechanism that allows systematic investigation of environmental risks and possible environmental impacts of planned activities or project implementation. With global environmental issues such as water, soil, and air pollution, fragmentation and destruction of landscape integrity, and many others, environmental impact assessment takes on additional significance, namely: EIA is becoming not just a regulatory procedure, but a necessary tool for environmental safety in the context of aggravating environmental crises, the range of factors to be taken into account in the assessment is expanding, including the impact of hostilities (which is especially relevant for Ukraine), and EIA is gaining strategic importance for making decisions on sustainable development at the national level. The authors also note that anthropogenic pollution not only threatens biodiversity, but also threatens ecological continuity, which is very important for maintaining healthy ecosystems. The authors analyze the theoretical and methodological foundations of environmental impact assessment, its functions in the formation of state environmental policy and environmental monitoring. The paper emphasizes the importance of integrating environmental knowledge into decision-making processes to achieve sustainable development of society. This approach creates the basis for developing effective strategies for managing natural resources and implementing environmental policy in line with global sustainability goals. Research in this area is of particular value for shaping the environmental awareness of citizens and encouraging their participation in discussing the environmental aspects of planned activities. The article also contains recommendations for improving the methodology of environmental impact assessment, with particular attention to preserving the ecological continuum and analyzing the consequences of military operations for Ukrainian ecosystems. In particular, the author substantiates the need to develop special methods for assessing pollution caused by military operations, as well as to incorporate the principles of sustainable development into the EIA procedure. The proposed measures will contribute to the transformation of EIA into a more powerful tool for ensuring environmental safety in the context of growing anthropogenic pressure on the environment. *Key words:* environmental impact assessment, sustainable development goals, environmental knowledge, environmental risk, groundwater pollution, biodiversity, ecological continuum, military actions.

Постановка проблеми. Оцінка впливу на довкілля (ОВД) антропогенного забруднення є ефективним механізмом для забезпечення екологічної безпеки та сталого розвитку в умовах зростаючого антропогенного тиску на природні ресурси, зокрема через забруднення води, ґрунтів, атмосферного повітря, фрагментацію ландшафтів, а також і через воєнні дії. ОВД дозволяє систематично аналізувати екологічні ризики, потенційні наслідки провадження планованої діяльності та реалізації нових проєктів для збереження довкілля. Антропогенне забруднення не лише загрожує біорізноманіттю, а й ставить під загрозу екологічний континуїтет, що є важливим для підтримки здорових екосистем.

Для оцінки екологічних наслідків забруднення необхідна стратегія, що охоплює всі аспекти: соціальні, економічні та природні. Важливість ОВД полягає в здатності ідентифікувати інформацію не лише про ймовірні наслідки впровадження нових проєктів, а також у спроможності формувати ефективні стратегії управління природними ресурсами. В умовах глобальних екологічних проблем, таких як зміна клімату та зменшення біорізноманіття, результати цих досліджень можуть слугувати основою для прийняття рішень, що сприятимуть досягненню цілей сталого розвитку (ЦСР).

Важливість виконання досліджень у цій сфері посилюється необхідністю формування екологічної політики, інтеграції екологічних знань у процеси прийняття рішень, що відповідає принципам сталого розвитку, сприяє досягненню цілей сталого розвитку та забезпечує екологічну безпеку в умовах зростаючого антропогенного тиску.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Потенціал цілей сталого розвитку для забезпечення сталості в рамках екологічної оцінки став предметом дискусій між фахівцями-науковцями та фахівцями-практиками. Ряд таких дискусій призвів до значного інтересу в сфері інтеграції цілей сталого розвитку на різних етапах формування ОВД. Незважаючи на те, що міжнародні кейси, в яких ЦСР були інтегровані у звітність з ОВД щодо проєктів та планів, на практиці реалізація таких кейсів зменшується [1]. Багато авторів розглянули показники екологічного сліду як інструмент для оцінки екологічної стійкості, зосередилися на його систематизації для визначення прогресу на шляху до досягнення цілей сталого розвитку [2, 3]. Проведені емпіричні дослідження дали змогу зрозуміти ряд переваг ОВД для суспільства, з точки зору осіб, які приймають рішення [4]. Інші автори розглядали питання ОВД глобально, об'єднуючи впливи першого та другого порядку в системну структуру для оцінки соціальної та екологічної стійкості [5]. Проведено емпіричний аналіз, заснований на кількох тематичних дослідженнях, щоб досягти мети просування теорії про те, що екологічна оцінка сприяє сталому розвитку. Результати дослідження надали важливі емпіричні

докази на підтримку гіпотези про те, що екологічна оцінка може сприяти сталому розвитку за допомогою механізмів, які виходять за рамки результатів розвитку [6]. Науковці відзначають, що очевидне нехтування теорією ОВД не відображає брак досліджень ОВД, оскільки існує велика кількість літератури, значна частина якої зосереджена на питанні ефективності ОВД [7].

Мета статті. Метою статті є комплексний аналіз процедури оцінки впливу на довкілля як ефективного механізму забезпечення екологічної безпеки та сталого розвитку в контексті зростаючого антропогенного навантаження, з особливим фокусом на проблеми забруднення водних ресурсів, збереження біорізноманіття, підтримки екологічного континуїтету та оцінки впливу воєнних дій на екосистеми України, а також розробка практичних рекомендацій щодо вдосконалення методології ОВД з урахуванням цілей сталого розвитку.

Теоретико-методологічні основи ОВД. Оцінка впливу на довкілля – це процедура, кінцевою метою якої є надання особам, які приймають рішення, відомостей про ймовірні наслідки провадження планованої діяльності та реалізації нових проєктів. ОВД використовується на міжнародному рівні як інструмент превентивного управління навколишнім середовищем, щоб гарантувати, що запропоновані дії є економічно життєздатними, соціально справедливими та екологічно стійкими.

Протягом останніх десятиліть питання навколишнього середовища та сталого розвитку привернули значну увагу, а дослідження спрямовані на покращення управління економічним і соціальним розвитком з метою зниження та запобігання значного негативного впливу на навколишнє середовище. Сталий розвиток є результатом підвищеної глобальної свідомості щодо екологічних, соціальних та економічних питань, а також проблем, таких як бідність, гендерна нерівність, (життєва ситуація) добробут дітей для майбутніх поколінь. Розгляд таких обмежень для досягнення ЦСР потребує, окрім практичних підходів і методів, також значної глибини сприйняття, звідки походить проблема.

Із впровадженням норм Європейського Союзу в національне законодавство, процедура ОВД в Україні супроводжується активними дискусіями, в яких громадські організації акцентують увагу на виявлених недоліках у процесі реалізації цієї процедури. Ця критика, попри її гостроту, виконує позитивну функцію – спонукає до глибшого аналізу й широкого обговорення того, як можна покращити ситуацію і розв'язати проблеми, що проявилися особливо яскраво під час повномасштабного вторгнення в Україну.

Варто наголосити, що ОВД залишається головним запобіжником руйнування природних екосистем. Саме цей механізм дозволяє виявити й оцінити можливий негативний вплив різноманітних

проектів на довкілля [8]. Методологія ОВД дозволяє ідентифікувати можливу небезпеку для здоров'я населення після забруднення навколишнього середовища через аналіз промислових викидів, відходів, шуму та інших шкідливих факторів, які можуть негативно вплинути на здоров'я людини [9]. Розробка заходів для зменшення екологічного ризику сприяє підвищенню рівня безпеки та благополуччя громади. ОВД заохочує до сталого розвитку шляхом досягнення економічних цілей контролюючи та зменшуючи свій негативний вплив на навколишнє середовище [10]. ОВД допомагає переконатися, що провадження планованої діяльності не завдасть шкоди довкіллю (рис. 1).

ОВД тісно пов'язана з рядом важливих наукових та практичних завдань, оскільки, здійснити оцінку впливу на довкілля не можливо, якщо до цього не оцінити поточний стан довкілля в межах території можливого впливу від об'єкту планованої діяльності. Для цього вивчається значне інформаційне підґрунтя, яке базується на результатах науково-дослідних робіт, наукових досліджень і моніторингу екосистем та біорізноманіття. В результаті розробляються заходи з попередження, зменшення та пом'якшення негативного впливу на довкілля; пропозиції щодо екологічно безпечного функціонування планованого об'єкта.

Формування державної екологічної політики відбувається з інтеграцією аналітичного матеріалу, отриманого в процесі ОВД, що створює передумови для: запровадження науково верифікованих екологічних нормативів та стандартів; визначення стратегічних пріоритетів у сфері природоохоронної діяльності; оптимізації алокації фінансових, людських та технологічних ресурсів для розв'язання критичних екологічних проблем; а також концептуалізації та

реалізації стратегій сталого розвитку, які забезпечують збалансованість економічної ефективності, соціальної справедливості та екологічної стійкості як взаємодоповнюючих аспектів суспільного поступу.

ОВД служить не лише регуляторним механізмом для окремих проектів, а й важливим джерелом інформації для довгострокового систематичного вдосконалення національної екологічної політики. У контексті імплементації державної екологічної політики ОВД виконує забезпечує систематичну акумуляцію та комплексний аналіз емпіричних даних щодо потенційних екологічних наслідків планованої діяльності, може використовуватися для квантитативної та квалітативної оцінку ймовірних ризиків для природного середовища, стану здоров'я населення та функціонування екосистем, а на підставі проведеного аналізу розробляється комплекс превентивних, мітигаційних та компенсаторних заходів, спрямованих на нейтралізацію чи мінімізацію негативних впливів антропогенного характеру.

На практиці в процесі ОВД беруть участь різні учасники, кожен з яких по-різному сприймає те, як працює ОВД та її ефективність. Ця різноманітність точок зору пов'язана з роллю кожного учасника процесу ОВД, їхніми очікуваннями, інтересами та індивідуальними цінностями. Тут ОВД виконує функцію в контексті екологічної освіти та підвищення рівня обізнаності громадськості щодо актуальних екологічних викликів, що становить невід'ємну передумову для імплементації принципів сталого розвитку. Публічність процедури ОВД, включаючи громадські обговорення та оприлюднення документації, забезпечує транслювання науково обґрунтованої екологічної інформації всім зацікавленим сторонам. Таким чином, відбувається формування колективного розуміння екологічних наслідків планованої діяльності.



Рис. 1. Системні взаємозв'язки між екологічними, соціальними та економічними функціями ОВД

ОВД також передбачає міждисциплінарну взаємодію фахівців різних галузей, що стимулює обмін знаннями та інтеграцію екологічних підходів у різні сфери суспільної практики. Активне залучення зацікавлених сторін до обговорення екологічних аспектів проєктів сприяє формуванню екологічної свідомості та розвитку культури участі громадян у процесах прийняття екологічно значущих рішень.

Моніторинговий компонент ОВД передбачає створення комплексної системи спостережень, що функціонує на засадах безперервності, інтегративності та верифікованості даних. ОВД встановлює методологічні та процедурні рамки для реалізації післяпроєктного моніторингу, що включає відстеження динаміки екологічних параметрів, ідентифікацію відхилень від прогнозованих показників та оцінку ефективності впроваджених природоохоронних заходів (рис. 2).

Розвиток екологічних знань для сталого розвитку є важливим для сприяння діям, спрямованим на сталість. Ці дії базуються на колективних та індивідуальних пропозиціях від різних соціальних верств населення, яким необхідно знати складність проблем навколишнього середовища, щоб брати активну та відповідальну участь у пошуках сталого розвитку [11].

Саме сприяння екологічній освіті має важливе значення для підвищення грамотності населення в сфері екології та вирішення глобальних екологічних проблем. Все більше уваги приділяється екологічній освіті та екологічним проблемам в освіті менеджменту, щоб змінити ставлення людей до навколишнього середовища шляхом підвищення їхніх екологічних знань та екологічної цінності.

Громадськість природно зосереджується на проблемах з навколишнім середовищем та обирає відповідальну поведінку і захищає навколишнє середовище. Очікується, що екологічна освіта матиме вплив на знання населення про навколишнє середовище та його цінність. Очікується, що екологічні підрозділи визначать конкретні стратегії для посилення екологічно відповідальних дій громадян на основі цих результатів (рис. 3) [12].

Аналіз антропогенного забруднення в контексті ОВД. Безумовно аналіз антропогенного забруднення довкілля є центральним елементом процедури ОВД. Серед основних антропогенних факторів, що потребують детального вивчення в рамках ОВД, можна виділити: фізичні забруднення, включаючи шумове, вібраційне, електромагнітне, радіаційне, світлове, що негативно впливають на стан живих організмів та екосистем; забруднення атмосферного повітря; забруднення водних ресурсів; деградація ґрунтового покриву; фрагментація ландшафту (рис. 4).

У контексті ОВД планованої діяльності необхідно здійснювати комплексний аналіз потенційних впливів на всі компоненти довкілля, враховуючи їх взаємозв'язок та кумулятивний ефект. Особлива увага має приділятися оцінці довгострокових наслідків для екосистем, здоров'я населення та якості життя людей [13].

Забруднення водних ресурсів є одним із ключових антропогенних факторів, що потребує детального вивчення при проведенні ОВД планованої діяльності. Як видно з рис. 4, цей тип забруднення спричинений промисловими та комунальними стоками, що містять важкі метали, нафтопродукти,



Рис. 2. Функції ОВД



Рис. 3. Взаємозв'язок між екологічними знаннями та сталим розвитком



Рис. 4. Структура антропогенних впливів на довкілля

синтетичні поверхнево-активні речовини та інші токсичні сполуки, які негативно впливають на здоров'я населення та екологічні послуги.

Протягом останніх трьох десятиліть хімічне забруднення є загальною темою, про яку свідчать

дослідження підземних вод. Хоча забруднення ґрунтових вод є великою проблемою для населення, ця тема також дає чудову можливість для дослідників краще зрозуміти, яких змін зазнали водоносні горизонти, а для тих, хто приймає рішення,

зрозуміти, як ми можемо захистити як якість, так і кількість цих ресурсів [14]. Забруднення ґрунтових вод може вплинути на здоров'я людини, якість навколишнього середовища та соціально-економічний розвиток. Забруднення підземних вод також може негативно вплинути на якість земель і лісів, так у багатьох сільськогосподарських районах посушливих регіонів висока солоність ґрунтових вод є одним із основних факторів, що впливають на засолення ґрунту [15]. Хронічне забруднення ґрунтових вод може зменшити доступність прісної води, порушуючи баланс між попитом і пропозицією води та призводити до соціально-економічних криз і навіть воєн. Дефіцит води, викликаний забрудненням, може стати фактором, що спричиняє конфлікти між громадянами в майбутньому, можливо, затримуючи соціально-економічний розвиток. Забруднення підземних вод є не лише екологічною, а й соціальною проблемою [16].

Вплив антропогенного забруднення на біорізноманіття та екологічний континуїтет. Забруднення середовища негативно впливає на біорізноманіття в різних просторових масштабах як у межах спільноти, так і між спільнотою, загрожуючи виживанню видів та їх середовищу існування [17, 18].

Важливим аспектом є екологічний континуїтет, який забезпечує безперервність природних процесів у довкіллі.

В Україні реалізація проєктів з відновлення водних об'єктів стає важливим інструментом підтримки екологічного континуїтету. Такі проєкти не лише покращують стан водних ресурсів, але й сприяють відновленню цілісності ландшафтів. Одним із напрямків відновлення екологічного континуїтету є усунення штучних бар'єрів на річках з метою відновити міграційні шляхи для водних організмів та природні гідрологічні процеси [19, 20]. Проєкти ренатуралізації малих річок передбачають відновлення природного русла, усунення штучних перешкод та створення природних меандрів. Це сприяє відновленню зв'язності водних екосистем, зменшує ризик повеней та підтримує міграцію водних організмів [21]. В урбанізованих районах України впроваджуються інноваційні підходи до відновлення малих річок, що включають створення «блакитно-зелених коридорів». Такі екологічні коридори поєднують функції протиаварійного захисту, очищення води та підтримки біорізноманіття, одночасно забезпечуючи зв'язність міських екосистем [22].

Вплив воєнних дій на екосистеми України. Одним з основних екологічних наслідків війни стало руйнування інфраструктури та об'єктів, таких як електростанції, заводи та сховища хімічних речовин. Це призвело до викиду в навколишнє середовище небезпечних речовин, таких як забруднювачі та токсичні хімікати, які забруднили воду, ґрунт

і повітря, створюючи загрозу як для здоров'я людей, так і для довкілля.

Ще одним наслідком війни стало знищення середовищ існування диких тварин, таких як ліси та водно-болотні угіддя, що порушило баланс екосистем і призвело до зникнення багатьох видів рослин і тварин. Переміщення людей через конфлікт також суттєво вплинуло на навколишнє середовище за межами зони активних наземних бойових дій [23].

Вплив збройного конфлікту на екосистеми реалізується через комплекс факторів прямої та опосередкованої дії. Серед прямих факторів варто відзначити механічне пошкодження ґрунтового покриву внаслідок вибухів та руху важкої техніки, знищення рослинного покриву, пожежі, забруднення водойм та ґрунтів паливно-мастильними матеріалами, важкими металами та продуктами детонації вибухових речовин [24]. Опосередковані фактори включають порушення гідрологічного режиму територій, зміни в популяційній структурі видів, порушення міграційних шляхів тварин та фрагментацію оселищ [25].

Для оцінки екологічних збитків від військового вторгнення Росії в Україну українське профільне міністерство зосередилося на фіксації конкретних (локальних) фактів негативного впливу на довкілля, посиляючись на відповідні методики. Наприклад, оцінюється кількість пошкоджених/знищених ландшафтів, обсяг пошкодженого/вирубаного лісу, ступінь забруднення території відходами та небезпечними речовинами, в тому числі внаслідок аварій на хімічних, енергетичних та металургійних підприємствах, розливів нафти тощо. Фактично здійснюється покомпонентна оцінка збитків, завданих довкіллю війн.

Наявний масив доказів підтверджує систематичні цілеспрямовані атаки на водні об'єкти України внаслідок бойових операцій. Ці факти задокументовані у численних звітах міжнародних інституцій та науковій літературі. Проте інформація про конкретні наслідки воєнних дій для річкових та озерних екосистем залишається фрагментарною та недостатньою. Військова агресія завдала найсуттєвішої шкоди гідрологічним системам басейну Дніпра, Сіверського Донця (басейн Дону) та малих річок Приазовського регіону. Наслідки руйнування Каховської ГЕС у 2023 році демонструють масштаб екологічної катастрофи при пошкодженні критичної водної інфраструктури. Різне зниження рівня води у Каховському водосховищі та затоплення територій нижче за течією суттєво порушили гідрологічний режим Дніпра, що призвело до масової загибелі водних організмів, втрати оселищ та зміни екологічних умов на значних територіях.

Рекомендації. На основі проведеного дослідження щодо ролі оцінки впливу на довкілля як інструменту забезпечення екологічної безпеки та досягненню ЦСР виявлено необхідність удосконалення методологічних підходів з урахуванням

сучасних викликів, таких як збереження біорізноманіття, підтримка екологічного континуїтету та оцінка наслідків воєнних дій для екосистем України. Враховуючи результати аналізу, доцільно запропонувати наступні практичні рекомендації для підвищення ефективності процедури ОВД.

Рекомендації для врахування екологічного континуїтету в ОВД. На основі проведеного аналізу можна запропонувати наступні рекомендації щодо врахування екологічного континуїтету в процедурі ОВД:

Включити оцінку впливу планованої діяльності на екологічний континуїтет.

Розробити методичні рекомендації щодо про'ясування компенсаційних заходів для відновлення екологічного континуїтету в разі його порушення.

Інтегрувати оцінку впливу на біорізноманіття з оцінкою впливу на екологічний континуїтет для забезпечення комплексного підходу.

Рекомендації щодо оцінки впливу воєнних дій в рамках ОВД. Враховуючи актуальність проблеми для України, доцільно розробити спеціальні підходи до оцінки впливу воєнних дій на довкілля:

Розробити методичні рекомендації щодо оцінки забруднення факторів довкілля внаслідок воєнних дій, включаючи забруднення важкими металами та вибуховими речовинами.

Передбачити в процедурі ОВД аналіз ризиків руйнування критичної інфраструктури, що може призвести до екологічних катастроф, та розробку заходів з мінімізації таких ризиків.

Запровадити методику оцінки кумулятивного впливу воєнних дій на екосистеми різних типів.

Рекомендації щодо інтеграції цілей сталого розвитку в процедуру ОВД. Для підвищення ефективності ОВД як інструменту для досягнення ЦСР пропонуються:

Запровадити аналіз відповідності планованої діяльності цілям сталого розвитку, передусім ЦСР 13 пом'якшення наслідків зміни клімату.

Розробити систему індикаторів для оцінки внеску планованої діяльності у досягнення цілей сталого розвитку, що дозволить кількісно оцінювати позитивні та негативні впливи проєктів.

Інтегрувати оцінку екологічних ризиків у процедуру ОВД з урахуванням цілей сталого розвитку.

Сприяти розвитку екологічних знань та підвищенню екологічної свідомості всіх учасників процесу ОВД, включаючи розробників проєктів, експертів та громадськість.

Висновки. Отже, оцінка впливу на довкілля є ключовим механізмом забезпечення екологічної безпеки та сталого розвитку, особливо в умовах зростаючого антропогенного навантаження на навколишнє середовище та враховуючи руйнівний вплив воєнних дій на екосистеми, що вимагає розробки спеціальних методичних підходів та процедур. Інтеграція цілей сталого розвитку в процедуру ОВД дасть змогу підвищити ефективність цього інструменту для забезпечення екологічної безпеки та для сприяння сталому розвитку.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробці конкретних методик оцінки впливу на екологічний континуїтет, методів аналізу наслідків воєнних дій для екосистем та механізмів інтеграції цілей сталого розвитку в процедуру ОВД.

Література

1. Ravn Boess, E., Lyhne, I., & Kørnøv, L. Sustainable Development Goals in Environmental Assessment: State-of-the-art. Danish Centre for Environmental Assessment (DCEA), Aalborg University, 2021. URL: <https://dreamsproject.dk/reports/> (дата звернення 03.03.2025).
2. Roos, C., Cilliers, D.P., Retief, F.P.; Alberts, R.C., Bond, A.J. Regulators' Perceptions of Environmental Impact Assessment (EIA) Benefits in a Sustainable Development Context. *Environ. Impact Assess.* 81. 2020. 106360.
3. Барабаш, О. В., Вознюк, Я. Ю. Екологічний слід як індикатор природного капіталу екосистем. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. 2018. 1(20). С. 109–114. http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2018/1/part_1/22.pdf
4. Vanham, D., Leip, A., Galli, A., Kastner, T., Bruckner, M., Uwizeye, A., van Dijk, K., Ercin, E., Dalin, C., Brandão, M. Environmental Footprint Family to Address Local to Planetary Sustainability and Deliver on the SDGs. *Sci. Total Environ.* 693. 2019. 133642.
5. Zimek, M., Baumgartner, R.J. Systemic Sustainability Assessment: Analyzing Environmental and Social Impacts of Actions on Sustainable Development. *Clean. Prod. Lett.* 2024. 7. 100064.
6. Cashmore, M., Bond, A., Cobb, D. The Contribution of Environmental Assessment to Sustainable Development: Toward a Richer Empirical Understanding. *Environ. Manag.* 2007. 40. P. 516–530.
7. Cashmore M. The role of science in environmental impact assessment: process and procedure versus purpose in the development of theory. *Environmental Impact Assessment Review*. 2004. 24(4). P. 403-426, <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2003.12.002>.
8. Barabash, O. V., Lozova, T. M., Kozlova, T. A. Assessment of the urban environment quality in Kyiv. *Acta Carpatica*. 2018. 27. P. 5–11.
9. Barabash, O.V. Ecological hazard assessment of the atmospheric air at the urban ecosystem by the state of the deposit environment. *Proceedings of the National Aviation University*. 2019. 81(4). P. 57-63. <https://doi.org/10.18372/2306-1472.81.14602>.
10. Barabash, O.V., Pavlychenko, A.V., Waigang, G.O., Vozniuk, Y.Yu. Assessment of the efficiency of functioning of the environmental management system of enterprises. *Naukovi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2024. 5. P. 107 – 115. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-5/107>.
11. Machado M. K. Environmental Knowledge and Sustainable Development. *Encyclopedia of Sustainability in Higher Education*. URL: https://www.academia.edu/90778145/Environmental_Knowledge_and_Sustainable_Development (дата звернення 13.03.2025).

12. Alauya-Dica A., Sutthikun W., Cababat F., Dayupay J., Pham L., Oyebo O. Study the relationship between environmental knowledge and environmental values using environmental education. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*. 2022. 21. P. 77-85.
13. Barabash, O., Weigang, G., Dychko, A., Belokon, K., & Zhelnovach, G. Modeling a Set of Management Approaches for the Effective Operation of the Environmental Management System at the Business Entities. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2021. 22(6). 1-10. <https://doi.org/10.12912/27197050/141895>.
14. Li P, Karunanidhi D, Subramani T, Srinivasamoorthy K. Sources and Consequences of Groundwater Contamination. *Arch Environ Contam Toxicol*. 2021. 80(1). P. 1-10. <https://doi.org/10.1007/s00244-020-00805-z>.
15. Wu J, Zhang Y, Zhou H. Groundwater chemistry and groundwater quality index incorporating health risk weighting in Dingbian County, Ordos basin of northwest China. *Geochemistry*. 2020. 80(4). 125607. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2020.125607>.
16. Schillinger J, Özerol G, Güven-Griemert Ş, Heldeweg M. Water in war: understanding the impacts of armed conflict on water resources and their management. *WIREs Water*. 2020. 7:e1480. <https://doi.org/10.1002/wat2.1480>.
17. Li Z., García-Girón J., Zhang J., Jia Y., Jiang X., Xie Z. Anthropogenic impacts on multiple facets of macroinvertebrate α and β diversity in a large river-floodplain ecosystem, *Science of The Total Environment*. 2023. 874. 162387. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162387>.
18. Барабаш О.В. Екологія земноводних та плазунів Опілля : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук: спец. 03.00.16 – «Екологія». Чернівці, 2002. 20 с.
19. WWF removes 120-year-old obsolete dam in Ukraine to restore rivers in the Carpathian mountains. WWF. URL: <https://wwf.org/our-offices/ukraine/wwf-removes-120-year-old-obsolete-dam-in-ukraine-to-restore-rivers-in-the-carpathian-mountains> (дата звернення 04.04.2025).
20. WWF-Україна та Басейнове управління водних ресурсів річок Прут та Сірет розпочали масштабне дослідження річкових перешкод. WWF-Україна. URL: <https://wwf.ua/?12931391/wwf-ukraine-start-of-a-large-scale-study-of-river-obstacles> (дата звернення 04.04.2025).
21. На Львівщині стартував проєкт з відновлення малої річки. Держводагенство. URL: <https://davr.gov.ua/news/na-lvivtshini-startuvav-proyekt-z-vidnovlennya-maloi-richki/> (дата звернення 04.04.2025).
22. Річки у містах. Частина II: українські ініціативи. Mistosite. URL: <https://mistosite.org.ua/articles/richky-u-mistakh-chastyna-ii> (дата звернення 04.04.2025).
23. Filho W., Fedoruk M., Eustachio J., Splodytel A., Smaliychuk A., Szykowska-Jóźwik M. The environment as the first victim: The impacts of the war on the preservation areas in Ukraine, *Journal of Environmental Management*. 2024. 364. 121399 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121399>
24. Пацев І.С., Барабаш О.В., Пацева І.Г. Вплив воєнних дій на лісові екосистеми Житомирщини. *Екологічні науки*. 2023. 5 (50). С. 114–118.
25. Бондар О.І., Гандзюра В.П., Матвієнко М.Г. Вплив воєнних дій та їх наслідків на довкілля України. *Екологічні науки*. 2024. 1 (52). Том 1. С. 7-15.

ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНИЙ ФОНД УКРАЇНИ: НАСЛІДКИ РОСІЙСЬКО-УКРАЇНСЬКОЇ ВІЙНИ (2014–2025)

Патрушева Л.І.

Чорноморський національний університет імені Петра Могили
вул. Віталія Белінського, 44, 54046, м. Миколаїв
lpatruseva2@gmail.com

Автор у статті аналізує наслідки російсько-української війни (2014–2025 рр.) для природно-заповідного фонду України. Дослідження охоплює основні втрати та зміни, яких зазнали об'єкти природно-заповідного фонду у зв'язку з бойовими діями, тимчасовою окупацією та руйнуванням інфраструктури. Особливу увагу приділено впливу війни на природні заповідники, біосферні резервати, національні природні парки, регіональні ландшафтні парки, заказники та пам'ятки природи загальнодержавного значення. У роботі висвітлено факти фізичного знищення природних комплексів, забруднення територій, порушення охоронних режимів та деградацію середовища існування рідкісних і зникаючих видів флори і фауни. Наведено приклади найбільш постраждалих об'єктів природно-заповідного фонду у східних та південних регіонах України. Проаналізовано приклади найбільш постраждалих об'єктів природно-заповідного фонду, зокрема в АР Крим, Донецькій, Луганській, Херсонській, Запорізькій, Миколаївській, Київській, Сумській та Чернігівській областях. Наведено дані щодо масштабів екологічних втрат.

Автором проаналізовано та систематизовано основні чинники деградації природних комплексів, які викликані військовими діями, а саме: прильоти ракет, артилерійські обстріли, прольоти та вибухи безпілотників, мінування акваторії Чорного моря та мінування територій, пошкодження військової техніки та вилив паливно-мастильних засобів у ґрунт та потрапляння нафтопродуктів у воду, розпилювання отруйних хімічних речовин, створення фортифікацій, руйнування гідротехнічних споруд. Також автор перелічує наслідки від дій агресора: фізичне знищення видів рослин і тварин, розлякування та трансформація ареалів поширення живих організмів, трансформація природних ландшафтних комплексів, зміна водного режиму відкритих водойм та підземних водних горизонтів, забруднення атмосферного повітря, ґрунтів та водних об'єктів, знищення природоохоронної інфраструктури та матеріально-технічної бази установ природно-заповідного фонду.

Дослідження підкреслює нагальну потребу в систематичному моніторингу навколишнього середовища та комплексних зусиллях з екологічного відновлення після припинення бойових дій. У ньому наголошується, що повний масштаб шкоди навколишньому середовищу можна буде зрозуміти лише завдяки тривалому спостереженню та детальній польовій роботі після завершення операцій з розмінування. Зазначається, що бойові дії торкнулися 40,2% площі заповідників, 87,8% біосферних заповідників, 40,8% національних природних парків, 29,3% регіональних ландшафтних парків. Ці цифри підкреслюють катастрофічний вплив війни на охоронювану природну спадщину України та нагальну необхідність міжнародної співпраці та підтримки майбутніх зусиль щодо збереження. *Ключові слова:* природно-заповідний фонд, військові дії, біотичне та ландшафтне різноманіття, екологічна загроза.

Nature Reserve Fund of Ukraine: consequences of the russian-Ukrainian war (2014–2025). Patrusheva L.

The author analyzes the consequences of the Russian-Ukrainian war (2014–2025) for Ukraine's nature reserve fund. The study comprehensively covers the main losses and changes experienced by protected areas as a result of military actions, temporary occupation, and large-scale destruction of environmental infrastructure. Special attention is given to the impact of the war on nature reserves, biosphere reserves, national nature parks, regional landscape parks, sanctuaries, and natural monuments of national importance, which are vital for preserving biodiversity and maintaining ecological balance. Examples of the most affected protected areas are thoroughly analyzed, particularly in the Autonomous Republic of Crimea, Donetsk, Luhansk, Kherson, Zaporizhzhia, Mykolaiv, Kyiv, Sumy, and Chernihiv regions. Data illustrating the scale of ecological losses and environmental degradation are provided based on preliminary field studies and remote sensing methods.

The author examines and systematically categorizes the main factors causing degradation of natural complexes, such as missile strikes, artillery shelling, drone flights and explosions, mining of the Black Sea and land territories, spillage of fuels and lubricants into the soil and water bodies due to damage to military equipment, dispersion of toxic chemicals, construction of fortifications, and destruction of hydraulic structures. Additionally, the article outlines the environmental consequences of the aggressor's actions, including the physical destruction of plant and animal species, disruption and transformation of species' habitats, alteration of natural landscape complexes, changes in the hydrological regimes of surface and underground water bodies, pollution of air, soil, and aquatic ecosystems, and the destruction of conservation infrastructure and research facilities within the nature reserve network.

The study highlights the urgent need for systematic environmental monitoring and comprehensive ecological restoration efforts after the cessation of hostilities. It emphasizes that the full extent of environmental damage will only be understood through long-term observation and detailed fieldwork after demining operations are completed. Particular attention should be paid to restoring damaged ecosystems, reestablishing disrupted natural processes, and ensuring the survival of rare and endangered species. It is noted that military actions have affected 40.2% of the area of nature reserves, 87.8% of biosphere reserves, 40.8% of national nature parks, and 29.3% of regional landscape parks. These figures underline the catastrophic impact of war on Ukraine's protected natural heritage and the urgent necessity of international cooperation and support for future conservation efforts. *Key words:* nature reserve fund, military operations, biotic and landscape diversity, ecological threat.

Постановка проблеми. Російсько-українська війна, з 2014 року, а особливо з часу повномасштабного вторгнення у 2022 році, завдала значної шкоди як людському потенціалу та інфраструктурі України, так й її природному середовищу. Однією з найуразливіших сфер в умовах збройного конфлікту став природно-заповідний фонд (ПЗФ) України – система об'єктів природної спадщини, що має особливу екологічну, наукову та культурну цінність. ПЗФ відіграє ключову роль у збереженні біотичного та ландшафтного різноманіття а відповідно і виступає гарантом забезпечення здатності довкілля до самовідновлення та створення комфортних умов життєвого простору людини.

Значення ПЗФ особливо зростає в умовах екологічних викликів, зокрема екстремального антропогенного впливу – воєнних дій. Заповідні території є останнім прихистком для багатьох ендемічних, реліктових і зникаючих видів. Спеціальний режим природокористування в об'єктах ПЗФ захищає природні ландшафтні комплекси від руйнування та деградації. Екологічні дослідження, які проводять на базі заповідних територій допомагають оцінювати сучасний стан довкілля в цілому, прогнозувати та розробляти природоохоронні заходи. Таким чином, ПЗФ України є не лише охоронним механізмом, а й гарантією сталого розвитку, екологічної рівноваги та збереження природної спадщини для майбутніх поколінь, тому він потребує постійної, системної уваги та охорони.

Російська агресія спричинила прямі фізичні руйнування природних територій, порушення екосистем, знищення середовищ існування рідкісних видів, забруднення ґрунтів, води та повітря, а також унеможливила повноцінне функціонування природоохоронних установ. Значна частина територій ПЗФ опинилася в зоні бойових дій або на тимчасово окупованих територіях, що значно ускладнило ефективний контроль за їхнім станом, здійснення природоохоронної діяльності та проведення моніторингових досліджень.

Актуальність дослідження обумовлена сучасними викликами, що постають перед установами ПЗФ в умовах військового конфлікту. Активні бойові дії на території України призвели до серйозних трансформацій в економічній та соціальній сферах, а також до катастрофічних екологічних втрат. Війна має значний вплив на всі компоненти навколишнього середовища, відповідно призводить до знищення біотичного та ландшафтного різноманіття. На постраждалих територіях існує великий ризик втрати біотичних ресурсів, зникнення видів що може вплинути на стан екосистем на тривалий період. Крім того, війна ускладнює звичайну, повсякденну природоохоронну діяльність установ, змушуючи їх пристосовуватися до сучасних реалій та вирішувати невідомі раніше завдання. В умовах бойових дій або окупації повноцінна робота адміністрацій зазнала серйозного

впливу. Окуповані об'єкти повністю втратили механізм управління, а до біосферних заповідників була призначена окупаційна адміністрація.

Також здебільшого неможливим стало проведення екологічного моніторингу в об'єктах та на територіях ПЗФ через обмежений доступ, небезпеку для життя дослідників та руйнування інфраструктури. Втрата контролю над такими територіями унеможливує систематичний збір інформації про поточний стан геокомпонентів, біотичного та ландшафтного різноманіття і рівень антропогенного навантаження. Внаслідок цього порушується безперервність і систематичність моніторингових спостережень, що ускладнює оцінку просторових та часових змін, а також розуміння їх глибини (незворотності) та масштабності.

Отже, критично важливим є аналіз реальних поточних викликів. Об'єктивна оцінка обсягу руйнувань допоможе розробити та впроваджувати стратегію збереження ПЗФ під час війни та планувати заходи з його відновлення після завершення бойових дій.

Метою представленого дослідження є аналіз стану природно-заповідного фонду України в сучасних умовах для розробки механізму його збереження та відновлення у повоєнний період.

Відповідно, **об'єктом** є ПЗФ України, що зазнав впливу російсько-української війни.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Проведені дослідження мають безпосередній зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями, аналізу впливу воєнних дій на ПЗФ України та оцінки масштабів екологічних втрат. Результати представленої роботи дозволяють продемонструвати ситуацію, щодо об'єктів ПЗФ в умовах війни з 2014 до 2025 року, зрозуміти справжній масштаб екологічної катастрофи та можуть бути використаними для обґрунтування необхідності міжнародного розслідування фактів екоциду відповідно до норм міжнародного права. Комплексна інформація про сучасну ситуацію потрібна для ознайомлення європейської спільноти з реальними наслідками російської агресії та формування доказової бази для подальших судових позовів проти агресора щодо компенсації екологічної шкоди. Вона сприяє розробці підходів до моніторингу, охорони та відновлення природних територій в умовах військового конфлікту та у післявоєнний період, залучення міжнародної підтримки та фінансування на екологічну реабілітацію українських територій.

Отримані результати можуть бути використані для формування державної політики у сфері збереження біорізноманіття, інтеграції екологічних ризиків у стратегії національної безпеки та розробки міжнародних природоохоронних ініціатив, підвищення рівня екологічної безпеки та інформування громадськості про наслідки війни для довкілля..

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останні наукові дослідження, присвячені впливу війни на природно-заповідний фонд України, засвідчують масштабні екологічні втрати та численні виклики, що постали перед системою охорони природи внаслідок тривалих військових дій спочатку в межах двох адміністративних областей сходу України та АР Крим, а згодом і на всій території нашої держави. З 2014 року – від початку збройної агресії та окупації земель проблема збереження об'єктів ПЗФ в умовах війни набула особливої актуальності для державних та громадських секторів українського суспільства.

Особливу увагу стану природоохоронних територій, що опинилися в зоні бойових дій або під окупацією, приділили у своїх дослідженнях Кравченко О., Василюк О., Войціховська А., Норенко К. Їх спільна робота «Дослідження впливу військових дій на довкілля на Сході України» комплексно охоплює різні аспекти екологічних змін. Важливою складовою цього дослідження є детальна класифікація типів механічних пошкоджень, завданих різними видами озброєння природним територіям [1].

Висвітленням питань впливу воєнних дій на довкілля на сході України на початку російсько-української війни займалися учасники Міжнародної благодійної організації «Екологія-Право-Людина» [2]. Вони надають інформацію про шкоду, завдану довкіл्लю в ході активних бойових дій. Ця благодійна організація також представила результати досліджень через ДЗЗ на території НПП «Білобережжя Святослава», більша частина якого знаходиться під окупацією з березня 2022 року і єдиним способом отримання інформації про нього залишається саме дистанційний [3].

Розгорнутий аналіз різних видів мілітарного впливу на природні території представляє Українська Гельсінська спілка з прав людини [4].

Увагу на знищенні лісових масивів, забрудненні водойм та зміні міграційних шляхів тварин, що призводить до втрати біорізноманіття та руйнування екосистем приділяють Удовенко І., Мамчур В. та Сержантової Ю. у роботі «Об'єкти природно-заповідного фонду: аналіз наслідків українсько-російської війни» [5].

Які загрози несе війна біорозмаїттю об'єктів ПЗФ аналізує Роман Л.Ю. у роботі «Аналіз екологічних загроз об'єктів ПЗФ України у воєнний період» [6].

Царик Л.П., Кузик І.Р. провели детальний аналіз об'єктів ПЗФ що постраждали від війни з 2014 по 2023 рік в розрізі адміністративних областей. Вони представили розрахунки по площах окупованих ворогом територій об'єктів ПЗФ [7].

Значний інтерес представляють роботи присвячені ситуації в окремих адміністративних областях. Ситуація щодо стану ПЗФ Миколаївської області представлена у результатах досліджень Василюка О., Романенко М., Скоробогатова В. [8], Патрушевої Л.

[9, 10, 11]. Інформацію про ПЗФ Криму для Радіо Свобода надали Веселова В. та Кравченко Г. [12]. Вони констатують втрату 17 тисяч гектарів природно-заповідного фонду, на яких тепер проводиться забудова або військова діяльність. Для бойових дій проти України російські військові використовують усі можливі ресурси, у тому числі й кримські заповідники. Дослідження Залюбовської О., Залюбовського М. та Сінної О. стосуються стану заповідних територій Харківщини під час активних бойових дій. Автори виявили, що значна частина об'єктів природно-заповідного фонду зазнала руйнувань через обстріли, пожежі та мінування, що негативно вплинуло на біологічне та ландшафтне різноманіття регіону [13]. Мойсієнко І., Ходосовцев О. провели дослідження наслідків які мали місце на природоохоронюваних територіях від підризу Каховської греблі в Херсонській області [14].

Дуже цікавою є робота О. Василюка «Заповідні території та війна: дворічний досвід гуманітарної допомоги» де він розглядає вплив війни на природоохоронні території та роль волонтерської підтримки у збереженні заповідників і підкреслює важливість гуманітарної допомоги для забезпечення функціонування заповідників в умовах війни. Також дослідник зазначає, що широкомасштабне вторгнення також вплинуло на природоохоронні території у віддалених від зони бойових дій регіонах, які стали центрами для надання гуманітарної допомоги та місцями прийому переселенців [15].

Зрозуміти масштаб екологічної катастрофи яка охопила ПЗФ України буде можливо лише за умов проведення повного комплексного моніторингу стану заповідних територій. Пропозиції та перші результати щодо таких досліджень представлені в роботі Спрягайла О., Безсмертної О., Гаврилюка М., Ілюхи О., Осипенко В., Шевчика В. [16]. Дослідники запропонували механізм оцінки впливу воєнних дій на стан об'єктів природно-заповідного фонду та їхнє біорізноманіття. З комплексним аналізом наслідків україно-російської війни для стану та функціонування об'єктів ПЗФ України, визначенням основних зон ризику та розробленими рекомендаціями щодо відновлення та забезпечення їх довгострокової стабільності можна ознайомитись у роботі Удовенко І., Мамчур В., Сержантової Ю. [5].

Використання методів ДЗЗ та ГІС рекомендації для проведення безпечного моніторингу стану ПЗФ, під час війни та у повоєнний період, пропонують Бондар О.І., Фініна Г.С., Шевченка Р.Ю. [17]; Зацерковний В., Савков П., Пампуха І., Васецька К. розробили методику аналізу лісових пожеж з використанням дистанційних методів [18]. Стан біорозмаїття вивчати дистанційно дозволяють методики розроблені Козловою А, Пестовою І., Патрушевою Л., Шведенюком М. [19, 20].

Загалом, сучасні дослідження свідчать про масштабні екологічні втрати, завдані природно-заповід-

ному фонду України внаслідок військових дій, та підкреслюють необхідність розробки стратегій для відновлення та збереження цих територій у післявоєнний період.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Попри наявність досить великої кількості досліджень, присвячених впливу війни на довкілля України, ще залишаються недостатньо вивченими або лише фрагментарно висвітленими такі аспекти як:

- комплексна оцінка впливу бойових дій саме на території та об'єкти ПЗФ України в цілому, зокрема врахування специфіки різних категорій охоронюваних територій (заповідники, національні парки, заказники тощо);
- відсутність повної систематизованої типології екологічних загроз, характерних для ПЗФ у воєнний час, з урахуванням різних типів збройного впливу (артилерійські обстріли, пожежі, переміщення техніки, мінування, підтоплення);
- брак порівняльного аналізу впливу війни в динаміці – у контексті довгострокових змін 2014–2024 років;
- недостатній рівень міжнародного екологічного моніторингу та публічного доступу до відповідної інформації щодо об'єктів ПЗФ в умовах окупації чи активних бойових дій.

Запропоноване дослідження спрямоване на усунення вказаних прогалин шляхом інтеграції міждисциплінарного підходу, аналізу відкритих даних, практик міжнародного моніторингу та правового аналізу.

Наукова новизна полягає в:

- узагальненні та інтеграції даних про пошкодження об'єктів ПЗФ у різні періоди збройного конфлікту, включаючи початкову фазу російської агресії з 2014 року;
- виділенні типології загроз для ПЗФ за джерелами походження (військова техніка, вибухонебезпечні залишки, пожежі, забруднення тощо);
- залученні відкритих супутникових та дистанційних даних для оцінки просторового масштабу екологічної шкоди;
- визначенні особливо вразливих категорій ПЗФ залежно від їхнього розташування, статусу охорони та рівня антропогенного навантаження.

Методологічне або загальнонаукове значення.

Автором застосовано комплексний підхід до аналізу наслідків збройного конфлікту для ПЗФ, де поєднані методи картографування та геоінформаційного аналізу, екологічного моніторингу та правової оцінки.

Загальнонаукове значення роботи полягає у створенні нової аналітичної платформи для міждисциплінарного вивчення екологічних наслідків війни, що може бути використана в екології, географії, правознавстві, державному управлінні та безпекових студіях. Результати дослідження є основою для

розробки стратегій адаптації та реабілітації природних територій, а також для удосконалення правових механізмів захисту довкілля у зонах конфлікту.

Викладення основного матеріалу. За даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України Станом на початок 2025 року військовими діями охоплено близько 900 об'єктів природно-заповідного фонду площею понад 1,24 млн га, що становить майже третину площі ПЗФ України. Безпосереднього впливу війни зазнали об'єкти розташовані в межах АР Крим, Донецької, Луганської, Херсонської, Миколаївської, Запорізької, Харківської, Сумської, Чернігівської, Київської та Одеської областей. Залежно від характеру воєнних дій та швидкості окупації території ситуація щодо стану природоохоронних територій є дуже різною.

Найбільш тривалої дії зазнали всі об'єкти ПЗФ розташовані на території Криму. З моменту анексії у лютому 2014 року півострів почав активно використовуватися як мілітаризована зона для розгортання наступних воєнних дій, що призвело до екстремального антропогенного навантаження на природні території (траса «Таврида», «Кримський міст» тощо). Питання охорони природи, збереження ландшафтного та біотичного різноманіття новою владою не розглядалося. Екосистеми регіону поступово деградує під впливом військової інфраструктури та навчань. Використання унікальних територій для військових потреб робить їх потенційними мішенями для ЗСУ і закладає для них загрозу катастрофічного впливу у майбутньому. Це свідчить про нехтування екологічними стандартами та може мати довгострокові наслідки для природного середовища півострова.

ПЗФ окупованих районів Донецької та Луганської областей (ОРДЛО) втратили контроль, позбулися механізму що забезпечував дотримання природоохоронного режиму, зокрема від самого початку війни під її вплив потрапили відділення Луганського та Українського степового природних заповідників, національного природного парку «Меотиди», регіональних ландшафтних парків «Донецький кряж», «Зуївський», «Біловодський», крім вищеперелічених ще велика кількість дрібних об'єктів.

Загалом з 2014 до 2022 року було окуповано 36,1% площі всіх природних заповідників які діють на території України в цілому (табл. 1), також національних природних парків 0,8%, регіональних ландшафтних парків 6,4%. Ці об'єкти вже понад одинадцять років не тільки не мають природоохоронного режиму, але й перебувають під неконтрольованим, екстремальним антропогенним навантаженням.

З лютого 2022 року, з початком повномасштабної війни ситуація значно погіршується. В окупацію потрапляють 3 з 5 біосферних заповідників тобто 77,3% (табл. 1). «Асканія-Нова» та «Чорноморський» залишаються в окупації

Таблиця 1

Ситуація щодо найбільш важливих категорій об'єктів ПЗФ України з 2014 року

Категорія об'єкту	Всього		Характер впливу							
			окуповано з 2014 року		окуповано з 2022 року		звільнено		дистанційний вплив	
	га	%	га	%	га	%	га	%	га	%
Природні заповідники	212539,6	100,0	76730,6	36,1	4821,5	2,3	-	-	3893,6	1,8
Біосферні заповідники	477815,8	100,0	-	-	142562,4	29,8	226964,7	47,5	50252,9	10,5
Національні природні парки	1418083,5	100,0	10900,0	0,8	296798,7	20,9	47858,0	3,4	221947,9	15,7
Регіональні ландшафтні парки	731032,2	100,0	46747,1	6,4	45433,9	6,2	6623,0	0,9	115480,3	15,8

Таблиця 2

Об'єкти ПЗФ які не потрапили до окупації проте зазнали впливу військових дій

Область	ПЗ		НПП		РЛП		заказники		пам'ятки природи		дендропарки, зоопарки та ботсади	
	к-ть	площа, га	к-ть	площа, га	к-ть	площа, га	к-ть	площа, га	к-ть	площа, га	к-ть	площа, га
Сумська	1	882	2	39575	-	-	10	17780	3	62	-	-
Харківська	-	-	2	19558	2	1245	2	853	-	-	2	64
Чернігівська	-	-	2	40701	3	85045	12	10421	7	297	-	-
Київська	-	-	2	21850	4	11377	17	63276	2	92	1	40
Миколаївська	1	3011	1	16756	2	10908	1	1782	1	11	1	19
Донецька	1	1520	-	-	3	45531	-	-	6	156	-	-
Запорізька	-	-	1	16756	-	-	2	1783	4	102	-	-
Одеська	-	-	1	27865	1	13954	-	-	-	-	1	16

і до нині, що складає 29,8% від загальної площі всіх біосферних заповідників України. Природні заповідники «Луганський» та «Український степовий» окуповані повністю це – 38,4%. Частка площі окупованих національних природних парків становить 21,7%. Окупованими повністю лишаються: «Меотида», «Азово-Сиваський», «Приазовський», «Олешківські піски», «Джарилгацький». Частково окупованими є: «Білобережжя Святослава», «Великий луг», «Дворічанський», «Кремінські ліси», «Ниžньодніпровський». Національні природні парки «Святі гори», «Кам'янська січ» звільнено з окупації, проте їх територія знаходиться на лінії фронту, відповідно дотримання природоохоронного режиму неможливо. Національні природні парки Київської, Чернігівської та Сумської областей потрапили до нетривалої окупації у лютому-квітні 2022 року під час активного наступу ворога на початку війни, тепер вони потерпають від періодичних обстрілів.

Площа окупованих регіональних ландшафтних парків понад 12% (табл. 1). Загальна кількість окупованих повністю або частково парків становить – 19.

Крім безпосереднього перебування на території заповідних об'єктів ворожі війська можуть впливати на них дистанційно здійснюючи регулярні обстріли, нальоти безпілотників, мінуючи акваторію Чорного моря (табл. 2). Зокрема подібного впливу зазнають: Дунайський біосферний заповідник, національні природні парки «Тузлівські лимани» та «Ниžньодністровський». Якщо врахувати всі види впливу під нього потрапило: 40,2% площі природних заповідників, 87,8% біосферних заповідників, 40,8% національних природних парків, 29,3% регіональних ландшафтних парків (рис. 1). Проте ми не виключаємо впливу військових дій на всі об'єкти ПЗФ України оскільки відбуваються регулярні обстріли нашої території і будь яка заповідна територія може постраждати від прильоту ракети, безпілотника чи артилерійського снаряду.

Окремий масштабний вплив на об'єкти ПЗФ відбувся внаслідок руйнування Каховської греблі. Нище греблі хвилею зміло всіх живих істот розташованих в зоні затоплення вздовж узбережжя пониззя Дніпра, Південного Бугу, Інгульця. Вище греблі почалась

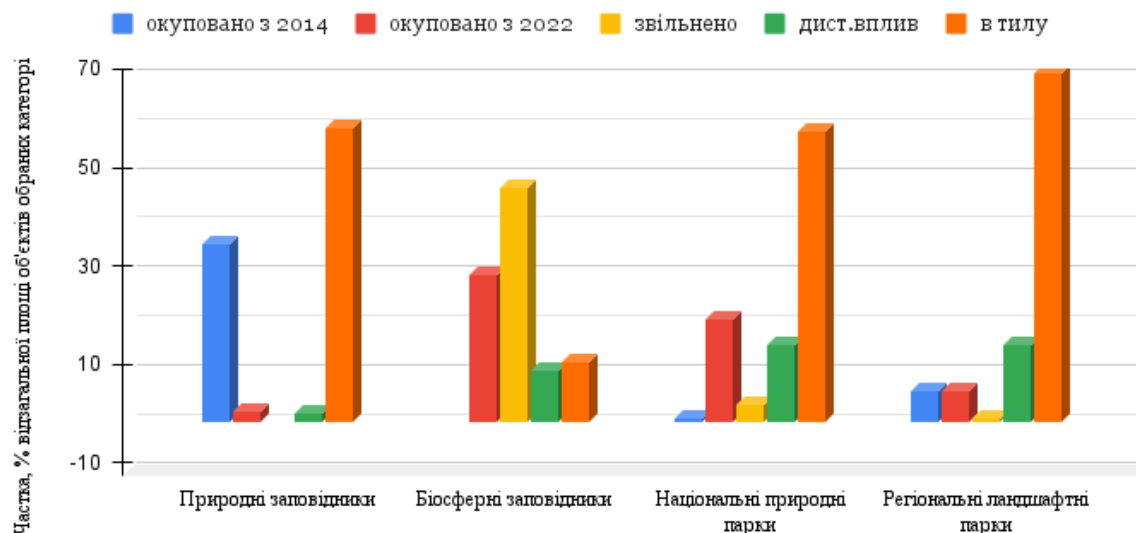


Рис. 1. Сучасна ситуація щодо найбільших об'єктів ПЗФ України

трансформація ландшафтних комплексів внаслідок відступання води та падіння рівня ґрунтових вод, крім того змін зазнав мікроклімат регіону. Ці наслідки ще проявилися не в повній мірі їх дію ми будемо спостерігати декілька десятків років.

Головні висновки. Однозначно, будь які військові дії спричиняють негативний вплив на об'єкти ПЗФ. Характер впливу може бути різним це:

1. Пряме фізичне знищення або пошкодження внаслідок проїзду важкої військової техніки. Також внаслідок прильоту ракет, падіння снарядів або літаючих засобів, пожежі. Від подібного впливу можуть постраждати як окремі організми та їх групи так і ландшафтні комплекси в цілому.

2. Забруднення території, акваторії паливно-мастильними матеріалами, рештками знищеної військової техніки; накопичення продуктів руйнування будівель; забруднення повітря внаслідок пожеж на об'єктах інфраструктури та в природних екосистемах, вибухів боєприпасів, горіння складів мінеральних добрив.

3. Зміна мікрорельєфу фортифікаційними спорудами та проходженням важкої техніки. Ці дії можуть прискорити процес водної ерозії або дефляції.

4. Порушення гідрологічного режиму внаслідок руйнування гребель, дамб, водосховищ. Зміна глибини залягання ґрунтових і підземних вод також рівня води в річках і озерах; знищення біотичного різноманіття повеневою хвилею (підлив греблі Каховського водосховища); забруднення водних ресурсів через потрапляння нафтопродуктів, важких металів.

5. Примусова міграція та загибель тварин через шумовий вплив, котрий є надзвичайно небезпечним для тварин, особливо у весняно-літній період, під час виведення потомства; тобто є чутливі види, які

перестають гніздитися, а їх місце займають чужорідні види, що характерні для порушених екосистем (наприклад, лелеки). Із ссавців поширення набуває шакал, тим паче, що для нього чимало сприятливих умов (заростання колишніх пасовищ і лук, часта загибель диких тварин і людей). Також змінювати традиційні місця існування тварини можуть внаслідок знищення кормової бази.

6. Повне або часткове пошкодження рослин та турбування тварин, зокрема, руйнування пташиних гнізд вибуховою хвилею.

7. Можлива зміна мікро та мезо клімату внаслідок спуску Каховського водосховища та будівництва керченського мосту.

8. Мінування територій та довготривала небезпека для тварин та людей. Наявність вибухонебезпечних предметів у лісах, полях, водоймах.

9. Втрата контролю над територіями і як наслідок: підвищення рівня браконьєрства та незаконного використання ресурсів.

10. Руйнування інфраструктури природоохоронних територій. Знищення адміністративних будівель, втрата матеріально-технічної бази для повноцінного функціонування установ ПЗФ.

11. Порушення неперервності та послідовності наукових досліджень і моніторингу. Втрата архівних даних через руйнування наукових центрів. Немоżliвість проведення довготривалих спостережень за станом біотичного та ландшафтного різноманіття.

12. Психологічний та соціально-економічний вплив з причини втрати робочих місць, зменшення фінансування у сфері природоохорони. Скорочення туризму, що впливає на фінансування заповідників.

Чим тривалішою є війна, тим більш масштабним стає її вплив на довкілля і обсяги екологічних втрат

будуть зростати у майбутньому. Наслідки військових дій є комплексними, багатограними та часто непередбачуваними. Реальну оцінку екологічних збитків буде можливо здійснити лише після звільнення та завершення активної фази війни на території України. Повне розуміння масштабів втрат біотичного та ландшафтного різноманіття потребуватиме кількох років системного моніторингу та аналізу змін у природних екосистемах.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження наслідків російсько-української війни для природно-заповідного фонду України можуть бути використані для формування національних програм відновлення природоохоронних територій у постконфліктний період. Отримані дані є важливою основою для розробки стратегій екологічної безпеки, включаючи заходи

з розмінування, реабілітації пошкоджених екосистем і відновлення біорізноманіття.

Результати дослідження можуть використовуватися у навчальних програмах для підготовки фахівців у сфері екології, природоохоронної діяльності, географії та земельних ресурсів. Крім того, зібрані матеріали слугуватимуть базою для подальших наукових досліджень, включаючи оцінку динаміки популяцій рідкісних видів та процесів природної суцесії.

Окрему увагу слід приділити використанню результатів дослідження для привернення уваги міжнародної спільноти до проблем збереження біотичного і ландшафтного різноманіття в умовах збройних конфліктів та для залучення донорської допомоги на проекти відновлення особливо цінних природних територій України.

Література

1. Кравченко О., Василюк О., Войціховська А., Норенко К. Дослідження впливу військових дій на довкілля на Сході України. Київ. Ун-т ім. Бориса Грінченка, 2015. Т. 2(134): Філософія. С. 118–123. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Skhid_2015_2_23
2. Більшість заповідних територій в АТО пошкоджено війною. Екологія-Право-Людина. 19.09.2018. URL: <https://epl.org.ua/environment/bilshist-zapovidnyh-terytorij-v-ato-poshkodzheno-vijnoyu/>
3. 72 пожежі. Вплив воєнних дій на територію національного природного парку «Білобережжя Святослава». *Екологія-Право-Людина*. 15.03.2024. URL: <https://epl.org.ua/announces/72-pozhezhi-vplyv-voyennyh-dij-na-terytoriyu-natsionalnogo-pryrodnogo-parku-biloberezhzhya-svyatoslava/>
4. На межі виживання: знищення довкілля під час збройного конфлікту на сході України / А. Б. Блага, та ін. ; ред. А. Буценка / Українська Гельсінська спілка з прав людини Київ, 2017. 88 с. URL: <https://helsinki.org.ua/wp-content/uploads/2017/06/Na-mezhi-vyzhyvannya.pdf>
5. Удовенко І. О., Мамчур В. В., Сержантова Ю. Ю. Об'єкти природно-заповідного фонду: аналіз наслідків українсько-російської війни. *Український журнал природничих наук*, 2023. вип. 5. С. 126–139. URL: <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.5.2023.14>
6. Роман Л.Ю. Аналіз екологічних загроз об'єктів ПЗФ України у воєнний період. *Екологічні науки : науково-практичний журнал*. 2022. – № 3(42). С. 84–88. URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.3-42.13>
7. Царик Л. П., Кузик І. Р. Російсько-українська війна: природоохоронний аспект. *Фундаментальні ментально-ціннісні відмінності українців і росіян як підґрунтя їх цивілізаційного протистояння*: колективна монографія. Одеса : Олді+, 2023. С. 50–62. URL: <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/29010>
8. Поствоєнний розвиток природно-заповідного фонду Миколаївщини. – Миколаїв – Київ – Чернівці : Друк Арт, 2023. Серія: «Conservation Biology in Ukraine». – Вип. 33 – 224 с.
9. Патрушева Л.І. Природно-заповідний фонд Миколаївської області під час війни та у повоєнний період. *Екологічні науки : науково-практичний журнал*. К.: Видавничий дім «Гельветика», 2023. – № 3(48). С. 116–121. URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.3-48.18>
10. Патрушева Л.І. Розширення природного заповідника «Сланецький степ» – ландшафтний аспект. *Могилянські читання – 2024 : досвід та тенденції розвитку суспільства в Україні : глобальний, національний та регіональний аспекти*. Природничі науки : XXVII Всеукр. наук.-практ. конф. : 6–10 листоп. 2024 р., м. Миколаїв: Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2024. С. 8 – 10.
11. Olga Liubitseva, Zhanna Buchko, Larysa Patrusheva, Iryna Kochetkova Resource losses to Ukrainian tourism caused by full-scale Russian aggression. *Studies of the Industrial Geography Commission of the Polish Geographical Society*. 37(4), 2023. С. 103–125 URL: <https://doi.org/10.24917/20801653.374.7>
12. Природні території Криму: що змінилося за часів окупації. Центр журналістських розслідувань. 22.07.2021. URL: https://investigator.org.ua/ua/investigations/235706/#inbox/_blank
13. Залюбовська, О., Залюбовський, М., & Сінна, О. Природно-заповідний фонд Харківської області в умовах воєнних дій. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. 2023. – № 38. С. 7–16. URL: <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2023-38-01>
14. Мойсієнко І.І., Ходосовцев О. Є., Василюк О.В. та ін. Наслідки російського теракту на Каховській ГЕС для дикої природи. *Збірка наукових праць за матеріалами всеукраїнського круглого столу, присвяченого 160-й річниці з дня народження Фрідріха Фальц-Фейна*. – Чернівці : Друк Арт, 2023. Серія: «Conservation Biology in Ukraine». Вип. 32. С. 151–157. URL: https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2023/10/tradycziyi_-2023_compressed.pdf
15. Василюк О. Заповідні території та війна: дворічний досвід гуманітарної допомоги. *Ukraine War Environmental Consequences Work Group*. 30.12.2024. URL: <https://uwecworkgroup.info/uk/protected-areas-and-war-two-years-of-humanitarian-aid/>

16. Спрягайло О.В., Безсмертна О.О., Гаврилюк М.Н. та інші. Перші кроки до оцінки впливу воєнних дій на стан об'єктів природно-заповідного фонду та їхнє біорізноманіття. *Екологічні науки : науково-практичний журнал*. 2023. – № 6(51). С. 142-147. URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.23>
17. Бондар О.І., Фінін Г.С., Шевченко Р.Ю. Екологічні виклики воєнного часу: оцінка впливу на довкілля космічними системами дистанційного зондування та GPS-навігації. *Екологічні науки : науково-практичний журнал*. 2022. – № 4(43). С. 40-49. URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.7>
18. Зацерковний В., Савков П., Пампуха І., & Васецька К. Застосування технологій ГІС та ДЗЗ в задачах моніторингу лісових пожеж. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Військово-спеціальні науки*, 2020. -№ 2(44). С. 54–58. URL: <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2020.44.54-58>
19. Kozlova A., Piestova I., Patrusheva L. Estimation of the seasonal leaf area index in urban oak forests using Sentinel-2 time series data. *European Association of Geoscientists & Engineers*, 10 May 2019. P. 1–5. URL: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902134>
20. Kozlova, A., Stankevich, S., Svideniuk, M., & Andreiev, A. (2021). Quantitative Assessment of Forest Disturbance with C-Band SAR Data for Decision Making Support in Forest Management. *Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making*. 23 July 2021. P.548–562. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-82014-5_37

ВІДНОВЛЕННЯ ДЕГРАДОВАНИХ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ ВНАСЛІДОК БОЙОВИХ ДІЙ В УМОВАХ ЗМІН КЛІМАТУ

Пацева І.Г., Кагукіна А.М.

Державний університет «Житомирська політехніка»

вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир

rig@ztu.edu.ua

Стаття присвячена комплексному дослідженню впливу кліматичних змін та воєнних дій на лісові екосистеми, з особливим акцентом на методи їх відновлення. Проаналізовано синергетичний ефект двох потужних антропогенних факторів: глобальних кліматичних змін та збройних конфліктів, по причині яких суттєво деградує лісові масиви. Дослідження розкриває масштабні екологічні виклики сучасності. Зокрема, показано, що зміни клімату призводять до зростання середньорічних температур, трансформації режимів опадів, посилення екстремальних погодних явищ. Військові дії спричиняють безпосередні руйнування лісових екосистем. Відбуваються масштабні пошкодження ландшафтів, забруднення ґрунтів і водойм, порушення біорізноманіття. Запропоновано комплексні стратегії відновлення лісових екосистем, які включають природне та штучне лісорозведення, ремедіацію ґрунтів, використання мікробних грибів, фіторемердіацію, агролісомеліоративні заходи та постійний моніторинг. Особливу увагу приділено методам адаптивного управління лісовими ресурсами, здатним забезпечити стійкість екосистем в умовах кліматичних змін та поствоєнної деградації. Підкреслено важливість міждисциплінарного підходу, інтеграції наукових знань та інноваційних рішень. Відновлення лісів розглядається як стратегічне завдання, що виходить за межі локальних екологічних проблем. Це crucial внесок у збереження біорізноманіття, пом'якшення кліматичних змін, забезпечення екологічної безпеки та виконання міжнародних природоохоронних зобов'язань. Дослідження демонструє, що ефективна реабілітація лісових екосистем потребує комплексних, адаптивних стратегій, які поєднують наукові інновації, технологічні рішення та широку суспільну підтримку. *Ключові слова:* лісові екосистеми, кліматичні зміни, зміна клімату, воєнні дії, екологічна деградація, лісовідновлення, біорізноманіття, ремедіація ґрунтів, адаптивне управління, фіторемердіація, екологічна безпека, постконфліктна реабілітація, моніторинг довкілля.

Restoration of degraded forest ecosystems as a result of hostilities in the context of climate change. Patseva I., Kahukina A.

The article is devoted to a comprehensive study of the impact of climate change and military operations on forest ecosystems, with a special emphasis on methods of their restoration. The author analyses the synergistic effect of two powerful anthropogenic factors: global climate change and armed conflicts, which are causing significant degradation of forests. The study reveals the large-scale environmental challenges of our time. In particular, it shows that climate change is leading to an increase in average annual temperatures, transformation of precipitation patterns, and intensification of extreme weather events. Military operations cause direct destruction of forest ecosystems. Large-scale landscape damage, soil and water pollution, and biodiversity disruption are occurring. Comprehensive strategies for the restoration of forest ecosystems are proposed, including natural and artificial reforestation, soil remediation, the use of microbial fungi, phytoremediation, agroforestry measures and continuous monitoring. Particular attention is paid to the methods of adaptive forest management that can ensure the sustainability of ecosystems in the face of climate change and post-war degradation. The importance of an interdisciplinary approach, integration of scientific knowledge and innovative solutions is emphasised. Forest restoration is seen as a strategic task that goes beyond local environmental issues. It is a crucial contribution to biodiversity conservation, climate change mitigation, environmental safety and fulfilment of international environmental obligations. The study demonstrates that effective rehabilitation of forest ecosystems requires integrated, adaptive strategies that combine scientific innovation, technological solutions and broad public support. *Key words:* forest ecosystems, climate change, climate change, military operations, environmental degradation, reforestation, biodiversity, soil remediation, adaptive management, phytoremediation, environmental security, post-conflict rehabilitation, environmental monitoring.

Постановка проблеми. Лісові екосистеми підтримують біорізноманіття, сприяють збереженню водних ресурсів, захищають ґрунти від ерозії та опустелювання, а також мають надзвичайно високу соціально-економічну цінність. Однак в останні десятиліття лісові екосистеми зазнають безпрецедентного тиску внаслідок дії двох потужних антропогенних факторів – глобальних кліматичних змін та збройних конфліктів. Масштабні зміни кліматичних умов проявляються у вигляді зростання середньорічних температур, зміни режиму опадів, посилення частоти та інтенсивності екстремальних погодних явищ, що суттєво впливає на структуру, продуктивність

та стійкість лісових екосистем. Паралельно з цим, збройні конфлікти завдають миттєвої та довготривалої шкоди лісовим масивам через безпосередні механічні пошкодження від вибухів, пожеж, використання важкої техніки, а також через забруднення ґрунтів та водойм хімічними речовинами та важкими металами. Війна завдає шкоди не лише людським життям, а й екосистемам, які страждають від обстрілів, ракетних ударів та мінування. Деякі райони залишаються зоною бойових дій, тоді як інші перебувають під окупацією або потребують розмінування [1].

Синергетичний вплив цих факторів призводить до прискореної деградації лісових екосистем, зни-

ження їхньої здатності до саморегуляції та самовідновлення, що вимагає розробки специфічних підходів до реабілітації таких територій. Особливо гострою ця проблема є для України, оскільки її території зазнають активних бойових дій, традиційні методи лісовідновлення можуть бути недостатньо ефективними в умовах комплексного порушення екологічних функцій лісів.

Актуальність дослідження впливу кліматичних змін на лісові екосистеми та розробки методів відновлення деградованих внаслідок бойових дій лісів обумовлена низкою взаємопов'язаних глобальних та локальних факторів.

Посилення кліматичних змін та їх вплив на ліси є єдиним з найсерйозніших екологічних проблем сучасності. Ці зміни спричиняють міграцію видів, порушення фенологічних циклів рослин і тварин, а також сприяють збільшенню спалахів шкідників і хвороб, які загрожують здоров'ю лісів. Втрата лісових екосистем є ще одним наслідком цих змін, з 1990 року через зміну землекористування зникло близько 420 мільйонів гектарів лісів, і кліматичні фактори лише сприяють цьому процесу.

Різні кліматичні загрози, де більший вплив на природні екосистеми, зокрема ліси, мають збройні конфлікти. протягом останніх десятиліть кількість внутрішньодержавних та міждержавних збройних протистояння суттєво зростає. Наслідки цих подій для природного середовища часто залишаються поза увагою, хоча вони мають катастрофічний вплив на ліси. таким чином, за перший рік повномасштабного вторгнення Росії в Україну, за оцінками українських екологів, було пошкоджено або знищено понад 450 тисяч гектарів лісових масивів різного ступеня. Військові дії супроводжуються пожежами, забрудненням ґрунтів і води, знищенням біорізноманіття, а також створюють значні перешкоди для природного відновлення лісів.

З огляду на ці виклики, традиційні методи відновлення лісів виявляються недостатньо ефективними, після чого не враховують комплексний вплив як зміни клімату, так і наслідків військових дій. Це вимагає розробки нових наукових підходів та практичних рекомендацій, які дозволяють ефективно відновлювати деградовані лісові екосистеми з урахуванням прогнозованих змінних кліматичних умов та специфіки пошкоджень, заподіяних бойовими діями. Одним із ключових напрямів є інтеграція адаптаційних стратегій до зміни клімату та механізмів постконфліктного відновлення, що дозволить забезпечити довготривалу стабільність лісових ландшафтів.

Важлива роль у цьому процесі відбувається та відновлення лісів як одного із збереження головних природних механізмів стабілізації клімату. Ліси щорічно поглинають близько 2,6 млрд тонн CO₂, що становить приблизно 30% загальних антропогенних викидів. Таким чином, відновлення деградованих лісових екосистем є одним із найефективніших

природних рішень для пом'якшення наслідків зміни клімату. Незалежного екологічного значення, реабілітація пошкоджених лісових екосистем має суттєвий соціально-економічний ефект, особливо для регіонів, що постраждали від збройних конфліктів. Відновлені ліси забезпечують місцеве населення недревними лісовими продуктами, сприяють розвитку рекреаційного туризму та створюють нові робочі місця у сфері лісового господарства та суміжних галузей. Це є елементом постконфліктної відбудови економіки покращуючи добробут населення.

При значній кількості досліджень щодо впливу кліматичних змін на ліси та екологічних наслідків збройних конфліктів, комплексний науковий підхід до проблеми відновлення лісових екосистем, які зазнали одночасного впливу обох факторів, залишається недостатньо розробленим. Виникає гостра необхідність у створенні методологічних основ та практичних рекомендацій, що інтегрують знання з лісової екології, кліматології, ґрунтознавства та соціально-економічних наук. Лише завдяки такому підходу можна розробити ефективні стратегії відновлення, які забезпечать довготривалу екологічну стабільність та соціально-економічний розвиток постраждалих територій.

Відновлення лісів у сучасних умовах є складним, багатофакторним процесом, що потребує злагодженої співпраці міжнародних організацій, науковців, урядів та місцевих громад. Лише завдяки комплексному підходу, який з можливістю компенсації екологічних, соціальних та економічних аспектів, ефективно реагувати на сучасні виклики та забезпечити сталий розвиток лісових екосистем у майбутньому.

Таким чином, дослідження впливу змін клімату на ліси та методів відновлення деградованих лісових екосистем внаслідок бойових дій має високу наукову, екологічну та соціально-економічну значущість. Розробка та впровадження інноваційних підходів до відновлення таких лісів сприятиме не лише збереженню біорізноманіття та пом'якшенню кліматичних змін, але й забезпеченню сталого розвитку постконфліктних територій, підвищенню якості життя місцевого населення та виконанню міжнародних зобов'язань України у сфері охорони навколишнього середовища та кліматичної політики.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблема впливу кліматичних змін на лісові екосистеми та їх відновлення після воєнних дій є предметом широкого наукового вивчення в останні десятиліття. Різні аспекти цієї комплексної проблеми досліджували як вітчизняні, так і зарубіжні науковці. Фундаментальні дослідження впливу глобальних кліматичних змін на ліси представлені працями міжнародної групи кліматологів та екологів. Колектив науковців [2] провели масштабне дослідження впливу збройних конфліктів на різні екосистеми, включаючи лісові масиви. Війни завдають значної шкоди довкіллю, впливаючи на ландшафти, якість

грунту, повітря та воду. Необхідне впровадження передових практик для збереження довкілля та сталого розвитку. Темпи антропогенної зміни клімату значно перевищують ті, до яких лісові екосистеми, в яких переважають нерухомі довгоживучі організми, здатні адаптуватися. Деадаптація лісів, що виникає в результаті, має потенційно згубний вплив на функціонування екосистем [3]. В дослідженні науковців [4] йдеться про те, як зміна клімату впливає на лісову екосистему. Зміни клімату впливають на всі прямі та непрямі зміни та зрушення в екосистемах. Лісові пожежі також порушують нашу лісову екосистему, порушуючи дику природу, середовище існування, збільшуючи та зменшуючи кругообіг поживних речовин і смертність особин. Частота дерев, розмір, сезонність, інтенсивність через пожежу швидше розмножуються шкідники та збудники. Вони розширюють свій ареал і вторгаються в нові регіони в тепліших, вологіших або збагачених вуглекислим газом умовах. Через застосування боєприпасів і ракет, знищення техніки в лісах та зведення фортифікаційних споруд виникають пожежі, пошкоджуються рослини, порушується ґрунтовий шар, а лісові екосистеми забруднюються залишками техніки, боєприпасів, вибухонебезпечними предметами, хімічними речовинами та побутовими відходами [5]. Дослідження [6] наголошує на важливості комплексного підходу до протипожежного захисту лісових екосистем, особливо в умовах зміни клімату та зростання антропогенного впливу. Основними аспектами є профілактика, моніторинг, оперативне реагування та післяпожежне відновлення. Запобігання пожежам передбачає розчищення територій, створення проти-

пожежних смуг, інформаційні кампанії, обмеження в'їзду транспорту та заборону розведення вогню у пожежонебезпечні періоди.

Викладення основного матеріалу. Зміни клімату мають значний вплив на ліси. Збільшення температури повітря прискорює випаровування вологи, змінює сезонність росту дерев та підвищує ризик лісових пожеж. Нерівномірний розподіл опадів може спричиняти посухи або надмірне зволоження ґрунту, що негативно позначається на здоров'ї лісів. Теплі зими сприяють розмноженню комах-шкідників та патогенних мікроорганізмів, що знижує стійкість дерев. Зміни клімату можуть посилювати ерозійні процеси, особливо в деградованих лісах. Особливо вразливими до змін клімату є монокультурні лісові насадження, які домінують у багатьох регіонах України.

Бойові дії завдають значних руйнувань лісовим екосистемам через пряме знищення дерев внаслідок вибухів, пожеж та технічних пошкоджень. Відбувається забруднення ґрунтів та води важкими металами, нафтопродуктами та іншими токсичними речовинами. Відбувається порушення ґрунтового покриву та деградація біорізноманіття. Через зміни в середовищі існування є ризик втрати лісової фауни.

Обсяги лісовідновлення в Житомирській області за період з 2019 по 2023 рр. демонструють нестабільну динаміку (Рис. 1). Найбільші обсяги робіт з відновлення лісів припадають на 2021 рік. Відновлення деградованих лісових екосистем є ключовим завданням для збереження біорізноманітності, підтримки екологічної рівноваги та забезпечення сталого використання природних ресурсів. Одним із

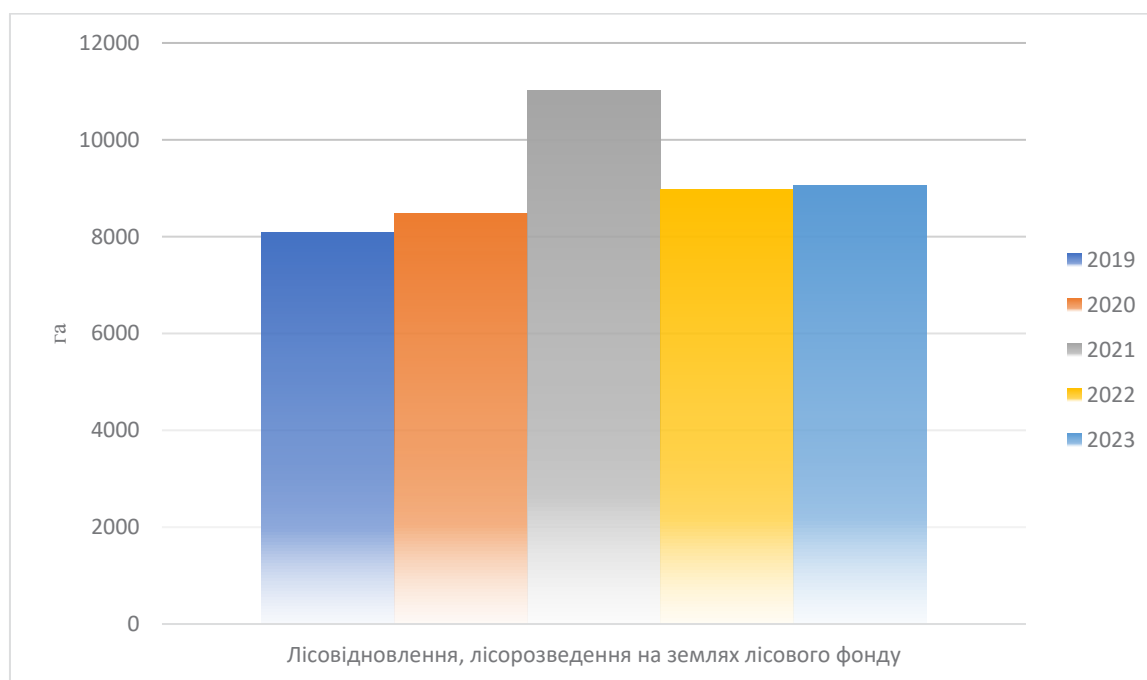


Рис. 1. Динаміка лісовідновлення та створення захисних лісонасаджень [7]

найефективніших методів є природне лісовідновлення, яке передбачає сприяння самовідновленню лісів. Це можливо завдяки збереженню існуючих здорових дерев, які обслуговують джерела середовища та сприяють відтворенню природного рослинного покриву. Також важливим аспектом є контроль за розповсюдженням інвазійних видів, які можуть пригнічувати природну регенерацію та витіснити місцеві породи дерев.

Також є ефективним штучне лісовідновлення. Цей метод включає висаджування місцевих видів дерев та чагарників, які найкраще адаптовані до змінених екологічних умов. Для територій, постраждалих від бойових дій, рекомендується створення мішаних лісових насаджень із переважанням стійких до кліматичних змін видів. Наприклад, у зоні мішаних лісів доцільно збільшувати частку дуба звичайного, клена гостролистого та липи серцелистої, які мають вищу посухостійкість порівняно з традиційними для цього регіону сосною звичайною та ялиною європейською [8].

Особливу роль у цьому процесі використовує використання мікробних грибів, які створюють симбіотичні зв'язки з корінням молодих дерев, сприяючи їх швидкому зростанню та підвищенню стійкості до стресових факторів довкілля. Ще одним напрямком є ремедіація та рекультивація ґрунтів, які зазнали деградації або забруднення. Для очищення таких територій використовують різні методи, зокрема видалення важких металів та інших токсичних речовин. Одним із найбільших екологічних способів є фітoremедіація – використання спеціальних рослин, які здатні поглинати та накопичувати забруднюючі речовини, тим самим сприяючи відновленню родючості ґрунтів. Наприклад, верба козяча (*Salix caprea*) та береза повисла (*Betula pendula*) ефективно акумулюють свинець, кадмій та цинк, а тополя тремтяча (*Populus tremula*) добре поглинає нафтопродукти. На територіях з високим рівнем забруднення важкими металами може застосовуватися хімічна іммобілізація забруднюючих речовин шляхом внесення спеціальних сорбентів на основі цеолітів, які зв'язують токсичні елементи та зменшують їх біодоступність. Цей метод дозволяє швидко знизити токсичність ґрунту та створити умови для початку біологічної рекультивації.

Для ділянок з механічними пошкодженнями ґрунтового покриву внаслідок вибухів, руху важкої техніки або створення окопів та інших фортифікаційних споруд необхідною є технічна рекультивація, яка включає вирівнювання поверхні, усунення воронки та інших пошкоджень ландшафту. Після цього проводиться біологічна рекультивація, що передбачає висівання травосумішей для швидкого закріплення ґрунтового покриву та попередження ерозії. Особливо ефективними є сумішки бобових трав (конюшина лучна, люцерна посівна) з злаковими (костриця лучна, тимофійка лучна), які не

лише закріплюють ґрунт, але й збагачують його азотом.

Запобігання ерозії та покращення водного режиму також є невід'ємною складовою комплексного відновлення лісових екосистем. Для цього впроваджуються агролісомеліоративні заходи, зокрема створення вітрозахисних смуг, що зменшують вітрову ерозію та підтримують сприятливий мікроклімат. Крім того, будівництво водорегулюючих споруд дозволяє контролювати рівень обґрунтованих вод, запобігаючи як підтопленню, так і пересиханню лісових масивів.

Ефективним методом захисту відновлюваних лісових насаджень від пожеж є створення системи протипожежних бар'єрів. Вони включають мінералізовані смуги шириною 2–4 м, які розділяють лісові масиви на блоки площею не більше 50 га. Для територій з високим ризиком пожеж рекомендується також створення протипожежних розривів шириною до 100 м, засаджених листяними породами дерев, які мають нижчу займистість порівняно з хвойними.

Нарешті, важливу роль у процесі відновлення лісів здійснює моніторинг та адаптація лісогосподарських практик до змін клімату та сучасних викликів, зокрема післявоєнного відновлення території. Використання супутникових та наземних методів моніторингу дозволяє оперативно оцінювати стан лісових територій і тимчасово здійснити деякі заходи.

Супутниковий моніторинг з використанням технологій дистанційного зондування Землі дозволяє виявити осередки всихання лісів, оцінити ступінь їх ураження шкідниками або хворобами та визначити території, що потребують термінового втручання.

Для посилення адаптаційного потенціалу лісових екосистем в умовах кліматичних змін рекомендується впровадження практики адаптивного лісового господарства. Цей підхід передбачає гнучке реагування на зміни кліматичних умов шляхом коригування видового складу насаджень, застосування нових технологій лісовирощування та використання прогностичних моделей для планування лісогосподарських заходів.

Гнучкість у підходах до ведення лісового господарства сприяє пристосуванню до нових екологічних умов, забезпечуючи ефективне та довготривале відновлення деградованих лісових екосистем.

Важливо підкреслити, що відновлення лісів має здійснюватися з урахуванням прогнозованих змін клімату [9], оскільки насадження, створені сьогодні, повинні бути життєздатними та стійкими в умовах майбутнього клімату.

Головні висновки. Відновлення лісових екосистем після бойових дій є складним і довготривалим процесом, який потребує комплексного підходу. Зміни клімату лише посилюють виклики, тому ефективна стратегія має включати як природні, так і штучні методи відновлення. Особливо важливо

забезпечити екологічну рівновагу та збереження біорізноманіття для стійкості майбутніх лісових насаджень. Відновлення лісів є не лише технічним завданням, а комплексним викликом, що потребує міждисциплінарного підходу, інтеграції наукових знань та впровадження інноваційних рішень. Зростання антропогенного впливу та глобальні кліматичні зміни пришвидшують деградацію лісових екосистем, значно перевищуючи їх природні адаптаційні можливості. Важливо усвідомлювати, що відновлення лісів є не лише локальним екологічним

завданням, а й внеском у збереження біорізноманіття, пом'якшення наслідків кліматичних змін та виконання міжнародних екологічних зобов'язань.

Процес відновлення лісових екосистем є надзвичайно складним і багатовимірним. Його успішність залежить від поєднання наукового підходу, технологічних інновацій та широкої суспільної підтримки. Лише через комплексні, адаптивні стратегії можливо забезпечити екологічну стабільність, сприяти соціально-економічному розвитку та сформувати стійкі лісові ландшафти майбутнього.

Література

1. Пацев І.С., Барабаш О.В., Пацева І.Г. Вплив воєнних дій на лісові екосистеми житомирщини. *Екологічні науки*. 2023. № 5(50). С. 114-118.
2. Hailemariam Meaza, Tesfaalem Asfaha, Jan Nyssen, Zbelo Tesfamariam, Biadigligh Demissie, J. Poesen, Misgina Abrha, Teklehaymanot Weldemichel, Seppe Deckers, Desta Gidey, Matthias Vanmaercke. Managing the environmental impacts of war: What can be learned from conflict-vulnerable communities? *Science of The Total Environment*. 2024. 927. 171974. DOI:10.1016/j.scitotenv.2024.171974.
3. Dominik Thom, Werner Rammer, Rupert Seidl. Disturbances catalyze the adaptation of forest ecosystems to changing climate conditions. *Global Change Biology*. 2016. Volume23, Issue1. Pages 269-282. <https://doi.org/10.1111/gcb.13506>
4. Asma Fayaz, Palak Chaudhary, Siya Mankotia. Impacts of Climate Change on Forest Ecosystem Dynamics and Management Strategies. *International Journal of Environment and Climate Change*. 2025. 15(1). P.273-286. DOI: 10.9734/ijec/2025/v15i14691
5. Кузик А. Д., Товарянський В. І. Вплив воєнних дій на лісові екосистеми України та їх післявоєнне відновлення. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2023. № 27. С. 16-22.
6. Лозінська Т.П., Ситник О.С., Велика К.І. Огляд і аналіз основних аспектів протипожежного захисту лісових екосистем в умовах сьогодення. *Агробіологія*. 2024. № 2. С. 144-153.
7. Регіональні доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні. URL: <http://surl.li/hfgsf> (дата звернення: 28.03.2025).
8. Melnyk-Shamrai, V., Shamrai, V., Patseva, I., Patsev, I. The influence of the accident at Chernobyl nuclear power plant on the condition of pine plantations of Ukrainian forests. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2024. Vol. 1415. P. 012104. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1415/1/012104>
9. Пацева І.Г., Кагукіна А.М., Луньова О.В. Тенденції зміни клімату Житомирщини. *Екологічні науки*. 2023. Вип. 6(51). С. 156-159.

ЕКОЛОГО-ГІГІЄНІЧНА ОЦІНКА ВПЛИВУ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ВОДОПОСТАЧАННЯ НАСЕЛЕНОГО ПУНКТУ (НА ПРИКЛАДІ М. КИЇВ)

Старжинський П.С., Жукова О.Г.

Київський національний університет будівництва та архітектури
пр. Повітряних сил, 31, 03037, м. Київ
pavlostarzhynskyi@gmail.com, elenazykova21@gmail.com

Навесні 1871 року в місті Києві було введено в експлуатацію перший централізований водогін, джерелом водопостачання якого стала річка Дніпро. На початковому етапі функціонування водопровідна система не мала належних фільтраційних установок, тому вода надходила до споживачів каламутною, з органічними домішками та навіть із дрібною рибою. Проте із часом запровадження відповідних технологій очищення сприяло значному підвищенню якості води та безпечному її використанню мешканцями столиці.

Водночас у сучасних умовах повномасштабної воєнної агресії з боку Російської Федерації система водопостачання Києва зазнає безпрецедентних викликів. Масштабні пошкодження елементів критичної інфраструктури, потенційні обстріли очисних споруд, а також екологічні наслідки бойових дій – усе це призводить до істотного погіршення якості води та зростання загроз для здоров'я населення. Зокрема, моніторингові дані свідчать про зниження вмісту розчиненого кисню у воді, підвищення концентрації хлоридів, фосфатів, амонійного азоту, а також виявлення слідів важких металів, нафтопродуктів та інших токсичних речовин, пов'язаних з бойовими діями.

У статті представлено результати комплексної еколого-гігієнічної оцінки сучасного стану водопровідної мережі Києва та якості води з основних джерел водозабору. Проведений аналіз виявив низку недоліків в існуючій системі водопідготовки, що не відповідає умовам підвищеної техногенної та воєнної небезпеки. Обґрунтовано необхідність модернізації інфраструктури водопостачання з урахуванням сучасних екологічних викликів, зокрема: впровадження інноваційних технологій очищення, створення розмежованих систем технічного і питного водопостачання, забезпечення резервних джерел водозабору, а також формування системи водної безпеки на випадок надзвичайних ситуацій. Результати дослідження можуть бути використані для розробки стратегій збереження водних ресурсів і підвищення екологічної безпеки в умовах воєнного часу. *Ключові слова:* екологічна безпека, питна вода, водопостачання, Київ, річка Дніпро, військові дії, водозабір, водопідготовка, хімічне забруднення, важкі метали, інфраструктура, моніторинг, водна безпека, очищення води.

Environmental and hygienic assessment of the impact of military operations on drinking water supply quality indicators in urban settlements (case study: Kyiv). Starzhynskyi P., Zhukova O.

In the spring of 1871, the first centralized water supply system was launched in the city of Kyiv, with the Dnipro River as its primary source. At the initial stage of operation, the water supply system lacked proper filtration facilities, resulting in turbid water with organic matter and even small fish reaching consumers. However, over time, the introduction of appropriate purification technologies significantly improved water quality and made it safe for consumption by city residents.

In contrast, under the current conditions of full-scale military aggression by the Russian Federation, Kyiv's water supply system faces unprecedented challenges. Large-scale damage to critical infrastructure, potential shelling of water treatment facilities, and the environmental consequences of hostilities have all led to a significant deterioration in water quality and increased risks to public health. Monitoring data indicate a decrease in dissolved oxygen levels, an increase in the concentration of chlorides, phosphates, and ammonium nitrogen, as well as the presence of heavy metals, petroleum products, and other toxic substances linked to combat activities. This article presents the results of a comprehensive ecological and hygienic assessment of the current state of Kyiv's water supply network and the quality of water from key intake sources. The analysis revealed a number of shortcomings in the existing water treatment system, which does not meet the requirements of increased technogenic and wartime hazards. The need to modernize the water supply infrastructure in light of current environmental challenges is substantiated. In particular, the implementation of innovative purification technologies, the establishment of separate systems for technical and drinking water, the provision of backup water sources, and the development of a comprehensive water safety system for emergency situations are recommended. The study results may serve as a basis for developing strategies to preserve water resources and enhance environmental safety during wartime. *Key words:* environmental safety, drinking water, water supply, Kyiv, Dnipro River, military actions, water intake, water treatment, chemical pollution, heavy metals, infrastructure, monitoring, water security, water purification.

Постановка проблеми. Відповідно до Закону України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» (1994 року), громадяни мають право на безпечну для здоров'я та життєдіяльності питну воду. Однак, на даний час Україна не має достатнього забезпечення водою належної якості. Проблема питної води в нашій кра-

їні є загальнонаціональною, а кількість та якість води з системи водопостачання є також економічним питанням.

На якість води впливає безліч факторів. У випадку водопровідної води факторами, що впливають на якість води є система попереднього очищення, якість вихідної води в джерелі водозабору та стан системи

трубопроводів. Воєнні дії також суттєво впливають на якість водних ресурсів України, адже до водних об'єктів потрапляє велика кількість забруднюючих речовин через використання боєприпасів, руйнування гідрологічних споруд (руйнування мостів, дамб), очисних споруд, рельєфу берегової лінії, підприємств, отруєння нафтопродуктами та важкими металами.

Вплив війни на водні ресурси поширився на всі сектори економіки і вже давно вийшов за межі національних кордонів. В Україні зменшується забір води та збільшується скидання забруднених стічних вод. Відповідно існує значний дисбаланс у розвитку водопровідно-каналізаційної мережі. Повномасштабне вторгнення та військові дії додатково принесли значний негативний вплив та суттєво погіршили ситуацію. Особливо в найбільш вразливих районах, де ведуться активні бойові дії та в районах окупації.

На сьогодні міське водопостачання забезпечується в Україні за рахунок підземних вод лише на 25%. Для більшості країн Європи використання підземних вод сягає 90%, що забезпечує задоволення потреб населення високоякісною питною водою.

Від початку повномасштабного вторгнення в Україну ці зміни посилилися, і їхні наслідки для екосистеми відчутні. Так, за 150 днів після повномасштабного вторгнення водні ресурси України зазнали значного впливу, що проявляється забрудненням водою важкими металами та різними хімічними елементами, підривом гідрологічних споруд, а також захопленням водної інфраструктури.

Україна за показником забезпеченості водними ресурсами серед 20 європейських країн посідає лише 17 місце. Прогнози на найближче майбутнє свідчать, що у період 2031–2050 рр. передбачається зменшення водних ресурсів на півдні України до 70%. Наразі найменш забезпеченими водними ресурсами є Донбас, Криворіжжя, АР Крим та південні області України, де також зосереджені найбільші споживачі води (промисловість і сільське господарство).

Основним джерелом водопостачання в Україні є поверхневі води – на них припадає майже 86% загального споживання, в т.ч. на басейн Дніпра – 66,6%). Щорічна потреба України (населення та галузей економіки) у водних ресурсах сягає 15 км³/рік. В 2012 р. було забрано прісної води 13,822 км³, що становить близько 0,5% світового споживання прісної води. На одного жителя України припадає (у середній за водністю рік) трохи більше 1 тис м³ річкового стоку, що вчетверо менше, ніж середня водозабезпеченість 1 жителя країн ЄС [1].

Поступово за роки розвитку промислового та сільськогосподарського сектору річка Дніпро перетворилася з повноводної річки на каскад водосховищ, більшість з яких відносяться до категорії мілководних. В результаті чого фізичні, хімічні та біологічні параметри дніпровських гідроекосистем змінилися та з кожним роком ситуація дедалі погір-

шується (спостерігається кількісне та якісне виснаження водотоку).

Актуальність дослідження. Якісна прісна вода стає одним з найдефіцитніших ресурсів у світі, а забезпечення її якості – одним з найглобальніших викликів для суспільства. Прісна вода відіграє широкий спектр ролей у природі та для суспільства, але головною з них, безсумнівно, є забезпечення населення якісною питною водою. Наразі в Україні система питного водопостачання перебуває під загрозою через виснаження та забруднення водних джерел, значні втрати води в мережах, перехресне забруднення та недостатнє фінансування, а також через повномасштабне вторгнення Російської Федерації.

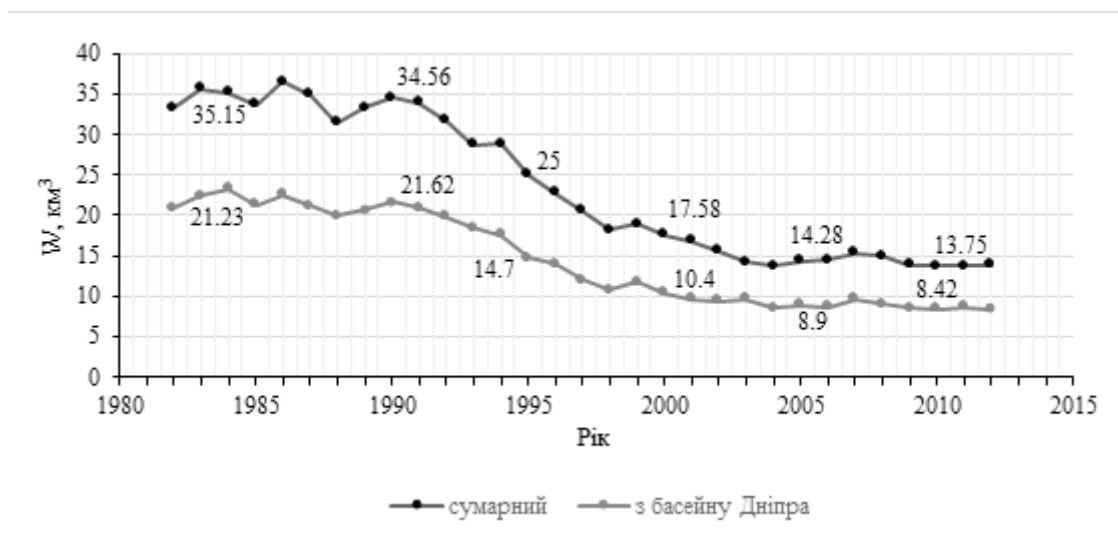
Незадовільний стан водних об'єктів – одна з головних причин низької якості питної води. У цілому проблема питного водопостачання має три складові: наявність питної води в населеному пункті, її доступність і якість.

Якісна питна вода є базовим елементом внутрішнього та зовнішнього середовища людини. Тому забезпечення населення якісною питною водою є стратегічним національним інтересом для будь-якої держави, в тому числі і для України, що визначає актуальність та важливість проблеми даного дослідження.

Актуальність дослідження пов'язана із суттєвим негативним впливом військової агресії Російської Федерації, які завдають суттєвого негативного впливу та непоправної шкоди водним об'єктам та екосистемам в цілому, у, що зумовлює необхідність проведення систематичних й аналітичних наукових досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вирішенням проблем екологічної безпеки водних ресурсів займалися такі вчені як: Архипова Л. М., Білявський Г. О., Бондар О. І., Гриб Й. В., Дмитриков В. П., Ісаєнко В. М., Осадчий В. І., Павличенко А. В., Петрук В. Г., Удод В. М., Улицький О. А., Шмандій В. М., Шматков Г. Г., Яцик А. В. та інші. Визначенням оцінки екологічного стану водних екосистем, в зоні впливу техногенних об'єктів займалися Міхєєв О. М., Пічура В. І. Протасов О. О. та інші. Дослідженням екологічного стану басейну Дніпра присвячені праці: Романенка В. Д., Александрової Н. Г., Афанасьєвої С. О. Будкіної Л. Г., Данильченка О. С., Линника П. М., Лисецького Ф. М., Пилипенко Ю. В. та інші.

І. І. Крилова, в [3,4], проаналізувала основні показники використання та охорони водних ресурсів в Україні та Вергун О. М. [5], в якій розкрив, що погіршення якості питної води негативно позначається не лише на стані здоров'я людей, а й є причиною загострення міждержавних відносин та регіональних проблем. Сокол Л. [6], Покуца І. [7], Гіроль М., Семчук Г. [8], Штогрин Г. [9] та ін. Однак стан сфери водопостачання та водовідведення

Рис. 1. Забір прісної води (W) за роками

в Україні потребує сучасного аналізу з урахуванням нових статистичних та аналітичних даних.

Аналіз стану сфери водопостачання та водовідведення можна здійснити виходячи із інформаційних даних Мінрегіону України та оприлюднених статистичних даних.

Проблеми водоспоживання, раціонального використання, охорони, інтегрованого управління водними ресурсами відображено у наукових працях вітчизняних та зарубіжних учених [10–17].

Якість води регламентується різними нормативними документами, основними з яких є:

- Закон України «Про питну воду та питне водопостачання» від 10.01.2002 р. № 2918-III [18];
- ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною», затверджені наказом МОЗ № 400 від 112.05.2010 р. [19];
- ДБН В.2.5-74:2013 «Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування» [20].

Новизна статті полягає у комплексному дослідженні впливу факторів урбоєкосистеми м. Київ та військових дій на стан гідроєкосистеми р. Дніпро.

Мета статті полягає у дослідженні впливу урбоєкосистем, кліматичних факторів та наслідків повномасштабного вторгнення на стан водної екосистеми.

Викладення основного матеріалу. Екологічний стан водних ресурсів зазнає суттєвого впливу як від урбоєкосистем, так і від впливу повномасштабного вторгнення. Прояв визначається рівнем загострення проблеми та наслідками, які виникають у процесі водних конфліктів та військових дій загалом.

Варто підкреслити, що будь-які військові дії мають вплив на безпеку та життя мешканців території, крім того посилюють виникнення небезпечних явищ в контексті довкілля. Наразі виділяють декілька основних напрямків впливу військових дій

на водні екосистеми, оскільки військові дії змінюють як кількісні, так і якісні характеристики водних об'єктів: захоплення водної інфраструктури, знищення дамб і станцій очищення, мінування водойм, підрив нафтобаз та інших об'єктів, використання зброї та техніки.

На рисунку 2 представлено схематичне зображення впливу військових дій на водні екосистеми.

В таблиці 1 представлено основні наслідки впливу військових дій на стан водних об'єктів та для населення.

Застосування нових боеприпасів та нової тактики нищення всього живого призводить не лише до знищення фауни, флори та забруднення водних об'єктів, а й провокує виникнення пожеж внаслідок вибухів та утворення уламків снарядів, що підсилює негативний вплив. Слід відзначити, що при вибухах відбувається забруднення хімічними речовинами, отруйними та пороховими газами та продуктами горіння, що негативно впливає на навколишнє середовище внаслідок використання цієї зброї. На жаль, існує тенденція, що усі військові дії мають руйнівний вплив на природні об'єкти, що робиться свідомо з метою дестабілізації природних екосистем та поразки противника. Це поширене явище та використовується через такі дії, як навмисне спалювання територій, знищення стратегічних об'єктів та умисне отруєння джерел води.

Періодичні вибухи фактично заповнюють навколишнє середовище токсичними металами, роблячи їх майже непридатним для подальшого використання. Зокрема, концентрація титану в зразках ґрунту в місці розриву оболонки в 150 разів перевищувала фонове значення. Виявлено перевищення норми вмісту ванадію, свинцю та кадмію. У момент вибуху вибух призводить до появи багатьох сполук CO, CO₂, H₂O, NO, N₂O, NO₂, CH₂O, HCN, N₂ та великої кількості токсичних речовин.

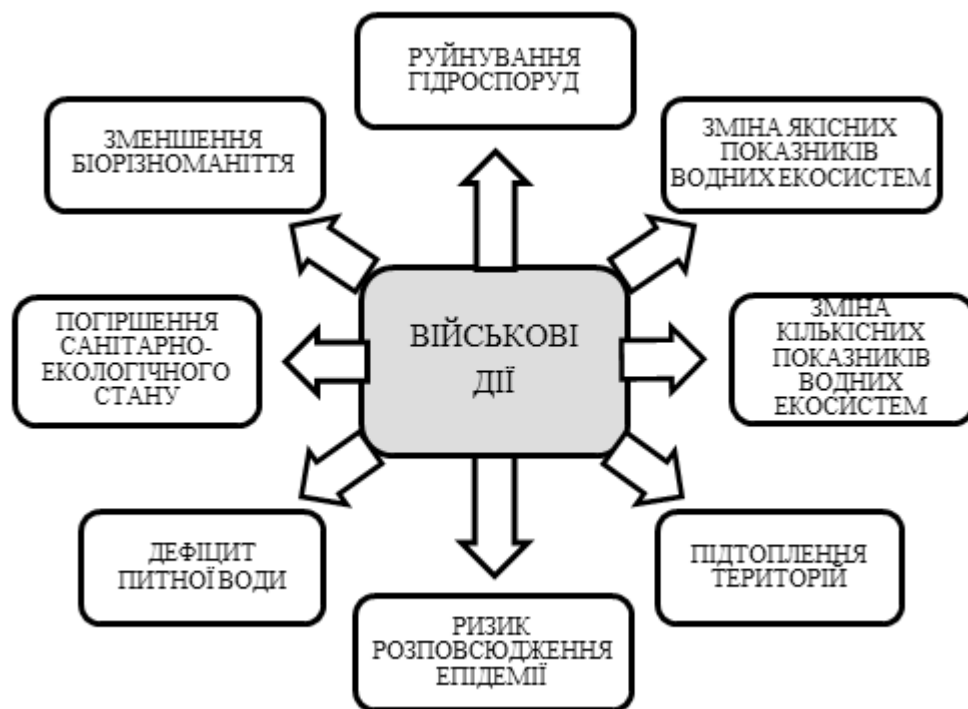


Рис. 2. Вплив військових дій на водні екосистеми

Таблиця 1

Наслідки впливу військових дій на стан водних екосистем та здоров'я населення

Дії	Наслідки	Загрози для населення
руйнування та захоплення гідрологічних об'єктів	надходження недостатньо очищених та неочищених вод в навколишнє середовище	забруднення навколишнього середовища
	затоплення територій	відсутність питного водопостачання
	відсутність можливості здійснювати водопідготовку для населеного пункту	складна санітарно-епідеміологічна ситуація
обстріли об'єктів інфраструктури та промисловості	зменшення біорізноманіття	погіршення якісних та кількісних показників водної екосистеми
	забруднення водних об'єктів речовинами антропогенного походження	забруднення навколишнього середовища
	необхідність використання додаткових методів очистки та водопідготовки	відсутність питного водопостачання
	зменшення біорізноманіття	складна санітарно-епідеміологічна ситуація
мінування територій	погіршення якісних та кількісних показників водної екосистеми	погіршення якісних та кількісних показників водної екосистеми
	зменшення біорізноманіття	забруднення навколишнього середовища
	розвиток водної ерозії	відсутність питного водопостачання
	забруднення водних об'єктів та територій	складна санітарно-епідеміологічна ситуація
	відсутність можливості водопідготовки	
	пошкодження споруд та гідрологічних об'єктів	

Багато забруднювачів, які потрапляють у навколишнє середовище таким чином, можуть залишатися в навколишньому середовищі протягом тривалого часу. Будучи мобільними, вони переміщуються по харчовому ланцюгу живих організмів і становлять пряму загрозу популяції через свою токсичність, канцерогенність і мутагенність.

У м. Київ повноцінно функціонують дві основні водопровідні станції: Дніпровська й Деснянська. Також, для водопостачання киян використовують воду зі свердловин. Це забезпечує надійність роботи системи та можливість переключення на інші джерела водопостачання в разі різкого погіршення якості одного з них.

КП Київводоканал дотримується всіх встановлених вимог, вони гарантують забезпечення санітарно-епідеміологічного стану. На підприємстві використовують класичну систему очищення води: річкова вода надходить на очисні споруди, де додають певні реагенти, котрі на першому етапі видаляють брудні часточки, потім додають реагенти, що осаджують ці домішки, далі вода проходить великий цикл фільтрації, через гравійні та піщані фільтри, після чого її дезінфікують, у Києві це роблять за допомогою суміші окислювачів, а не хлору, що запобігає утворенню канцерогенних сполук, які шкідливі для організму, і вже тоді вона потрапляє у водопровід.

Процес підготовки питної води на Деснянській та Дніпровській водопровідних станціях загалом триває близько семи годин (хлорування, відстійники, фільтрація та ін.). Упродовж цього часу, на кожному з етапів підготовки – від водозабору до подачі у централізовану водопровідну систему – додатково перевіряється якість води.

Нами було проаналізовано дані моніторингу щодо якості поверхневих вод, які використовують

для водопідготовки. Вони представлені у вигляді окремих графіків та таблиці, (див. рис. 3 – рис. 7, таблиця 2).

Фахівці хіміко-бактеріологічних лабораторій водопровідних станцій систематично проводять аналіз води, що надходить безпосередньо на водозабірні об'єкти міста Києва.

На (рис. 8) представлено співвідношення перевишень та відповідності проб води після очистки.

В інших країнах вже застосовується технологія зворотного осмосу, технології мембранної очистки води.

Оцінка стану питного водопостачання здійснювалась в період з 2017 по 2024 рр. за усередненими показниками (рис. 9).

На основі рис. 9 можна констатувати той факт, що вода з централізованої системи водопостачання не завжди потрапляє до споживачів з показниками, які повністю відповідають встановленим вимогам. Найчастіше спостерігаються перевищення за органолептичними показниками.

Головні висновки. Проблема забезпечення населення доброякісною питною водою в достатній кількості є комплексною і пов'язана з багатьма проблемами, такими як соціальне середовище, економіка, національна економіка, територія та нормативно-правове регулювання. Тому для її вирішення необхідно вжити низку організаційних, технічних, економічних та правових заходів. Основними серед яких є раціональне використання прісної води та поділ водопостачання на питне і господарсько-побутове, удосконалення технічних процесів водопідготовки та водоочистки, удосконалення та модернізація системи водопостачання.

1. В ході виконання досліджень було досліджено основні пости водозабору м. Київ, встановлено, що якість питної води з джерел централізованого водо-

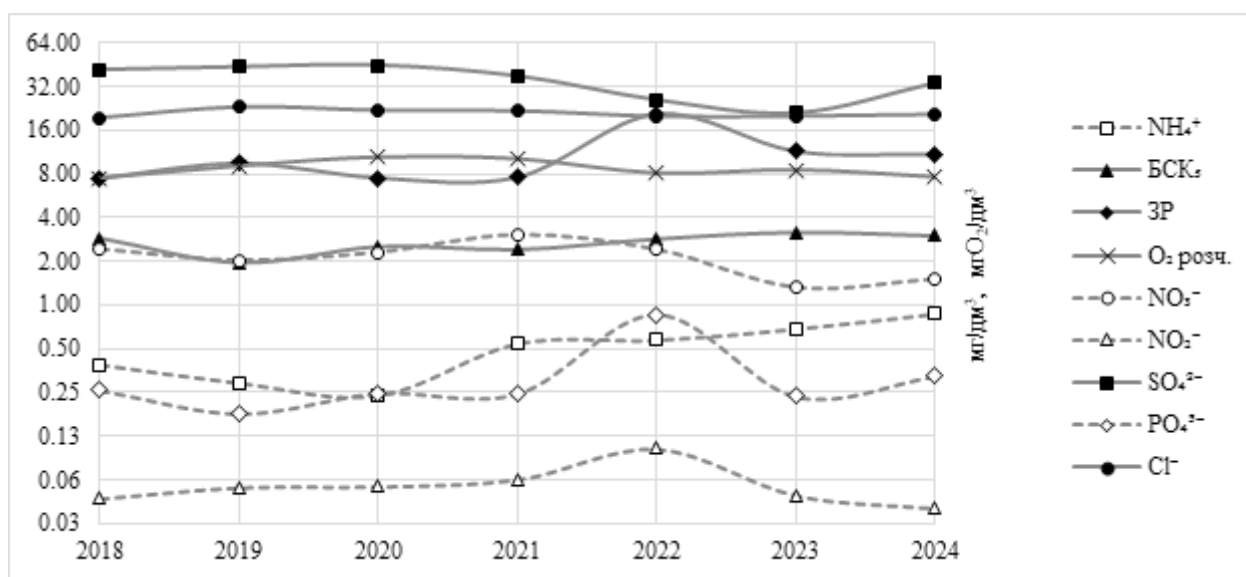


Рис. 3. Пост: р. Дніпро, 897 км, м. Вишгород, н/б Київської ГЕС, питний водозабір м. Київ

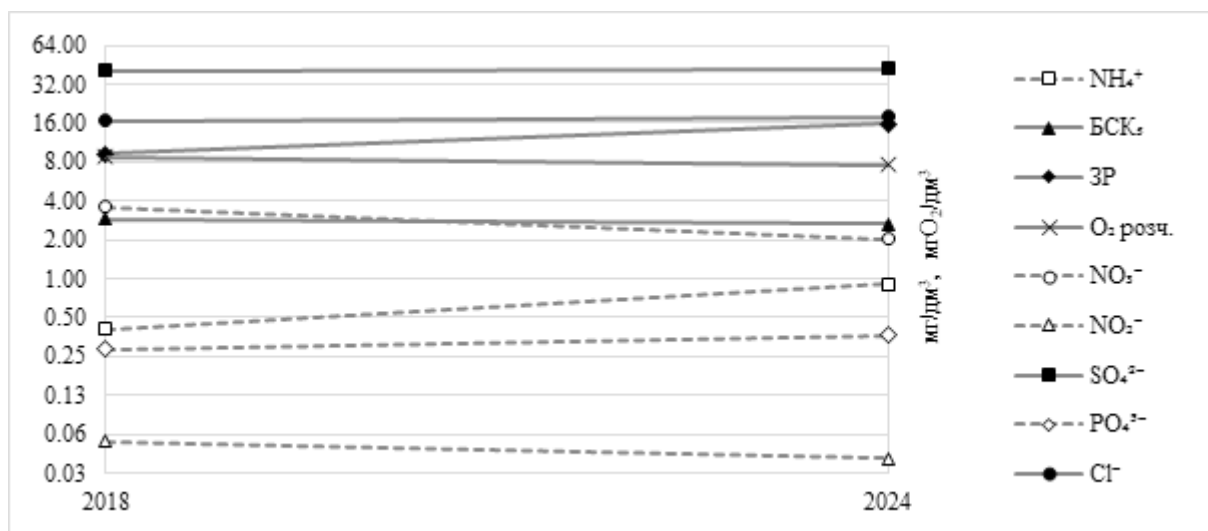


Рис. 4. Пост: р. Дніпро. 870 км, м. Київ, Гідропарк, Лівий берег

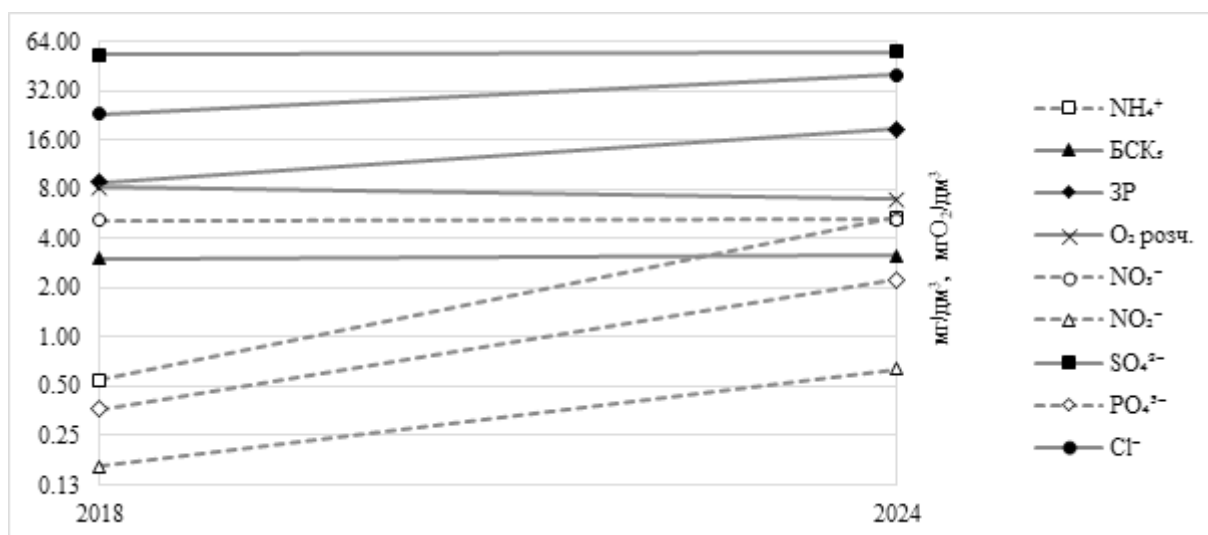


Рис. 5. Пост: р. Дніпро, 855.5 км, водосховище, 500 м вище БСА

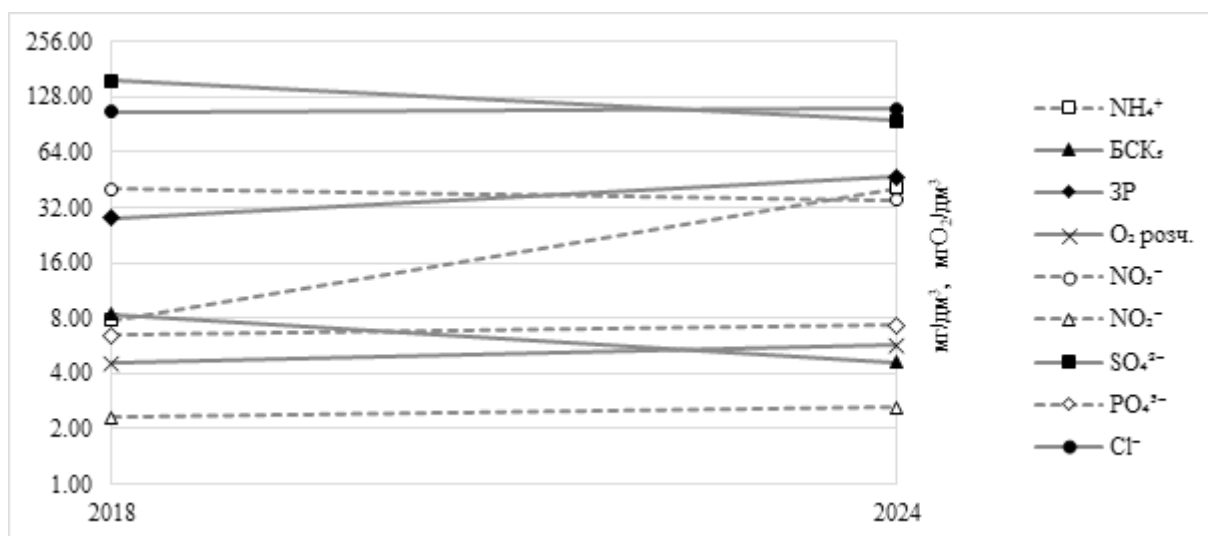


Рис. 6. Пост: р. Дніпро, 855 км, Скидний канал БСА

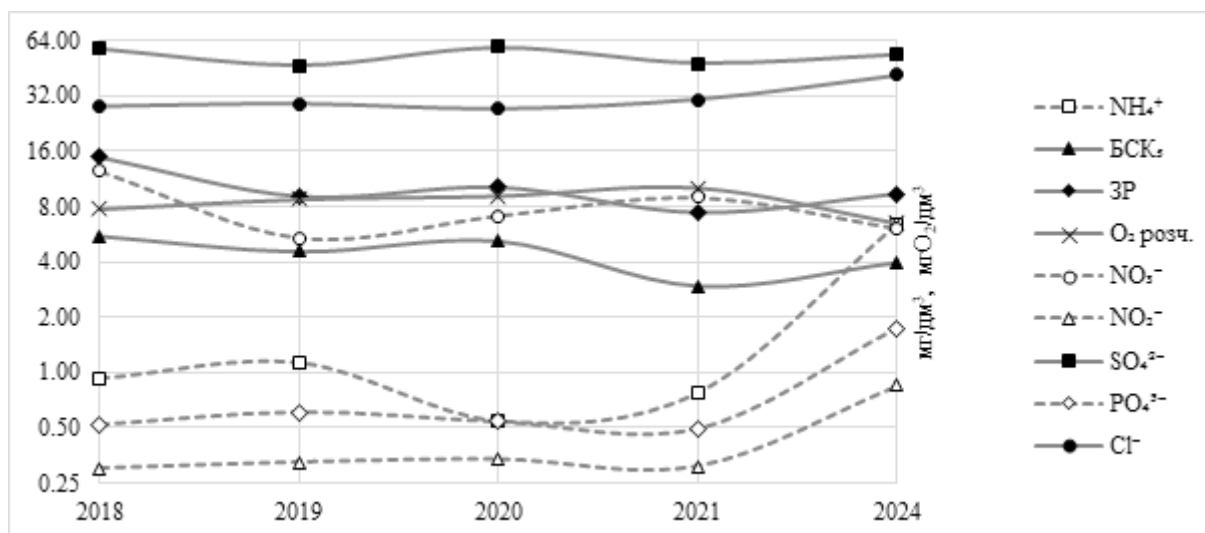


Рис. 7. Пост: р. Дніпро, 854.5 км, водосховище, 500 м нижче БСА

Таблиця 2

Порівняльний аналіз ключових показників

Показник	Довоєнний період 2018–2021рр.	В умовах війни 2022–2024рр.	Тенденція / Причина
Хлориди (Cl^-)	18–22 мг/дм ³	30–40 мг/дм ³ max нижче БСА 2024р.	зростання на 50–80% витоки з пошкодженої інфраструктури; скиди без очищення
Амонійний азот (NH_4^+)	0.2–0.4 мг/дм ³	0.6–1.2 мг/дм ³ max біля БСА у 2023–2024рр.	подвоєння концентрації надходження неочищених побутових сто- ків, зокрема з аварійних ділянок
Фосфати (PO_4^{3-})	0.1–0.2 мг/дм ³	0.3–0.5 мг/дм ³	суттєве зростання побутові стоки; порушення режиму очи- щення на БСА; зростання вико- ристання фосфатовмісних мийних засобів без належ- ної нейтралізації
Розчинений кисень (O_2)	8–9 мг/дм ³	5–7 мг/дм ³	зменшення на 25–40% органічне забруднення; зниження тур- булентності води
Завислі речовини (ЗР)	10–15 мг/дм ³	25–40 мг/дм ³ max у 2023 р.	зростання у 2–3 рази руйнування берегів; підмив; змиви з від- критої території; відсутність фільтрації на очисних спорудах
БСК ₅ (біохімічне спо- живання кисню)	2–3 мг/дм ³	4–6 мг/дм ³	зростання органічного забруднення скиди побутових та господарських стоків; порушення роботи БСА в умовах війни (відсутність енергозабезпечення, част- кове знищення інфра-структури); потрапляння біологічно активних речовин у водні об'єкти; локальні застої води у районах з пошкодже- ною гідрологією; сезонні чинники

постачання м. Київ за деякими показниками перевищує ГДК, що пов'язано з незадовільністю технічного стану та зношеністю значної частини фондів системи централізованого водопостачання, обладнання та повномасштабного вторгнення.

2. Схематично зображено вплив військових дій на водні екосистеми. Серед основних наслідків впливу воєнних дій на водні ресурси є забруднення вод важкими металами та азотовмісними елементами (мінування водойм, вибухи нафтобаз тощо),

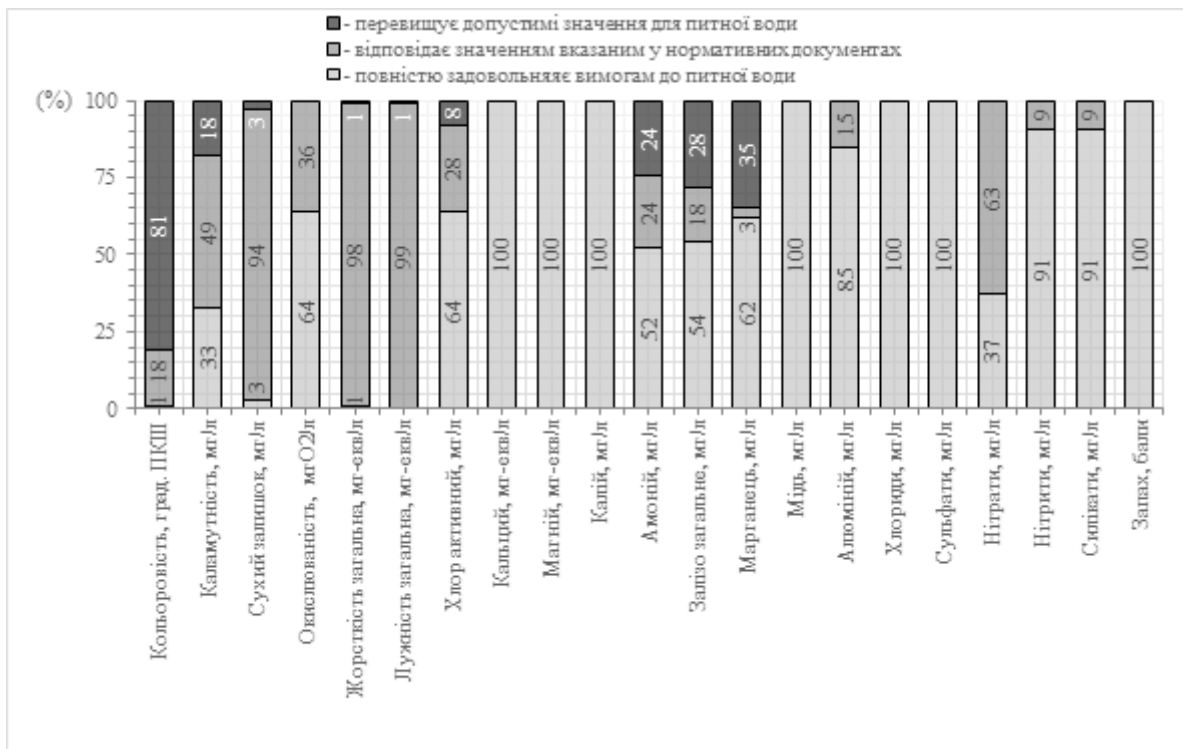


Рис. 8. Аналіз якості води після очистки для м. Київ

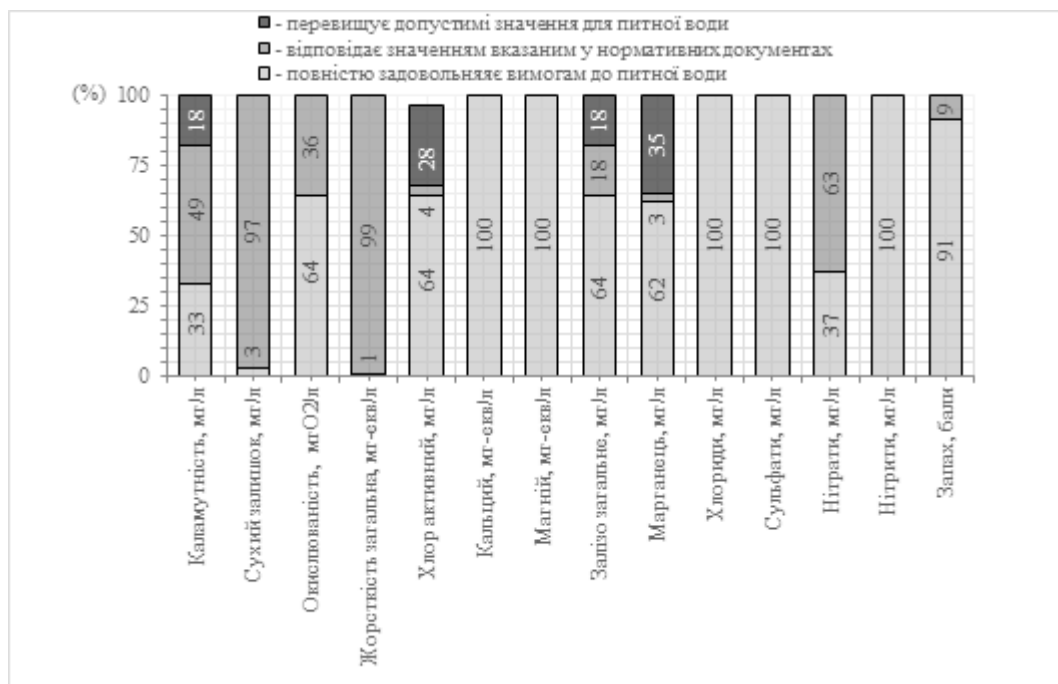


Рис. 9. Якість питної води водопровідної мережі м. Київ

підтоплення територій та погіршення їхнього санітарного стану (руйнування та підриви дамб), відсутність централізованого водопостачання (руйнування гідрологічних споруд).

Перспективи використання результатів дослідження. Результати досліджень можуть бути використані під час розробки управлінських заходів та заходів спрямованих на покращення екологічного стану екосистем.

Література

1. Князькова Т. В. Вода як інструмент концепції більш чистого виробництва (Методичний посібник для оцінки водокористування на підприємствах). Київ : Центр ресурсоефективного та чистого виробництва, 2016. 28 с.
2. Стасюк С., Майданович В. Проблема питної води в Україні. URL: <https://aw-therm.com.ua/problema-pitnoyi-vodi-v-ukrayini/> (дата звернення: 15.04.2025).
3. Крилова І. Система нормативно-правових актів у сфері водопостачання та водовідведення. Ефективність та реалізація. Аспекти публічного управління, 2019. Т. 7. № 1–2. С. 14–26.
4. Крилова І. І. Аналіз сучасного стану сфери водопостачання та водовідведення в Україні. Інвестиції: практика та досвід, 2018. № 23. С. 118–125. DOI: 10.32702/2306-6814.2018.23.118.
5. Вергун О. М., Яковлев С. О. Аналіз актуальних чинників погіршення якості джерел питного водопостачання в контексті екологічної безпеки України. Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2013. Вип. 22. С. 30–38. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PVVG_2013_22_5 (дата звернення: 15.04.2025).
6. Сокол Л. М. Аналіз водокористування в Україні на відповідність сталим підходам. Екологічна безпека, 2009. С. 49–55.
7. Покуца І. В. Комплексна модель системного планування капітального ремонту основних фондів підприємств ВКГ. Науковий вісник Херсонського державного університету, 2014. № 9. С. 124–128.
8. Гіроль М. М., Семчук Г. М. Ефективність систем водопостачання України як фактор національної безпеки держави. Надзвичайна ситуація, 2001. № 5.
9. Штогрин Г. С. Аналіз сучасного стану водовідведення та водозабезпечення сільських територій в умовах євроінтеграційних процесів. Економіка природокористування та охорони навколишнього середовища, 2016. № 2. С. 470–475.
10. Лютий Г. Г., Люта Н. Г., Саніна І. В. Шляхи розвитку моніторингу експлуатаційних запасів питних підземних вод. Збірник наукових праць УкрДГПІ, 2017. Вип. 1–2. С. 209–217.
11. Лютий Г. Г., Саніна І. В. Фактори погіршення якості підземних вод у процесі експлуатації водозаборів в Україні. Збірник наукових праць УкрДГПІ, 2011. № 1. С. 91–103.
12. Kometa S. S., Akoh N. R. The hydro-geomorphological implications of urbanisation in Bamenda, Cameroon. Journal of Sustainable Development, 2012. Vol. 5(6). P. 64–73. DOI: 10.5539/jsd.v5n6p64.
13. Pawari M. J., Gawande S. Ground water pollution and its consequence. International Journal of Engineering Research and General Science, 2015. Vol. 3(4). P. 773–776.
14. Hasan M. K., Shahriar A., Jim K. U. Water pollution in Bangladesh and its impact on public health. Heliyon, 2019. Vol. 5(8). P. 1–23. DOI: 10.1016/j.heliyon.2019.e02145.
15. Glińska-Lewczuk K., Gołaś I., Koc J. The impact of urban areas on the water quality gradient along a lowland river. Environmental Monitoring and Assessment, 2016. Vol. 188(11). P. 624. DOI: 10.1007/s10661-016-5638-z.
16. Zereg S., Boudoukha A., Benaabidate L. Impacts of natural conditions and anthropogenic activities on groundwater quality in Tebessa plain, Algeria. Sustainable Environment Research, 2018. Vol. 28(6). P. 340–349.
17. Yang Q., Wang L., Martin J. D. Hydrochemical characterization and pollution sources identification of groundwater in salawusu aquifer system of Ordos basin, China. Environmental Pollution, 2016. Vol. 216. P. 340–349. DOI: 10.1016/j.envpol.2016.05.076.
18. Про питну воду та питне водопостачання: Закон України від 10 січ. 2002 р. № 2918-III. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2918-14> (дата звернення: 15.04.2025).
19. Державні санітарні правила і норми ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною: затв. наказом МОЗ України від 12 трав. 2010 р. № 400.
20. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Київ: Мінрегіон України, 2013.

ВОДНІ РЕСУРСИ УКРАЇНИ ПІД ЗАГРОЗОЮ: ВПЛИВ ВІЙНИ НА ЯКІСТЬ ПИТНОЇ ВОДИ ТА ЕКОСИСТЕМИ РІЧОК

Тараймович І.В.¹, Совгіра С.В.², Душечкіна Н.Ю.²

¹Луцький національний технічний університет
вул. Львівська, 75, 43000, м. Луцьк

²Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини
вул. Садова, 2, 20300, м. Умань

irinatarajmowitsch@gmail.com, sovgirasvitlana@gmail.com, nataxeta74@gmail.com

Військове вторгнення росії на територію України деструктивно впливає на екологічну ситуацію. Ситуація має характер пролонгованої наслідковості, а через неповноту інформації оцінити масштаби впливу на довкілля доволі важко. Екологічна шкода, завдана водним ресурсам у часі війни, окрім того, спричиняє суттєві економічні збитки. Цілеспрямовані пошкодження інфраструктури із забору, очищення та постачання води, мінування та підриви гідротехнічних споруд наразі не є виключеннями, водночас близько тринадцяти мільйонів громадян не мають доступу до питної води належної якості. Метою статті є аналіз загрозового впливу воєнних дій в Україні на якість питної води та стан екосистем річок. У дослідженні виокремлено основні напрямки прямого та непрямого деструктивного впливу військових дій на водні ресурси, у тому числі – відсутність питної води та її низька якість, руйнування об'єктів інфраструктури, забруднення поверхневих і ґрунтових вод нафтопродуктами та стічними водами, застосування забороненої зброї, окупація ресурсів, епідеміологічні загрози, виведення з ладу системи очищення каналізаційних стоків, забруднення вибухонебезпечними предметами. Проаналізовано економічні наслідки забруднення та нераціонального використання водних ресурсів, зокрема, в контексті проблематики розвитку харчової промисловості. Систематизована інформація дозволяє сформувати алгоритм оцінювання завданої школи, розробити стратегії регенерації водних ресурсів на основі регіонального підходу, запропонувати оптимальні пропозиції з покращення ситуації. Проведено відповідні узагальнення щодо оптимальних напрямків відновлення водних екосистем. Результати дослідження володіють практичною значимістю для удосконалення управлінських процесів та стратегічного планування з відновлення навколишнього природного середовища. *Ключові слова:* водні ресурси, екосистеми річок, питна вода, війна, збитки, забруднення.

Ukraine's water resources are threatened: the impact of war on the quality of drinking water and river ecosystem.
Taraimovych I., Sovhira S., Dushechkina N.

Russia's military invasion of the territory of Ukraine destructively affects the environmental situation. The situation has the character of prolonged consequence, and it is difficult to evaluate the extent of environmental impact due to incompleteness. The environmental damage caused to water resources during the war, in addition, causes significant economic losses. Purposeful damage to the infrastructure for collecting, purification and supply of water, mines and undermining hydraulic structures are currently not exceptions, and about thirteen million do not have adequate quality drinking water. The purpose of the article is to analyze the threatening impact of war in Ukraine on the quality of drinking water and the state of river ecosystems. The study distinguishes the main directions of direct and indirect destructive impact of hostilities on water resources, including the lack of drinking water and its poor quality, the destruction of infrastructure objects, contamination explosive objects. The economic consequences of pollution and irrational use of water resources are analyzed, in particular, in the context of the problems of development of the food industry. Systematic information allows you to form an algorithm for evaluating the school, develop strategies for water regeneration on the basis of a regional approach, to offer optimal proposals for improving the situation. Appropriate generalizations have been conducted on the optimal areas of water ecosystems recovery. It is proposed to use the possibilities of financial and expert support from Western partners within the framework of the post-war "green course" of Ukraine's development. The results of the study are of practical importance for improving management processes and strategic planning for environmental recovery. *Key words:* water resources, river ecosystems, drinking water, war, losses, pollution.

Постановка проблеми. Військова агресія рф проти України супроводжується порушеннями норм міжнародного екологічного права та принципів сталого розвитку. Серед основних документів, зобов'язання яких нехтуються агресором в контексті впливу на довкілля – I додатковий Протокол до Женевських конвенцій (1977), Міжнародна конвенцію ЄЕК ООН «Про охорону та використання транскордонних водотоків та міжнародних озер», угоди транскордонного співробітництва України з рф. Військові дії спричиняють масштабні забруднення річкових екосистем, створюють загрози здоров'ю людини через зниження якості питної води. Непрямі

загрози водним ресурсам формуються такими неочевидними джерелами, як неконтрольовані скиди у водні об'єкти, відсутність очисних споруд, розливи нафтопродуктів, неконтрольоване поводження з відходами. Все це вимагає підвищеної уваги науковців та управлінців.

Актуальність дослідження. Тенденції неефективного очищення стічних вод, погіршення якості питної води та відсутності стратегій управління екосистемами характерні для більшості військових конфліктів. У контексті України ситуація ускладнюється унеможливленням доступу до окремих ареалів забруднення водних ресурсів через окупаці-

йний режим, через що деструктивні процеси у деяких локаціях набувають загрозливого характеру для загальних екосистем великих річок. Актуальність дослідження детермінується необхідністю ідентифікації, розширеного аналізу та систематизації наслідків воєнної агресії рф для водних ресурсів України, з метою подальшого визначення потенційних шляхів оптимізації ситуації.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Стратегічною метою повоєнного відновлення позиціюється безпечно довкілля на тлі «зеленого курсу» розвитку України та відбудови економіки на основі принципів сталого розвитку, в тому числі, із залученням фінансової та експертної підтримки західних партнерів. Зв'язок між негативною динамікою стану водних ресурсів та активними військовими діями є доволі складним, багатофакторним, часто залежним від контексту впливу війни. Зазначена сфера вбачається вивченою недостатньо, і потребує детального вивчення у світлі нинішньої актуальності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання впливу військових дій на водні ресурси не є новим для світової наукової практики та знайшла відображення у напрацюваннях низки вчених водночас залишаючи простір для пошуку оптимальних рішень у контексті сучасних викликів. Зокрема, деструктивні для екологічного стану водних ресурсів наслідки війни аналізуються у публікаціях J. Schillinger та ін. [1], K. Unfried та ін. [2], P. Pereira та ін. [3]. Дослідники запевняють, що найбільш ефективним способом досягнення екологічного балансу є попередження ризиків та нівелювання негативного впливу на ранніх етапах забруднення.

C. Grech-Madin [4], N. Grigg [5] акцентують на негативному впливі розливу нафтопродуктів та забрудненню продуктами детонації снарядів, забороненими речовинами, що фактично не піддаються нейтралізації. Водночас H. Chaminé [6] актуалізує взаємозв'язок між забрудненням води та економічним занепадом окремих галузей в часі війни, у тому числі – харчової промисловості.

Способи превентивного захисту екосистем річок від впливу військових дій детально досліджуються у публікаціях O. Shumilova та ін. [7], I. Мисковець [8]. Автори вбачають невід'ємною компонентою системи управління водними ресурсами інтеграцію прогресивних методів екологічного нормування, моніторинг та контроль скидів у всіх можливих точках.

У контексті війни в Україні досліджувана проблематика стала пріоритетною в наукових розробках В. Строкаль, А. Ковпак [9], М. Тукало та ін. [10], І. Циганенко-Дзюбенко та ін. [11], С. Зелінський [12], Б. Чернявський [13], Д. Крисінська [14].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена

стаття. Не зважаючи на актуальність тематики, проблема захисту водних ресурсів у контексті реальних загроз воєнного часу досліджена доволі поверхнево, а чинні практичні розробки не можуть бути вповні імплементовані на тлі активних бойових дій в місцях найбільшого забруднення. У зв'язку з цим, проблематика вбачається наразі гостро актуальною та потребує пошуку дієвих рішень як щодо прямих деструктивних чинників, так і в аспекті непрямого впливу на стан водних екосистем.

Новизна. У межах дослідження проведено розширений аналіз та систематизація екологічних наслідків активних воєнних дій для водних ресурсів України, в тому числі в контексті економічного розвитку. Запропоновано вектори першочергового спрямування зусиль для підвищення якості питної води та запобігання екологічній катастрофі.

Методологічне або загальнонаукове значення. У процесі дослідження було застосовано методи синтезу та аналізу інформації, метод систематизації та метод класифікації. Результати дозволяють систематизувати чинники впливу війни на стан водних ресурсів України для подальшого аналізу та прогнозування довготривалих наслідків такого впливу. У межах дослідження було проведено аналіз сучасних публікацій з обраної тематики, у тому числі низки прогресивних зарубіжних науковців, на основі чого були сформовані кінцеві пропозиції.

Викладення основного матеріалу. Вода являє собою максимально цінний незамінний ресурс, що слугує основою життєдіяльності людини та розвитку народного господарства. Техногенні забруднення, спричинені військовими діями – руйнування дамб та мостів, забруднення нафтопродуктами та важкими металами, джерела заборонених забруднювачів, неконтрольовані стоки та стихійні сміттєзвалища – спричиняють загрозливий патологічний вплив на біорізноманіття, знищують цілі локальні водні екосистеми, зумовлюють погіршення якості питної води навіть у віддалених регіонах [11]. Руйнування каналізаційних pompових станцій спричиняє потрапляння неочищених зворотних вод до річки Дніпро.

Масштабне забруднення водних ресурсів та критичне пошкодження водної інфраструктури не лише завдає шкоди довкіллю та здоров'ю людини, але й слугує причиною загрози продовольчій безпеці. Харчова промисловість використовує воду, котра за своїм основним складом відповідає показникам державного стандарту ДСанПіН 2.2.4-171-10 [15]. Воду заявленої якості безпосередньо у природному середовищі наразі знайти дуже складно, зважаючи на характер та масштаби забруднень у часі війни. Водночас вода у якості основної або допоміжної сировини застосовується у переважній більшості технологічних процесів харчової промисловості. У низці виробництв, пов'язаних з виготовленням води для дитячого харчування, води в пляшках, води для алкогольної продукції, актуальною наразі є про-

блема низької якості вихідної води, що потребує обов'язкової додаткової очищення від різних забруднень, що своєю чергою відображається на економічних показниках діяльності підприємств харчової промисловості.

За фінансової підтримки Фінляндії було реалізовано управлінську ініціативу, котра дозволила порівняти зміну якості води в розрізі 2021–2023 рр. Проби води, при цьому, відбиралися з різних джерел (свердловин, колодязів, централізованого водопостачання), а до уваги бралися як хімічні, так і органолептичні показники (табл. 1).

Яскравими прикладами масштабного загрозливого впливу бойових дій на водні ресурси є пошкодження гідропоруди Оскільського водосховища на Харківщині, що призвело до знищення водної екосистеми водосховища; ракетні удари по гідропоруді Карачунівського водосховища в м. Кривий Ріг; неконтрольований скид води у р. Сіверський Донець через ракетні удари по гідровузлу Печенізького водосховища, знищення греблі Каховської ГЕС. При цьому, основним наслідком руйнування водної інфраструктури та виведення з ладу систем очищення та водопостачання виступає масштабне забруднення вод небезпечними та токсичними речовинами [6].

До прямих чинників впливу війни на водні ресурси відносяться вибухи, які безпосередньо руйнують екосистеми, а також набої, які розриваються, горіння неметалевих деталей військової техніки, що забруднюють ґрунти та воду токсичними елементами та важкими металами. Непрямі наслідки війни спричинені побічними результатами бойових дій, зокрема, знеструмлення шахти, із якої в обов'язковому порядку необхідно відкачувати воду. У такому

разі помпи не можуть працювати, внаслідок чого шахта затоплюється разом із радіоактивними та небезпечними відходами, які потенційно проникають у ґрунтові води [7].

Внаслідок руйнування Каховської ГЕС постала загроза відсутності як питної, так і технічної води для сотень населених пунктів, виникла загроза розповсюдження інфекцій через загибель у воді тварин та людей, їх розкладання, підмивання і цвинтарів, і хімічних об'єктів з отруто-хімічними ресурсами, підмивання газових свердловин та труб.

Іншим прикладом непрямого впливу позиціюються неконтрольовані викиди неочищених відходів підприємств у водні об'єкти. На окупованих територіях такі процеси перебувають поза контролем держави та гуманітарних міжнародних організацій [5]. Масова загибель риби та знищення екосистем, розливи мастила та технічних оливо в річки призводить до екологічної катастрофи Азовського та Чорного морів, перевищення ГДК за показниками амонію, нітритів, нітратах, заліза, БСК.

Втрата водопостачання спричинюється прямими та непрямыми пошкодженнями систем водопостачання: пошкодження водонапірних башт, pompових станцій, трубопроводів, каналізаційних труб, великих об'єктів інфраструктури (наприклад, Попаснянська водонапірна станція на Луганщині).

Усі зазначені дії, спрямовані агресором на умисне створення гуманітарної та екологічної катастрофи, потребують значних зусиль та ресурсів, потребують документування злочинів і притягнення до відповідальності згідно з нормами міжнародного гуманітарного права. У 2024 році було прийнято важливі урядові рішення у галузі водної політики: затверджено

Таблиця 1

Показники якості питної води у окремих містах України, що зазнали впливу військових дій

Населений пункт, область	Період	Мутність, мг/л	Кольоровість, град	Сухий залишок, мг/л	Залізо, мг/л	Марганець, мг/л	Окислюваність, мг/л
Нормативні значення		0,58	20	1000	0,2	0,05	5
Київ	2021	0,79	23,9	330	0,2	0,02	4,3
	2023	0,85	35,7	280	0,25	0,02	6,3
Дніпро	2021	1,01	20,4	268	0,14	0,01	6,6
	2023	1,31	35,4	304	0,25	0,01	8,9
Харків	2021	1,41	18,4	694	0,29	0,02	5,6
	2023	2,09	21,0	654	0,37	0,01	4,2
Миколаїв	2021	0,35	14,9	442	0,07	0,01	5,5
	2023	3,06	27,6	3786	0,98	0,15	7,5
Запоріжжя	2021	0,7	16,2	506	0,17	0,04	5,1
	2023	1,0	41,0	286	0,21	0,06	5,6
Житомир	2021	2,5	19,3	554	0,62	0,02	6,2
	2023	2,7	23,0	482	0,72	0,05	8,1

Джерело: [16]

Державну цільову програму комплексного водозабезпечення територій, які зазнали впливу воєнних дій, на період до 2030 року, а також плани управління річковими басейнами (ПУРБ) як важливий євроінтеграційний документ. Обсяг фінансування заходів для реалізації зазначених проєктів протягом 2025–2030 років перевищують 9 млрд євро, що вимагає залучення додаткових інвестицій.

Наразі Україна потребує невідкладного забезпечення доступу до безпечної питної води для населених пунктів, які знаходяться на лінії активних бойових дій, в тому числі шляхом забезпечення аварійного водопостачання (для прикладу, шляхом поширення розфасованої води, використання пересувних установок для очищення, дезінфекції та зберігання води), а також підвищення обізнаності населення та керівництва громад щодо доступних методів отримання питної води з різних джерел, її знезараження та очищення, реалізації моніторингу за якістю питної води [14].

У харчовій промисловості, функціонування якої безпосередньо пов'язане із якістю питної води, наразі актуалізується використання різноманітних методів очищування – зворотний осмос, аерація, системи комплексного очищення та знезалізнєння, пом'якшення води, УФ-знезараження [10]. Жорсткі вимоги до якості води як сировини в харчовій промисловості, без сумніву, приводять до подорожчання кінцевої продукції та ускладнення процесів економічного розвитку.

Головні висновки. У дослідженні проведено розширений аналіз джерел забруднення водних ресурсів у часі війни, систематизовано та структуровано аспекти загроз якості питної води та збереженню екосистем річок. Серед основних напрямків прямого та непрямого деструктивного впливу військових дій на водні ресурси детерміновано відсутність питної води та її низька якість, руйнування об'єктів

інфраструктури водопостачання та водовідведення, забруднення поверхневих і ґрунтових вод нафтопродуктами та стічними водами, окупація ресурсів, застосування забороненої зброї, епідеміологічні загрози, виведення з ладу системи очищення каналізаційних стоків, забруднення вибухонебезпечними предметами.

Необхідно враховувати пролонгований характер забруднення водних ресурсів та ймовірність виникнення транснаціонального забруднення, адже токсини забруднювальні речовини можуть поширюватись поверхневими та підземними водами на значні відстані. Особливої значущості в даному контексті набуває процес документування екологічних злочинів для притягнення агресора до відповідальності, що потребує залучення міжнародного досвіду.

Оптимальне післявоєнне відновлення екосистем та розвиток у напрямку сталого довкілля потребують ефективного управлінського забезпечення, об'єктивного прогнозування наслідків на регіональному рівні, імплементації міжнародних вимог. У дослідженні обґрунтовано тісний взаємозв'язок стану водних ресурсів та економічного розвитку і продовольчої безпеки, що вимагає підтримки функціонування харчової промисловості в аспекті інноваційних систем водопідготовки. Особливої уваги потребують виділяються потенційні методи реабілітації водних систем, у тому числі комплексні екологічні підходи до очищення, ремедіації забруднених водойм та відновлення гідрологічного балансу річкових екосистем.

Перспективи використання результатів дослідження. Напрямою подальших наукових досліджень вбачається розроблення методологічних засад формування інформаційно-аналітичної основи для формування ефективних управлінських рішень з регенерації та захисту водних ресурсів України.

Література

- Schillinger J., Özerol G., Güven-Griemert Ş., Heldeweg M. Water in war: Understanding the impacts of armed conflict on water resources and their management. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*. 2020. № 7(6). <https://doi.org/10.1002/wat2.1480>
- Unfried K., Kis-Katos K., Poser T. Water scarcity and social conflict. *Journal of Environmental Economics and Management*. 2022. № 113. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2022.102633>
- Pereira P., Barceló D., PANAGOS P. Soil and water threats in a changing environment. *Environmental research*. 2020. № 186. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109501>
- Grech-Madin C. Water and warfare: The evolution and operation of the water taboo. *International Security*. 2021. № 45(4). Pp. 84-125. https://doi.org/10.1162/isec_a_00404
- Grigg N. S. *Water Resources Management: Principles, Methods, and Tools*. John Wiley & Sons, 2023.
- Chaminé H. I. 'Water is a unique resource: a drop can save a life, in war and peace' – embracing the legacy of the hydrogeologist José Martins Carvalho (1943–2023). *Environmental Earth Sciences*. 2024. № 83(10). <https://doi.org/10.1007/s12665-024-11640-z>
- Shumilova O., Tockner K., Sukhodolov A., Khilchevskiy V., De Meester L., Stepanenko S., Gleick P. Impact of the Russia–Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure. *Nature Sustainability*. 2023. № 6(5). Pp. 578-586. <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01068-x>
- Мисковець І. Рациональне водокористування та охорона водних ресурсів України після військових дій. *Collection of scientific papers «ЛОГОС»*. 2024. С. 199-203. <https://doi.org/10.36074/logos-02.02.2024.040>
- Строкаль В. П., Ковпак А. В. Воєнні конфлікти та вода: наслідки й ризики. *Екологічні науки*. 2022. № 5. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.5-44.14>

10. Тукало М. А., Ткачук З. Ю., Яненко, У. М. Війна і біобезпека в Україні. *Visnik Nacional noi akademii nauk Ukraini*. 2023. № 8. С. 14-22. <https://doi.org/10.15407/visn2023.08.014>
11. 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>
12. Зелінський С. Е. Українські водні питання в умовах воєнного стану. *Водопостачання та водна безпека у контексті російської агресії: аналіт. звіт, м. Кропивницький*. 2022. https://new.flora.kr.ua/wp-content/uploads/2022/11/%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%82%D1%8F_%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%B0_%D0%A4%D0%BB%D0%BE%D1%80%D0%B0.pdf
13. Чернявський Б. Гідроінформатика як акселератор прийняття рішень в управлінні ремедіацією водних ресурсів: інноваційна агентно-орієнтована модель для Херсонщини. *Modeling, Control and Information Technologies: Proceedings of International scientific and practical conference*. 2024. № 7. Рр. 46-49. <https://doi.org/10.31713/MCIT.2024.010>
14. Крисінська Д. О. Вода та війна. Український аспект. «МОГИЛЯНСЬКІ ЧИТАННЯ–2023: досвід та тенденції розвитку суспільства в Україні: глобальний, 330. <https://du.chmnu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/01/%D0%9C%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D0%BB%D1%8F%D0%BD%D1%81%D0%BA-%D1%87%D0%B8%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F-2023-%D0%A2%D0%95%D0%97%D0%98.pdf#page=330>
15. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПІН 2.2.4–171–10). МОЗ України. Наказ від 12.05.2010 р. № 400.
16. Карта якості води: зміни в умовах війни. *Ecosoft*. 2024. <https://ecosoft.ua/ua/blog/karta-yakosti-vody-zmini-v-usloviyah-voini/>

СИНЕРГІЯ ТЕОРЕТИКО-ЕМПІРИЧНОЇ ТА ПРАКТИЧНОЇ МОДЕЛЕЙ РОЗВИТКУ ЕКОЛОГІЧНОГО ВЕКТОРУ МІЖНАРОДНОГО СПІВРОБІТНИЦТВА

Долженкова О.В., Котов І.Д.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

вул. Наукова, 72, 49000, м. Дніпро

dolena2017@gmail.com, kotovi@365.dnu.edu.ua

У науковому дослідженні проведено ґрунтовний аналіз етапів еволюції екологічного напрямку міжнародного співробітництва, а також інституалізацію теоретико-епістемологічного комплексу Зеленої теорії у адміністративно-політичних системах країн в інтервалі 1960-2015 років. Представлено відмінності ідеологічних позицій суб'єктів політичних фракцій Парламентів Швеції, Німеччини, США, Франції, Норвегії, Люксембургу, Нідерландів, Канади та Фінляндії у контексті ратифікації договорів, що передбачають ініціювання мутуалізму органів влади країн для колегіального інвестування в програми ліквідації деструктивного впливу індустріального сектору геоекономіки на екосистеми Землі. Наведено хронологію становлення транснаціональних організацій та апробації міждержавних договорів, що спеціалізуються на регламентуванні процесу захисту глобальної екосистеми від забруднення пластиком. Надано статистичну інформацію та аббревіатури пластиків, які становлять екзистенціальну загрозу життєдіяльності елементів флори та фауни. Висвітлено нормативно-правові результати кодифікації глобальними інкультурними консорціумами держав відповідних алгоритмів підвищення кваліфікації цивільного населення та освіченості громадян, з метою грамотного сортування та ліквідації пластикових залишків діяльності людини. Окреслено вплив соціально-економічної та освітньо-академічної диференціації держав у ХХІ столітті на реалізацію ініціатив з підтримки стабільного функціонування регіональних, а також планетарних екологічних ареалів. Охарактеризовано релевантні способи застосування емпіричних матеріалів аналітико-дослідної роботи, що вивчає міждержавні інститути контролю та протидії екологічним пертурбаціям, для удосконалення моделі глобальної комунікації з обмеження урбанізаційної експансії. Впровадження даних наукової роботи в транснаціональне екологічне співробітництво в сфері забруднення пластиком екосистеми Землі може стати рентабельним варіантом для експериментальних проєктів та екологічних ініціатив. *Ключові слова:* екологія, забруднення, утилізація, Зелена теорія, пластик, міжнародна кооперація, договори.

Synergy of theoretical-empirical and practical models of development of ecological vector of international cooperation.
Dolzenkova O., Kotov I.

The scientific research conducted a thorough analysis of the stages of the evolution of ecological direction of international cooperation, as well as the institutionalization of the theoretical and epistemological complex of green theory in the administrative and political systems of countries in the 1960-2015 interval. The differences of ideological positions of political factions of parliaments of Sweden, Germany, USA, France, Norway, Luxembourg, the Netherlands, Canada and Finland in the context of ratification Earth ecosystems. The chronology of the formation of transnational organizations and the testing of interstate agreements specializing in the regulation of the process of protection of the global ecosystem from contamination with plastic products is presented. Statistical information and abbreviations of plastics, which pose an existential threat to the life of flora and fauna. The regulatory and legal results of codification with the global intercultural consortia of the states of the respective algorithms for the advanced training of civilians and education of citizens, with the aim of competent sorting and elimination of plastic residues of human activity. The influence of socio-economic and educational-academic differentiation of states in the 21st century on the implementation of initiatives to support the stable functioning of regional as well as planetary ecological habitats is outlined. Relevant methods of use of empirical materials of analytical and research work, which studies interstate institutions of control and counteraction to environmental perturbations, is characterized to improve the model of global communication to limit urbanization expansion. The introduction of scientific work into transnational environmental cooperation in the field of plastic pollution of the Earth's ecosystem can be a profitable option for experimental projects and environmental initiatives. *Key words:* ecology, pollution, recycling, Green Theory, plastic, international cooperation, agreements.

Постановка проблеми. Аналізуючи кон'юнктуру зв'язку Зеленої теорії та програм захисту екології з традиційними комплексами міжнародних відносин, необхідно першочергово констатувати, що після завершення Другої світової війни відбувалася форсована активізація діяльності пацифістських асоціацій та громадських консорціумів. За даних обставин

політичні контрагенти та лідери держав ініціювали модернізацію інститутів транснаціонального мутуалізму, які спеціалізуються на забезпеченні діалогу у сегментів екологічних аспектів.

Актуальність дослідження. Вивчення історико-ретроспективних стратегій комунікації країн для нівелювання причин ескалації параметрів планетар-

ного фотосинтезу, деструктивних змін атмосферно-кліматичних умов через антропогенний фактор, збільшення обсягів пластикових відходів, тестових випробувань зброї масового ураження, скорочення популяцій біологічних видів та елімінування населення Землі, ідентифікується фундаментальним лейтмотивом оптимізації інтернаціональних стандартів протекції розвитку біосфери Землі, що забезпечить біорізноманіття, а також соціально-політичний і науково-технічний онтогенез майбутніх цивілізаційних поколінь.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. У даній статті проведено дослідження актуальної науково-академічної ойкумени, яка аналізує взаємозв'язки кон'юнктури транскордонної інтеракції в області виключення антропогенних загроз навколишнього середовища з сучасними процесами оптимізації промислово-індустріального виробництва наукоємного обладнання, включно з материнськими платами, чіпами, напівпровідниками та сенсорно-оптичними констеляціями, що потребує експлуатації істотної кількості синтетичних і пластикових ресурсів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження аспектів громадсько-адміністративного, організаційного та нормативно-правового фундаменту реформування партнерства країн для реалізації спільних проектів захисту довкілля здійснюється у матеріалі статті на засадах монографій О.Т. Гирича [1], К.В. Оленича [2], Н.М. Нестеренко [3], О.М. Лук'янова [5], М.В. Сарапіна [6], Ю.Ю. Копинець [9], Н.А. Казакова, Є.О. Журавльова [10], В.В. Добровольського [11], Л. Купченя [12]. Для ідентифікації обставин становлення і розвитку статистико-академічного вектору аналізу Зеленої теорії, який сформував передумови уніфікації транскордонного співробітництва в області обмеження загроз антропогенного фактору пластикових відходів у екосистемі планети, під час компіляції матеріалів статті використано праці М. Колісника [4], Л.А. Мусіна [8].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. У науковій праці експоновано фактор впливу гіпотез і теоретико-експланаційних досліджень представників науково-академічної конфігурації на праксеологічне становлення політичної екології, яка ідентифікується передумовою включення проблем глобальної екосистеми до процесів транснаціональної співпраці.

Наукова новизна. Автентичність роботи ґрунтується на комбінуванні академічних та політико-адміністративних методологій здійснення аналітичної діяльності у межах дослідження Зеленої теорії.

Методологічне або загальнонаукове значення. Гносеологічну конфігурацію статті пропонується впроваджувати студентами вищих навчальних закладів у процес виконання освітньо-академічних проектів за екологічним напрямком, а також вико-

ристовувати суб'єктами адміністративного апарату України для модернізації стратегії фігурування держави у рамках офіційних міжнаціональних консультацій щодо захисту флори і фауни планети.

Викладення основного матеріалу. Варто підкреслити, що виникнення проблем у констеляції флори та фауни через збільшення обсягів виробництва полімерних, синтетичних і пластикових товарів, активізувало діяльність волонтерських ініціатив та прогресивних суб'єктів геосоціуму у 1960-1990 роках ХХ століття [3, с. 9-10].

В результаті, представники міжнародних громадських концернів та організацій, а саме Європейська федерація з охорони природи та тварин (EFNA), Всесвітня продовольча та сільськогосподарська організація (FAO), Глобальна інформаційна база даних про ресурси (GRID-UNEP), Глобальна система моніторингу навколишнього середовища (CEMS), Всесвітній центр моніторингу природи (WCMC), Інститут світових ресурсів (WRI), Грінпіс (GI), Глобальний екологічний фонд (GEF), Всесвітній фонд дикої природи (WWF-International), Міжнародний інститут з навколишнього середовища і розвитку (IIED), Європейський центр з екології людини (ECHE), Міжнародна академія навколишнього середовища (IAE) і Міжнародна інформаційна служба з навколишнього середовища та природних ресурсів, ініціювали активний дискурс із делегатами адміністративного апарату спектру держав [1, с. 94-95].

Під час кулуарних консультацій окреслювалася потреба регламентування стандартів транскордонної діяльності у сфері прагматичної утилізації відходів із пластику, що фігурують на поверхні землі або в акваторії світового океану. До цих хімічних сполук включено поліметилметакрилат (PMMA), полікарбонат (OTHER), поліетилен низької щільності (LDPE), поліетилентерефталат (PET), полістирен (PS), поліетилен високої щільності (HDPE), поліамід (Nylon), полівінілхлорид (PVC) та поліпропілен (PP).

До того ж, як наслідок даних процесів також визначається і публічна необхідність розв'язання актуальних проблем забруднення біосфери Землі елементами пластику. Таким чином, платформи активістів і міждержавні альянси декларували пріоритетність нівелювання деструктивних результатів промислово-індустріальної інтервенції людини у флору й фауну, ліквідацію аберацій, пов'язаних з вимиранням окремих організмів через експансію пластикових відходів у дестинації морів, океанів та суходолу, колегіальну уніфікацію спільної політики держав за кон'юнктури протидії неконтрольованому розширенню обсягів і концентрації використаних полімерно-синтетичних продуктів, а також виділення асигнацій для фінансування науково-освітніх проектів з підвищення кваліфікації цивільного населення у секторі підтримки релевантного стану функціонування біосфери, шляхом сортування пластику

та скорочення статистичних параметрів експлуатації даних біохімічних елементів. До зазначених про-світницьких ініціатив імплементовано рекомендації, закріплені у герменевтиці Тбіліської декларації, апробованої 26 жовтня 1977 року, та Белградської хартії, підписаної 22 жовтня 1975 року [2, с. 18].

Таким чином, авангардом офіційного становлення екологічної науки в системі міжнародних відносин та визначення семантики цієї системи характеризується трактат Ганса Йонаса «Принцип відповідальності. У пошуках етики для технологічної цивілізації», датований 2001 роком. У даній монографії інструменти міждержавного захисту навколишнього середовища експонувалися в якості структур, що аналізують антропогенне втручання людства в природні цикли як передумову акомодатції біосфери Землі відповідно до нових фаз урбанізації [4, с. 270-271].

При цьому, фундаментом для прокламацій Йонаса визначається розвиток Зеленої теорії за підсумками формування Олександром Кінгом та Ауреліо Печчеї організації «Римський Клуб» в 1968 році. До мандату цієї установи делегувалася юрисдикція на дослідження торговельно-суспільних наслідків глобалізації та її впливу в сфері виникнення екологічних змін довкілля, афілійованих з хаотичним накопиченням громадським населенням та індустріальними корпораціями істотного обсягу пластикових відходів у водоймах та на суходолі [5, с. 33-34].

Результатом надання послуг медіації даним консорціумом в межах інкорпорування неогоціанцій акторів транснаціонального мутуалізму стала регламентація міжнародного співробітництва у координатах захисту екосистеми, флори та фауни Землі від забруднення пластиком. Таким чином, за посередництва Римського клубу, Програми «Людина і біосфера» (MAB), Продовольчої і сільськогосподарської організації ООН (FAO), Програми ООН з навколишнього середовища (UNEP), Організації Об'єднаних Націй з питань освіти, науки і культури (UNESCO), Міжнародної морської організації (IMO) і Міжнародного союзу охорони природи і природних ресурсів (IUCN), визначається нормативно-правова ратифікація 1971 року Рамсарської конвенції про водно-болотні угіддя, що мають міжнародне значення, головним чином, як середовища існування водоплавних птахів (Convention on Wetlands).

Більше того, для компонування фактору редукції коефіцієнтів несанкціонованих викидів синтетичних і пластико-полімерних продуктів в навколишнє середовище, учасники глобального політикуму візували Декларацію принципів і План заходів під час Стокгольмської конференції ООН з навколишнього середовища, що проходила 5-16 червня 1972 р., Заключний акт Наради з безпеки і співробітництва в Європі (CSCE) 1 серпня 1975 року, Міжнародну гідрологічну програму (IHP) у 1975 році, Підсумковий документ Віденської зустрічі пред-

ставників держав-учасниць CSCE, організованої в інтервалі 4 листопада 1986 року – 19 січня 1989 року, пункти Всесвітньої стратегії охорони природи у діапазоні 25 вересня 1978 року – 5 жовтня 1978 року, Міжнародну конвенцію щодо запобігання забрудненню з суден (MARPOL 73/78) 2 листопада 1973 року, Конвенцію про запобігання забрудненню моря скидами відходів та інших матеріалів (Marine Dumping) 29 грудня 1972 року, а також Всесвітню хартію природи у 1982 році [6, с. 47-55].

В результаті, в 1989 році за асистування з боку Міжнародної комісії з довкілля та розвитку (WCED), що також оперує конотацією «Brundtland Commission» групою дослідників, мажоритарну роль у якій посідав міністр довкілля Норвегії Гро Гарлем Брундтланд, було видано монографію «Наше спільне Майбутнє» [7, с. 20].

Цей документ офіційно представив дефініцію «сталого розвитку», що визначав кон'юнктуру необхідності збільшення ролі екологічних аспектів у моделі інтернаціонального соціально-адміністративного дискурсу [8, с. 222].

Як наслідок, були створені передумови ініціювання активної реєстрації фракцій в парламентах держав, що лобіюватимуть необхідність трансферу проблемам навколишнього середовища та біосфери засадничої ролі в області регулювання подальшої траєкторії удосконалення міжнаціональної синергії.

В результаті, ліберально-демократичні категорії місцевого населення країн Західної Європи, що виступали за детант, роззброєння, а також ліквідацію антропогенних загроз екосистемі планети, включно з пластиком, делегували преференції і вагому підтримку політичним об'єднанням, котрі просували курс «зеленої економіки», стандартизований і кодифікований Комітетом з навколишнього середовища і розвитку міжпарламентського союзу (CESDPU) у 1999 році.

Результатами даних процесів денотуються кулуарні трансформації у Нідерландах в 1989 році, що фіксували інтеграцію до парламентської коаліції «Зелені ліві» кадастру синдикатів, включно з Політичною радикальною партією, Пацифістсько-соціалістичною партією, Євангелістською народною партією, а також Комуністичною партією Нідерландів. За цього, дані парламентські концерни декларувалися іманентними лівоекторній ідеології соціал-демократії, трактуючись як послідовники енвайронменталізму, екосоціалізму, зеленого муніципалізму, геолібертаріанства та теорії політичного реалізму. Паралельно, вони вступали у колізію з фундаменталістськими суб'єктами політикуму Нідерландів, представленими партією «Зелені», котра дистанціювалася від політичних координат, підкреслюючи власну центристську ідеологію та необхідність забезпечення стабільності екології біосфери виключно за межами міських агломерацій.

Ідентичні явища дилатації кількості внутрішньо-політичних акторів, що лобювали зелені екологічні реформи для протидії забруднення морів, океанів та суші пластиковими відходами, актуалізувалася у Фінляндії, Франції, США, Норвегії, Німеччині, Канаді, Швеції та Люксембурзі [9, с. 110-111].

За підсумками інкорпорування політичних партій, атрактивних реалізації комплексних стратегій захисту біосфери, флори і фауни Землі, що також передбачало релевантність обмеження викидів пластику у світовий океан та на ґрунтові поверхні, сформувався фундамент для подальшої нормативно-правової кодифікації акторами міжнародних відносин методології та вектору співпраці у екологічному ареалі. Це детермінувалося передумовою до заснування Міжнародного зеленого хреста (Green Cross International) у діапазоні 1993 року, Європейської екологічної агенції в період 1990 року та Комісії ООН зі сталого розвитку (CSD) у червні 1992 року.

Діяльність окреслених консорціумів забезпечила конвергенцію сучасного міжнародного комплексу договорів з підтримки екосистеми. За цього, дані пакти регулюють процедуру виконання колективних транснаціональних ініціатив захисту навколишнього середовища від забруднення полімерами, а також диверсифікацію компетенцій громадян у секторі раціональної експлуатації та скорочення обсягів споживання синтетичних виробів [10, с. 524-525].

Таким чином, до кадастру конгруентних міждержавних угод входить Протокол про воду і здоров'я до Конвенції про охорону і використання трансграничних водотоків і міжнародних озер, затверджений 17 червня 1999 року. Більше того, під час Конференції ООН з навколишнього середовища і розвитку (ЕСО-92), що була організована у Ріо-де-Жанейро з 3 по 14 червня 1992 року, уряди 178 держав апробували групу актів, які класифікуються фундаментом протекції глобальної екологічної безпеки, включно з едиктом «Порядок денний на ХХІ століття (Agenda 21)», «Конвенція ООН про біологічне і ландшафтне різноманіття», Декларація Ріо «Про екологічний та економічний розвиток», «Декларація Ріо-де-Жанейро по навколишньому середовищу й розвитку» і «Рамкова конвенція ООН про зміну клімату» [11, с. 222].

Паралельно, в інтервалі 19 колоквіуму Генеральної Асамблеї ООН «Планета Земля+5», котрий проходив 23-27 червня 1997 року, делегати країн візували документ «Програма дій з подальшого впровадження «Порядку денного на 21 століття» («Ріо+5»», у діапазоні 8 вересня 2000 року віралізували «Декларацію тисячоліття Організації Об'єднаних Націй», представленуна Саміті тисячоліття ООН, ратифікували 4 вересня 2002 року у межах дипломатичних переговорів Всесвітнього саміту зі сталого розвитку (Ріо+10) конгруентні доктрини «План виконання рішень Порядку денного на ХХІ століття» і «Йоганнесбурзька декларація зі

сталого розвитку», затвердили 22 червня 2012 року легіслативний акт «Майбутнє, якого ми прагнемо» на Конференції ООН з питань сталого розвитку (Ріо+20), узгодили 25 вересня 2015 року директиви «Цілі сталого розвитку» та «Перетворення нашого світу: порядок денний у сфері сталого розвитку до 2030 року», а також санкціонували «Паризьку угоду» 12 грудня 2015 року в інтервалі проведення Конференції ООН з питань клімату (COP21), що регламентувалася Рамковою конвенцією ООН зі зміни клімату (UNFCCC) [12, с. 31].

Головні висновки. Резюмуючи вищевикладений матеріал, варто наголосити, що в умовах сучасної акселерованої модернізації промислових об'єктів і технічних аспектів їх функціонування, а також накопичення високотехнологічних компонентів і апаратних модулів підприємствами США, Японії, Південної Кореї та Тайваню, включно з мікропроцесорами, напівпровідниками і чіпами, актуалізується значний спектр пертурбацій, пов'язаних з екологічним фактором міждержавного діалогу.

На фоні делегування квантитативних інвестицій в економіку країн Азії з боку постіндустріальних держав Європи та Північної Америки, зростає рівень соціально-економічної стратифікації та дисбалансу між контрагентами глобальної економіки. В її рамках держави, що не оперують конкурентоспроможним виробничим потенціалом у кореляції з диверсифікованими центрами конструювання електротехнічної продукції, через низькі параметри статистичних даних, стану освіченості громадян, воєнні колізії та анахронічну транспортно-логістичну систему, де-факто позбавляються привілеїв для залучення інвестицій і асигнувань, що забезпечать форсований онтогенез національного господарства.

Це здійснює деструктивний вплив на реалізацію урядами програм захисту біосфери, екології, а також скорочення вживання та забруднення пластиком ареалів навколишнього середовища, що аргументується відсутністю конгруентних даним потребам бюджетних дивідендів. При цьому, в ідентичних умовах відбувається ініціювання рецесії якості життя населення, що також дефініціюється каталізатором формування проблем в екосистемі регіонів через активну експлуатацію населенням потенціалу агарного, лісо-заготівельного і гірничодобувного комплексу держави, що комбінується з відсутністю компетенцій сортування та утилізації полімерно-синтетичних продуктів.

Паралельно, в контрасті, високорозвинені актори міжнародних відносин в Азіатсько-Тихоокеанському, Європейському та Північноамериканському регіоні, що є основними бенефіціарами капіталовкладень у власну економічну модель, оперують прийнятними обсягами валютних засобів для субсидування захисту навколишнього середовища. Таким чином, дані аспекти характеризуються основою сучасної диференціації стану впровадження екологічно-цен-

тричного теоретико-ідеологічного комплексу та фактичної гетерогенності результатів праксеологічного функціонування Зеленої теорії у різних геополітичних областях.

Перспективи використання результатів дослідження. У науковій праці здійснено вивчення хронології апробації міжнародних договорів та заснування транснаціональних організацій, які регулюють глобальну кооперацію в сегменті скорочення обсягів забруднення екосистеми пластиківими відходами.

Виходячи з цього, необхідно констатувати, що найбільш ефективним вектором експлуатації матеріалів статті трактується аргументування перего-

ворних позицій держав в інтервалі прелімінаріїв та неогоціацій, реалізованих для кодифікування глобального партнерства у сфері диверсифікації технологій і стандартів утилізації полімерно-синтетичних товарів. За умов імплементації статистичних даних наукової роботи до процедури транснаціонального екологічного співробітництва, фактор забруднення пластиком екосистеми Землі продовжить оперувати фундаментальним положенням в конструкції міждержавного дискурсу, характеризуючись одною із головних траєкторій геофінансових інвестицій, а також рентабельним варіантом для здійснення інтернаціональних експериментальних проєктів та екологічних ініціатив.

Література

1. Гирич О. Т. Екологічна політика у трансформації системи міжнародних відносин : дис. ... канд. політ. наук : 23.00.04 / Київ. ін-т всевітньої історії НАН України. Київ 2017. 249 с.
2. Оленіч К. В. Глобальне партнерство в екологічній сфері. *Зелена економіка та низьковуглецевий розвиток: міжнародний та національний вимір* : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. Київ : Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, 2020. С. 17–21.
3. Нестеренко Н. М. Адміністративно-правові засади реалізації екологічної функції держави : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. юрид. наук : 12.00.07. Київ, 2011. 25 с.
4. Колісник М. Етика міжособистісного і сучасна техногенна цивілізація *Zrównoważony rozwój – debiut naukowy 2011* / за ред. Т. Jemczura, Н. Kretek. Racibórz : Rada Wydawnicza Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Raciborzu, 2012. С. 269–274.
5. Лук'янова О. М. Міжнародні організації : конспект лекцій. Харків : УкрДУЗТ, 2021. 76 с.
6. Забезпечення екологічної безпеки : підручник / Сарапіна М. В. та ін. Харків: НУЦЗУ, 2019. 246 с.
7. Agenda 21. United Nations Conference on Environment & Development Rio de Janeiro, Brazil, 3 to 14 June. 1992. P.226-240
8. Мусіна Л. А. Взаємний вплив економіки та природного середовища в сучасному світі: політика, стратегії, технології : монографія. Київ : УкрІНТЕІ, 2012. 260 с.
9. Копинець Ю. Ю. Вплив сучасних тенденцій розвитку партійних систем країн Європейського Союзу на еволюцію та функціонування партійної системи України : дис. ... канд. політ. наук : 23.00.02 / Ужгород. нац. ун-т. Ужгород, 2021. 269 с.
10. Казакова Н. А. Роль міжнародних організацій у вирішенні глобальної екологічної проблеми сучасності. *Сучасна наука: інновації та перспективи*: зб. матеріалів доп. учасн. IX Міжнар. наук.-практ. конф. SSPG Publish, Стокгольм, Швеція. 2022. С. 521–526.
11. Добровольський В. В. Екологічні знання : навч. посіб. Київ : Професіонал, 2005. 299 с.
12. Купчення, Л. Концепція сталого розвитку в системі міжнародного екологічного права. *ScienceRise: Юридична наука*, 2022. № (2(20)), С. 29–33.

СПОСІБ ОЦІНЮВАННЯ СОЛЕСТІЙКОСТІ ГЕНОТИПІВ ПШЕНИЦІ НА ПОЧАТКОВИХ ЕТАПАХ ОРГАНОГЕНЕЗУ

Пикало С.В., Юрченко Т.В., Харченко М.В., Шадчина Т.М.
Миронівський інститут пшениці імені В.М. Ремесла
Національної академії аграрних наук України
08853, с. Центральне
pykserg@ukr.net

Пшениця є однією з стратегічних та незамінних сільськогосподарських культур. На сьогодні необхідно вести селекцію пшениці за створенням сортів, які володіють високим рівнем стійкості до несприятливих чинників довкілля. Засолення ґрунтів, що пов'язане з високою концентрацією розчинних солей натрію в орному шарі ґрунту, завдає аграрному виробництву непоправної шкоди. Для визначення стійкості рослин пшениці до сольового стресу існує ціла низка методів різного принципу дії. Переважна їх більшість на сьогодні неоптимальні, внаслідок чого актуальним залишається завдання створення нових і вдосконалення вже існуючих способів оцінювання солестійкості генотипів пшениці. У представленій роботі наведено порівняльну характеристику різних методів, кожен з яких має свої переваги та недоліки. Розроблено спосіб оцінювання солестійкості генотипів пшениці на початкових етапах органогенезу, який полягає у дії штучно змодельованого стресового фактора, спрямованого проти виживання стрес-чутливих форм. Запропонований спосіб охороняється патентом на корисну модель. Новим є те, що оцінювання солестійкості окремих генотипів проводять за зміною довжини і маси пагонів та головних коренів рослин за наступною схемою: пророщування насіння на дистильованій воді – 17 діб; культивування утворених проростків на штучному субстраті з хлоридом натрію концентрацією 0,15 М – 7 діб; визначення довжини та маси кореневої системи і надземної частини рослин. Суть методу полягає у проведенні оцінювання за лабораторних умов, що дає змогу значно прискорити та спростити відбір солестійких генотипів. Переваги запропонованого методу над традиційними полягають у економії місця, можливості аналізувати велику кількість селекційного матеріалу, контролювати умови зовнішнього середовища та проводити оцінку впродовж року. Розроблений спосіб дасть можливість об'єктивно характеризувати рівень солестійкості перспективних генотипів пшениці та прогнозувати їхню поведінку у відповідних екологічних умовах. Використання даного методу в селекції озимих зернових культур сприятиме створенню нових сортів, які мають цінні практичні властивості. *Ключові слова:* пшениця, спосіб, стійкість, засолення, оцінювання, проростки.

Method for assessing the salt tolerance of wheat genotypes at the early stages of organogenesis. Pykalo S., Yurchenko T., Kharchenko M., Shadchyna T.

Wheat is one of the strategic and indispensable agricultural crops. Today, it is essential to conduct wheat breeding aimed at developing varieties with a high level of resistance to adverse environmental factors. Soil salinization, associated with high concentrations of soluble sodium salts in the arable soil layer, causes irreparable damage to agricultural production. To determine the salt stress tolerance of wheat plants, a variety of methods with different principles of action are used. The majority of these methods are currently suboptimal, making the development of new and the improvement of existing methods for evaluating wheat genotypes' salt tolerance a relevant task. This study presents a comparative analysis of various methods, each with its own advantages and disadvantages. A method has been developed for evaluating the salt tolerance of wheat genotypes at the early stages of organogenesis. This method involves the use of an artificially simulated stress factor that targets the survival of stress-sensitive forms. The proposed method is protected by a utility model patent. Its novelty lies in the assessment of individual genotypes' salt tolerance based on changes in shoot and primary root length and weight, following this scheme: seed germination in distilled water for 17 days; cultivation of the resulting seedlings on an artificial substrate with 0.15 M sodium chloride for 7 days; measurement of root system and shoot length and weight. The essence of the method is the evaluation under laboratory conditions, which significantly accelerates and simplifies the selection of salt-tolerant genotypes. The advantages of the proposed method over traditional ones include space efficiency, the ability to analyze a large amount of breeding material, environmental condition control, and the possibility of year-round evaluation. This method will enable an objective characterization of the salt tolerance level of promising wheat genotypes and allow for forecasting their performance under specific environmental conditions. The application of this method in winter cereal breeding will contribute to the development of new varieties with valuable practical traits. *Key words:* wheat, method, tolerance, salinity, evaluation, seedlings.

Постановка проблеми. Пшениця (*Triticum aestivum* L.) є однією з найважливіших харчових культур, яка відіграє вирішальну роль у харчуванні 35 % населення світу [1; 2]. На сьогоднішній день зміна клімату впливає на низку екологічних чинників, які безпосередньо та опосередковано

визначають адаптивність і продуктивність пшениці [3; 4].

Істотне значення для селекційного вдосконалення пшениці має її стійкість до несприятливих чинників довкілля. Створення сортів з високим потенціалом продуктивності повинно бути напряму пов'язане

з їх адаптивними властивостями протистояти впливу стресових чинників навколишнього середовища. Солестійкість поряд зі стійкістю до інших абіотичних стресорів у сучасних умовах набуває дуже важливого значення [5]. З точки зору рослинництва, засолення визначається як надмірна концентрація розчинних солей у ґрунтах. Якщо концентрація солей є настільки високою, що суттєво знижує водний потенціал, такий стрес називають сольовим. Надмірні концентрації солей в ґрунтових розчинах зменшують врожаї більшості культурних видів і, зокрема, пшениці. Окрім того, збільшення вмісту солі в ґрунті загрожує іригаційному сільському господарству в посушливих регіонах [6]. Процес поступового засолення ґрунту вказує на перспективність створення солестійких сортів пшениці.

Актуальність дослідження. Засолення ґрунтів, що пов'язане з високою концентрацією натрій розчинних солей в орному шарі ґрунту, нині завдає аграрному виробництву непоправної шкоди. Внаслідок безсистемного та безконтрольного проведення меліоративних заходів негативному впливу засолення піддається значна площа земель.

Як відомо, шкідлива дія засолення має комплексний характер і зумовлена як порушенням осмотичного балансу клітин, так і прямим токсичним впливом на фізіологічні та біохімічні процеси у клітині [7; 8]. Основний напрям розв'язання цієї проблеми – створення сортів із високим генетичним потенціалом продуктивності, які можуть реалізувати його незалежно від лімітів середовища. Для стабільного отримання зернової продукції та для селекції загалом суттєве значення має добір генотипів пшениці, здатних переносити засолення ґрунтів [9]. Успіх селекції пшениці на солестійкість значною мірою залежить від правильного оцінювання цієї ознаки у створюваних сортах. Для скринінгу стійких генотипів існує багато технологій зі схожим принципом роботи. Однак на сьогодні жодна з них не є оптимальною, у зв'язку з чим актуальним залишається створення нових і вдосконалення вже наявних способів оцінювання солестійкості селекційного матеріалу пшениці.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Представлені матеріали є частиною таких науково-дослідних робіт: «Скринінг сортів пшениці м'якої озимої на стійкість до абіотичних стресових чинників на початкових етапах органогенезу» (номер державної реєстрації № 0124U005081); «Особливості формування ознак і властивостей зернових культур, які визначають стійкість до абіотичних стресових чинників, в умовах Лісостепу України з використанням біотехнологічних та фізіолого-генетичних методів» (номер державної реєстрації № 0121U100435).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Результати багатьох досліджень засвідчують, що при надлишку солей в проростках гальмуються оби-

дві фази ростових процесів – поділ та розтягування клітин [7; 8; 10]. Причиною гальмування росту проростків на засолених субстратах є пригнічення процесів синтезу, зумовлене акумуляцією підвищеного вмісту іонів солей у клітинах [11]. Ефект гальмування ростових процесів зберігається в умовах засолення протягом усього періоду вегетації, а подальше збільшення концентрації солей пригнічує ростові процеси аж до загибелі рослини [12]. Встановлено, що за однакових рівнів засолення інтенсивність гальмування ростових процесів чітко корелює зі ступенем солестійкості культур і їхніх сортів. [13]. Пшениця характеризується середньою стійкістю до засолення ґрунтів.

Виявлено, що за високих рівнів засолення проростання насіння різко зменшується або припиняється зовсім [14]. Проте ріст проростка пригнічується в засоленому субстраті значно сильніше і за нижчих концентрацій сольового розчину, ніж набухання та наклёвування насіння [13; 14]. Відомо, що тривалий підвищений вміст іонів у ґрунті негативно впливає на низку фізіологічних процесів рослин, викликаючи при цьому анатомічні зміни в рослинних тканинах і органах [12]. Негативна дія високої концентрації солей позначається насамперед на кореневій системі рослин. Коріння рослин при надлишку солей втрачає тургор і відмирає, набуваючи темного забарвлення [15]. Тому відбір рослин за цією ознакою є ефективним підходом у селекції пшениці на стійкість до несприятливих умов довкілля. В якості критерію солестійкості також використовується швидкість подовження листя чи коренів [16].

Інколи у короткострокових експериментах виявляються незначні розбіжності між генотипами, а в тривалих – суттєва різниця за величиною урожайності. Тому деякі автори вважають, що тривалі експерименти із засоленням є неодмінною умовою оцінювання солестійкості сортів сільськогосподарських культур [17].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. В умовах значного поширення і постійного збільшення площ засолених ґрунтів оцінка ступеня солестійкості рослин набуває важливого значення в селекційній практиці. Це обумовлює необхідність розробляти об'єктивні і надійні методи для проведення цієї оцінки. Для скринінгу солестійких генотипів існує багато технологій зі схожим принципом роботи. Нині є метод відбору рослин на солестійкість, заснований на аналізі параметрів урожайності у польових умовах [18; 19]. За критерій солестійкості рослин тут використовують ступінь зниження їх продуктивності при засоленні порівняно з оптимальними умовами. З погляду практичного значення цей спосіб вважається найбільш достовірним та об'єктивним. Проте часом буває важко або навіть неможливо створити два фони вирощування (оптимальний і екстремальний). Складність цього методу поля-

гає також у просторовій гетерогенності фізичних і хімічних властивостей ґрунту, а також у сезонних коливаннях кількості атмосферних опадів.

Існує також спосіб, за якого використовуються вегетаційні приміщення з контрольованими умовами вирощування, де в якості основного критерію стійкості рослин використовують накопичення більшої біомаси при сильному засоленні порівняно з контролем [20]. Проте для виявлення реальної солестійкості сортів зернових культур необхідно проводити тривалі експерименти – від двох тижнів до кількох місяців, що є непрактичним для скринінгу великої кількості генотипів або відбору солестійких нащадків.

Як критерій солестійкості може слугувати відсутність пошкодження листя рослин, що культивуються на засоленому субстраті [9]. При цьому токсичний ефект солей на рослину полягає у їх високій концентрації в цитоплазмі і клітинній стінці. Разом з тим, осмотичний ефект солі може призвести до прискореного старіння листя у зв'язку з дефіцитом в них води. Окрім того, можливий також дефіцит одних або надлишок інших іонів, що в кінцевому рахунку призводить до отримання хибних результатів.

У зв'язку з цим, для оцінки солестійкості, як правило, застосовують лабораторні методи, які дозволяють дати первинну оцінку зразкам і відібрати на початкових етапах перспективні генотипи.

Мета роботи – розробити спосіб, який дозволить зручно, швидко і з необхідною вірогідністю оцінити та відібрати солестійкі генотипи пшениці на ранніх етапах органогенезу, що в кінцевому рахунку дозволить прискорити селекційний процес і зменшити трудові витрати.

Новизна. Розроблено спосіб оцінювання солестійкості сортозразків пшениці на початкових етапах органогенезу, що обумовлений здатністю рослин різних сортів неоднаково рости на сольових розчинах. Запропонований спосіб охороняється патентом на корисну модель (№ 158664 від 05.03.2025, бюл. № 10) [21]. Суть методу полягає в тому, що він проводиться в лабораторних умовах і дає змогу значно прискорити та спростити відбір солестійких зразків. Новим є те, що оцінку солестійкості генотипів проводять за зміною довжини і маси пагонів та головних коренів рослин за наступною схемою: пророщування насіння на дистильованій воді – 17 діб; культивування утворених проростків на штучному субстраті з хлоридом натрію концентрацією 0,15 М – 7 діб; визначення довжини та маси кореневої системи і надземної частини рослин.

Методологічне або загальнонаукове значення. Запропонований спосіб оцінювання солестійкості генотипів пшениці на початкових етапах органогенезу доповнить методологію та сприятиме створенню нових сортів із цінними практичними властивостями. Спосіб може бути використаний у селекційних центрах, науково-дослідних установах та на дослідних станціях.

Виклад основного матеріалу. Найбільш близьким по технічній суті є аналогічний спосіб, який полягає у пророщуванні насіння на сольових розчинах з хлоридом натрію [22]. Відібрані партії здорового насіння пророщують у розчинах солей хлориду натрію концентрацією 8 атм. Як показник обліку використовують енергію проростання та лабораторну схожість. Критерієм солестійкості при цьому є зміна цих величин порівняно з такими ж величинами для насіння, що проростає на воді без солі. Чим більша зміна цих показників при засоленні, тим меншою є солестійкість рослин.

Проте недоліком вказаного методу є те, що швидкість проростання та схожість насіння за селективних умов може залежати не лише від стійкості генотипу, але і значною мірою від стану зародка і насіннєвих оболонок. Причиною цього є відмінність процесів, які регулюють розтягнення клітин під час проростання і подальшого зростання. Поглинання води насінням і подальше його набухання є переважно фізико-хімічними процесами на відміну від біохімічних, які контролюють поділ клітин і їхнє розтягнення у період росту. Тому відбір генотипів в умовах сольового стресу лише за енергією проростання та схожістю насіння не завжди є ефективним.

Найбільш надійну оцінку посухостійкості рослини можна отримати, аналізуючи її життєві показники в умовах штучно змодельованого стресового чинника. Особливий інтерес представляють методи ранньої діагностики на проростках, оскільки вони дають можливість проводити оцінку впродовж року і аналізувати велику кількість селекційного матеріалу.

Поставлене завдання вирішується тим, що в запропонованому способі оцінювання генотипів проводять за зміною довжин пагонів та головних коренів рослин в умовах штучно модельованого стресового чинника. Вивчення солестійкості пшениці на початкових фазах росту і розвитку рослин дасть змогу визначити рівень сольового стресу на кореневу систему, надземну частину та рослину в цілому.

Запропонований спосіб включає нижче перераховані процеси. Досліди проводять у двох варіантах (контрольний – дистильована вода, дослідний – сольовий розчин) та трьох повтореннях (по 15 насінин в кожному), використовуючи виповнене насіння однієї репродукції. Для обох варіантів використовують пластмасові прямокутні кадри (розміром 39 см × 58 см × 22 см) та пластикові пластини (розміром 62 см × 41 см) з 23-а повздовжніми вирізами (розміром 32 см × 0,4 см). Пластини мають розмір відповідний до кадрів. Фільтрувальний папір (розміром 28,5 × 23,0 см) вставляють у вирізи на пластинці так, щоб утворилася борозна. При розміщенні пластини на кадру фільтрувальний папір має бути майже повністю зануреним у воду. На пластині створюють 21 борозенку, в кожному з яких розклада-

ють сухе насіння в кількості 15 шт. У кастри наливають дистильовану воду об'ємом 22 л, після чого розміщують на них пластини з насінням. Насіння обох варіантів таким чином пророщують 17 діб до появи 2-3 листків за температури повітря від +18 °C до +21 °C. Через 17 діб кастру дослідного варіанту звільняють від дистильованої води, а натомість заливають 22 л попередньо підготовленого розчину хлориду натрію концентрацією 0,15 М. В подальшому рослини продовжують відрощувати ще 7 діб. У контрольному варіанті рослини продовжують рости на дистильованій воді, а у дослідному – на сольовому розчині. Надалі визначають довжину та масу кореневої системи і надземної частини рослин, порівнюючи отримані результати. Чим менша різниця між показниками контрольного та дослідного варіантів, тим вища солестійкість рослини.

Головні висновки. Таким чином, у результаті дослідження розроблено спосіб оцінювання солестійкості генотипів пшениці на початкових етапах органогенезу, який полягає у дії штучно змодельованого стресового фактора, спрямо-

ваного проти виживання стрес-чутливих форм. Запропонований спосіб охороняється патентом на корисну модель. Наведено порівняльну характеристику різних методів щодо оцінювання зразків на стійкість до засолення. Переваги запропонованого методу над традиційними полягають у економії енергозатрат, можливості працювати з великими вибірками зразків та контролювати умови зовнішнього середовища. Представлені дослідження орієнтовані на розвиток розуміння реакцій рослин на сольовий стрес та широке впровадження нових методів для вирішення прикладних завдань селекції пшениці.

Перспективи використання результатів дослідження. Розроблений спосіб дасть можливість об'єктивно характеризувати рівень солестійкості перспективних генотипів пшениці та прогнозувати їхню поведінку у відповідних екологічних умовах. Використання даного методу сприятиме розв'язанню проблеми стійкості пшениці до несприятливих чинників довкілля та створенню нових сортів, які мають цінні практичні властивості.

Література

1. Filip E., Woronko K., Stępień E., Czarniecka N. An overview of factors affecting the functional quality of common wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Molecular Sciences*. 2023. Vol. 24. Iss. 8. 7524.
2. Tadesse W., Sanchez-Garcia M., Assefa S. G., Amri A., Bishaw Z., Ogbonnaya F. C. Genetic gains in wheat breeding and its role in feeding the world. *Crop Breeding, Genetics and Genomics*. 2019. Vol. 1. e190005.
3. Johansson E., Muneer F., Prade T. Plant Breeding to Mitigate Climate Change – Present Status and Opportunities with an Assessment of Winter Wheat Cultivation in Northern Europe as an Example. *Sustainability*. 2023. Vol. 15. Iss. 16. 12349.
4. Zahra N., Hafeez M. B., Wahid A., Al Masruri M. H., Ullah A., Siddique K. H., Farooq M. Impact of climate change on wheat grain composition and quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2023. Vol. 103. Iss. 6. P. 2745–2751.
5. Almansouri M., Kinet J., Lutts S. Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Plant Soil*. 2001. Vol. 231. No. 2. P. 243–254.
6. Деркач І.В., Романюк Н.Д. Вплив засолення ґрунту на рослинні організми. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія Біологія*. 2016. Вип. 3/4 (67). С. 91–106.
7. Krasensky J., Jonak C. Drought, salt, and temperature stress-induced metabolic rearrangements and regulatory networks. *Journal of Experimental Botany*. 2012. Vol. 63. Iss. 4. P. 1593–1608.
8. Bartels D., Sunkar R. Drought and salt tolerance in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2005. Vol. 24. Iss. 1. P. 23–58.
9. Munns R., James R. A. Screening methods for salinity tolerance: a case study with tetraploid wheat. *Plant and Soil*. 2003. Vol. 253. Iss. 1. P. 201–218.
10. Frensch J. Primary responses of root and leaf elongation to water deficits in the atmosphere and soil solution. *Journal of Experimental Botany*. 1997. Vol. 48. Iss. 5. P. 985–999.
11. Hedref T., Bengu T. A physiological investigation on the mechanisms of salinity tolerance in some barley culture forms. *Journal of Forensic Sciences*. Vol. 27. 2004. P. 1–16.
12. Ashraf M., Parveen N. Photosynthetic parameters at the vegetative stage and during grain development of two hexaploid wheat cultivars differing in salt tolerance. *Biologia Plantarum*. 2002. Vol. 45. P. 401–407.
13. Chen Z., Newman I., Zhou M., Mendham N., Zhang G., Shabala S. Screening plants for salt tolerance by measuring K⁺: a case study for barley. *Plant, Cell & Environment*. 2005. Vol. 28. Iss. 10. P. 1230–1246.
14. Barker A.V., Maynard D.N., Mioduchowska B., Buch A. Ammonium and salt inhibition of some physiological processes associated with seed germination. *Physiologia Plantarum*. 1970. Vol. 23. Iss. 5. P. 898–907.
15. Brugnoli E., Bjorkman. Growth of cotton under continuous salinity stress; Influence on allocation pattern, stomatal and non-stomatal components of photosynthesis and dissipation of excess light energy. *Planta*. 1992. Vol. 187. P. 335–347.
16. Munns R., Schachtman D. P., Condon A. G. The significance of a two-phase growth response to salinity in wheat and barley. *Australian Journal of Plant Physiology*. 1995. Vol. 22. Iss. 4. P. 561–569.
17. Rivelli A.R., James R.A., Munns R., Condon A.T. Effect of salinity on water relations and growth of wheat genotypes with contrasting sodium uptake. *Functional Plant Biology*. 2002. Vol. 29. Iss. 9. P. 1065–1074.
18. Van Straten G., De Vos A.C., Rozema J., Bruning B., Van Bodegom P.M. An improved methodology to evaluate crop salt tolerance from field trials. *Agricultural Water Management*. 2019. Vol. 213. P. 375–387.
19. Методика державного сортопробування сільськогосподарських культур / за ред. В. В. Волкодава. 2000. Київ: Алефа, С. 10–50.

20. El-Hendawy S.E., Hu Y., Yakout G.M., Awad A.M., Hafiz S.E., Schmidhalter U. Evaluating salt tolerance of wheat genotypes using multiple parameters. *European Journal of Agronomy*. 2005. Vol. 22. No. 3. P. 243–253.
21. Спосіб оцінювання солестійкості сортозразків пшениці на початкових етапах органогенезу: пат. 158664 Україна: МПК A01H1/04. No 202403040; заявл. 10.06.2024; опубл. 05.03.2025, Бюл. № 10.
22. McKimmie T., Dobrenz A.K. A method for evaluation of salt tolerance during germination, emergence, and seedling establishment. *Agronomy Journal*. 1987. Vol. 79. No. 5. P. 943–945.

ВПЛИВ ЕКОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ СТАН ОРГАНІЗМУ ЛЮДИНИ

Боярчук О.Д., Грановський О.Е.

Державний заклад «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»

вул. Старосвітська, 52, 37600, м. Миргород

boiarchuk.helen@gmail.com, granovskiyalexey77@gmail.com

Екологічні фактори є невід'ємною частиною навколишнього середовища, що впливає на всі аспекти життя людини. Вони можуть бути як природними (наприклад, кліматичні умови, сезонні зміни), так і антропогенними (результат діяльності людини, зокрема промислова діяльність, забруднення та зміна природних ландшафтів). Від впливу екологічних факторів залежить не лише загальний стан здоров'я людини, а й її життєва активність, працездатність та тривалість життя. Забруднення навколишнього середовища – основна причина викликаних зовнішніми умовами різних психічних та соматичних захворювань та передчасної смерті, особливо серед дітей, людей з певними захворюваннями та людей похилого віку. У статті аналізується вплив екологічних факторів на функціональний стан організму людини, зокрема на фізіологічні та біохімічні процеси, що відбуваються в організмі при впливі несприятливих умов навколишнього середовища. Розглядаються основні екологічні чинники, які включають забруднення повітря, води, ґрунтів, а також шумове та світлове забруднення, зміни кліматичних умов та екологічні катастрофи. Важливу роль у статті відіграє дослідження механізмів адаптації організму до цих чинників, а також оцінка їхнього впливу на розвиток різноманітних захворювань, таких як респіраторні, серцево-судинні, онкологічні хвороби, порушення нервової системи, а також ослаблення імунітету. Стаття підкреслює важливість моніторингу стану навколишнього середовища та впровадження сталих екологічних політик, спрямованих на поліпшення якості життя людей. Зроблено висновки про необхідність активної участі громадськості в захисті навколишнього середовища для забезпечення збереження функціонального стану людського організму на оптимальному рівні. *Ключові слова:* екологічні фактори, функціональний стан організму, забруднення, здоров'я людини, хронічні захворювання, екологічні політики.

Influence of environmental factors on the functional state of the human organism. Boiarchuk O., Granovski O.

Environmental factors are an integral part of the environment that affects all aspects of human life. They can be both natural (for example, climatic conditions, seasonal changes) and anthropogenic (the result of human activity, in particular industrial activity, pollution and changes in natural landscapes). The impact of environmental factors affects not only the general state of human health, but also its vital activity, working capacity and life expectancy. Environmental pollution is the main cause of various mental and somatic diseases and premature death caused by external conditions, especially among children, people with certain diseases and the elderly. The article analyzes the impact of environmental factors on the functional state of the human body, in particular on the physiological and biochemical processes that occur in the body when exposed to adverse environmental conditions. The main environmental factors are considered, which include air, water, soil pollution, as well as noise and light pollution, changes in climatic conditions and environmental disasters. An important role in the article is played by the study of the mechanisms of adaptation of the body to these factors, as well as the assessment of their impact on the development of various diseases, such as respiratory, cardiovascular, oncological diseases, nervous system disorders, and weakened immunity. The article emphasizes the importance of monitoring the state of the environment and implementing sustainable environmental policies aimed at improving the quality of people's lives. Conclusions are drawn about the need for active public participation in environmental protection to ensure the preservation of the functional state of the human body at an optimal level. *Key words:* environmental factors, functional state of the body, pollution, human health, chronic diseases, environmental policies.

Постановка проблеми. Екологічні фактори, зокрема зміни навколишнього середовища, кліматичні умови, забруднення повітря, води та ґрунтів, мають значний вплив на здоров'я і функціональний стан організму людини. Природні та антропогенні зміни в навколишньому середовищі можуть суттєво змінити нормальне функціонування різних систем організму, що призводить до порушень фізіологічних процесів, розвитку хвороб, а також загроз для загального стану здоров'я. Незважаючи на численні дослідження в галузі екології та медицини, проблема впливу екологічних факторів на функціональ-

ний стан організму людини залишається недостатньо вивченою, особливо в контексті комплексного впливу кількох екологічних факторів одночасно.

Актуальність дослідження. Екологія як наука займається вивченням взаємодії організмів з навколишнім середовищем, що включає в себе дослідження впливу фізичних, хімічних і біологічних факторів на живі організми. В останні десятиліття екологічні проблеми набули глобального характеру, і питання їх впливу на здоров'я людини стали одними з найбільш обговорюваних у наукових і медичних колах. Стрімкий розвиток промисловості, урбаніза-

ція, забруднення навколишнього середовища, зміни клімату та деградація природних ресурсів безпосередньо впливають на функціональний стан організму людини. Враховуючи значущість цих факторів для збереження здоров'я національного населення, дослідження впливу екологічних змін на людський організм набуває надзвичайної актуальності. Погіршення екологічної ситуації, що спостерігається на планеті, вимагає активних дій як на рівні держави, так і на індивідуальному рівні. Забруднення повітря, води, ґрунтів, зміни клімату та інші екологічні проблеми ведуть до розвитку хронічних захворювань, зниження імунітету, порушення нормального функціонування органів та систем людини. Враховуючи ці обставини, дослідження впливу екологічних факторів на здоров'я людини є важливим аспектом для розробки ефективних методів захисту та адаптації організму до змін навколишнього середовища, що також є основою для розробки політик охорони здоров'я.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Сьогодні зв'язки між навколишнім середовищем та здоров'ям турбують людей набагато більше, ніж на початку 1990-х років, коли інтерес людей та засобів масової інформації більше викликали проблеми стану довкілля [1]. Хоча в останнє десятиліття ми стали свідками безлічі досягнень, що вселяють оптимізм у плані поліпшення навколишнього середовища та здоров'я людини в ХХІ ст., розібратися в складному та запутаному питанні про те, які ж фактори навколишнього середовища завдають шкоди здоров'ю, дуже важко. Тому, наукові та суспільні суперечки з питань довкілля та здоров'я були (наприклад, щодо освинценого бензину та ураження головного мозку у дітей) і є в даний час (наприклад, з приводу антибіотиків, що додаються до кормів для тварин для стимулювання росту, а також проблеми підвищення несприйнятливості людей до антибіотиків) поширеною темою в наукових дослідженнях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Робота зі зміцнення здоров'я людини та навколишнього середовища міцно закріплена в ініціативах, що проводяться ООН та іншими міжнародними організаціями, а також у мандаті, політиці та діях ВООЗ. Глобальні ініціативи, які здійснюються під егідою ООН, включають: Глобальний порядок денний у сфері безпеки у сфері охорони здоров'я (початий у 2014 р. як п'ятирічна багатостороння програма, потім продовжений до 2024 р. Кампальською декларацією 2017 р.), в рамках якої група з 70 країн займається розв'язанням глобальних загроз здоров'ю, що створюються інфекційними захворюваннями [2]; Паризька угода – юридично обов'язковий міжнародний договір щодо боротьби зі зміною клімату, укладений 196 країнами в 2015 р. з метою утримання приросту глобальної середньої температури набагато нижче 2°C порівняно з доіндустріальним рівнем

[3]; Стокгольмська конвенція про стійкі органічні забруднювачі, прийнята в 2001 р. і яка стосується екологічних загроз [4]; Манхеттенські принципи, сформульовані на симпозіумі «Єдиний світ – єдине здоров'я» – список, що складається з 12 рекомендацій щодо застосування більш цілісного підходу до запобігання епідемічних захворювань та підтримки цілісності екосистем на користь людей, тварин та біологічного розмаїття [5].

До ініціатив штаб-квартири ВООЗ входять: Глобальна стратегія ВООЗ у галузі здоров'я, навколишнього середовища та зміни клімату, в якій визнається важлива роль для здоров'я людини наслідків глобальної зміни навколишнього середовища, у тому числі зміни клімату та втрати біологічного розмаїття, а також передбачаються міжсекторальні дії, у тому числі в галузі планування землекористування, сільського господарства, промисловості та енергетики, маючи важливе значення для здоров'я людини [6]. До ініціатив Європейського регіонального бюро ВООЗ належать: Острівська декларація з навколишнього середовища та охорони здоров'я, в якій визнається негативний вплив деградуючого навколишнього середовища на здоров'я людини та виражається рішучість вести профілактику захворювань, пов'язаних з навколишнім середовищем, у тому числі з його забрудненням та зміною клімату, а також покращувати санітарні умови [7]; «Природа, біологічна різноманітність і здоров'я» – оглядова інформація про вплив природного середовища на здоров'я людини, яка розповідає про те, яким чином природа та екосистеми можуть підтримувати та захищати здоров'я та благополуччя людей, у тому числі забезпечувати захист від інфекційних захворювань [8].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Сучасні наукові роботи часто фокусуються на окремих аспектах забруднення навколишнього середовища або змін клімату, але бракує досліджень, що аналізують взаємозв'язок між різними екологічними факторами та їх загальний вплив на здоров'я. Це визначає потребу в додаткових наукових розробках, що дозволяють краще зрозуміти механізми взаємодії між організмом людини та навколишнім середовищем. Дослідження спрямоване на аналіз різноманітних аспектів екологічних змін і визначення їхнього впливу на фізіологічні процеси, розвиток захворювань. Метою даного дослідження є вивчення впливу основних екологічних факторів на функціональний стан організму людини.

Новизна. З огляду на глобальні екологічні виклики, зокрема зміни клімату, забруднення навколишнього середовища та урбанізацію, збереження здоров'я населення стає однією з пріоритетних задач для урядів, науковців та громадськості. Оскільки екологічні загрози набирають глобального масштабу, необхідно розробляти нові підходи, стратегії та інноваційні технології для адаптації людства до

змінюваних умов навколишнього середовища. Це дослідження зосереджено на майбутніх перспективах і новітніх технологіях, які можуть сприяти збереженню здоров'я людей в умовах глобальних екологічних змін.

Методологічне або загальнонаукове значення.

Забруднення навколишнього середовища, зміни клімату, деградація природних ресурсів створюють серйозні загрози для здоров'я людей. Важливим завданням є вивчення цих факторів і розробка стратегій для зменшення їхнього негативного впливу на людину, що вимагатиме комплексного підходу до охорони навколишнього середовища та збереження здоров'я населення.

Виклад основного матеріалу. П'ята рамкова дослідницька програма ЄС у процесі збирання фактичного матеріалу з цього питання дійшла висновку, що: «Найбільш поширені захворювання є результатом впливу поєднання факторів, що виникають у різний час і тривають різні періоди часу. Деякі факти та цифри ілюструють ці проблеми: дія деяких пестицидів під час роботи може підвищити ризик хвороби Паркінсона (паркінсонізму) на 15–20%; близько 10 мільйонів людей у Європі зазнають впливу шуму навколишнього середовища такого рівня, що це може призвести до втрати слуху; вважається, що у всьому світі 3 мільйони людей вмирають передчасно через забруднення повітря; в Європі на астму хворіє одна дитина з семи. Протягом останніх 30 років частота захворювання на алергію, особливо астму, продовжувала різко збільшуватися; вдихання тютюнового диму з навколишнього повітря (пасивне куріння) збільшує ризик раку легень для некурців на 20–30%; тільки у Великій Британії щорічні загальні витрати, пов'язані з астмою, оцінюються більш ніж у 3,9 млрд. євро; у деяких європейських країнах підвищується поширеність раку яєчників, і у більшій кількості молодих людей виявляються низькі показники якості сперми» [9].

Три основні групи забруднювачів повітря мають найважливіше значення для здоров'я людини у зв'язку з якістю зовнішнього повітря: тверді частинки (ТЧ), озон та важкі метали. Наприклад, у 2002 році місячна середня концентрація твердих частинок у повітрі перевищувала стандарт екологічної безпеки у 23 українських містах. Лише 15,3% населення України живе у населених пунктах з низьким рівнем забруднення повітря, 52,8% – із суттєвим забрудненням повітря, 24,3% – із високим забрудненням повітря та 7,6% – у населених пунктах із дуже високим забрудненням повітря [10].

У всьому світі незадовільна якість води та водопостачання, недостатній санітарний контроль та гігієна вважаються другою після неправильного харчування серйозною причиною втрати потенційно здорових років життя через смерть та хворобу. Ряд серйозних інфекційних захворювань, такі як гепатит А, холера і черевний тиф, можуть

поширюватися через заражену питну воду, так само можуть поширюватися кишкові захворювання, що частіше зустрічаються, наприклад, гастроентерит. Згідно з оцінками, у всьому світі на рік налічується близько 4 млрд. випадків діареї, що призводить до 2,2 млн. смертей [10]. Повені також сприяють виникненню захворювань, що передаються через воду; в Україні у 1998 році під час повеней на Закарпатті частота захворювань на черевний тиф перевищила середній показник (0,28 випадків на 100 000 мешканців), досягнувши 6,83 випадків на 100 000 жителів [11].

Існує загальне припущення, що вплив радіації на стан здоров'я пропорційно отриманій дозі опромінення. Чорнобильська аварія поки що є єдиною аварією, якій надали 7 балів за міжнародною шкалою ядерних подій (INES). Майже одразу після Чорнобильської аварії було відзначено серйозні впливи на здоров'я людей. Із 600 співробітників, які перебували на станції під час аварії, 134 отримали високі дози опромінення (0,7–13,4 Гр) та захворіли на променеву хворобу. Близько 200 000 ліквідаторів наслідків аварії отримали дози від 0,01 до 0,5 Гр у період 1986–1987 років. Це група потенційного ризику віддалених наслідків і під ретельним наглядом [12]. Серед тих, хто зазнав впливу радіації в дитинстві до 1999 року було виявлено 1800 випадків раку щитовидної залози [13].

Хімічні речовини, чи впливи антропогенного характеру, що виникли на якомусь етапі життєвого циклу будь-якого продукту або в їжі, або присутні в природному вигляді у навколишньому середовищі у високих концентраціях, можуть надавати безліч різних впливів на здоров'я. Відомості про причинні фактори та хімічні забруднювачі, які можуть сприяти виникненню впливів на здоров'я людини, включаючи особливо схильні до цього впливу групи, узагальнені в табл. 1.

В останні два десятиліття спостерігається зростаюче занепокоєння вчених та публічних дебатів щодо потенційних несприятливих ефектів, які можуть бути результатом впливу групи хімічних речовин (ефекторами ендокринної системи (EDS)), здатних змінити нормальне функціонування ендокринної системи у людей та представників живої природи.

Потенційні наслідки кліматичних змін включають підвищення рівня моря, більш часті та інтенсивні шторми, повені та посухи, зміни біоти та продуктивності їжі. Зміни в екосистемах можуть вплинути на зростання, передачу та активність трансмісивних та інфекційних хвороб, таких як малярія та лихоманка денге. Очевидно, несприятливий впливом на здоров'я людини, прямо чи опосередковано, позначається через складні взаємодії екологічних систем [14]. Прямі ефекти можуть бути результатом змін впливу екстремальних температур і виражатися у збільшенні частоти спричинених спекою захворювань та смертності, але також зменшенням частоти

Таблиця 1

Головні впливи на здоров'я людини та деякий зв'язок із впливом хімічних речовин на довкілля

Вплив на здоров'я	Зв'язок із деякими впливами на довкілля
Інфекційні хвороби	забруднення води, повітря та продуктів харчування; зміна клімату
Рак	куріння та вдихання тютюнового диму з навколишнього повітря (ETS) (пасивне куріння); деякі пестициди, наприклад, феноксигербіциди; азбест; природні токсини; поліциклічні ароматичні вуглеводні, наприклад, дизельних парах; деякі метали, наприклад, кадмій, хром; радіація (включаючи сонячні промені); кілька сотень інших канцерогенів тваринного походження
Серцево-судинні захворювання	куріння та пасивне куріння, вуглекислий газ (CO), свинець, частки, що вдихуються
Респіраторні захворювання, включаючи астму	куріння та пасивне куріння, двоокис сірки, двоокис азоту, частинки, що вдихуються, зважені частки біологічних забруднювачів
Шкірні хвороби	деякі метали, наприклад, нікель; деякі пестициди, наприклад, пентахлорфенол; деякі продукти харчування (алергії)
Репродуктивні дисфункції	поліхлоровані біфеніли, кадмій, фталати та інші пластифікатори, ефектори ендокринної системи
Порушення розвитку (плоду та дитини)	свинець, ртуть, куріння та пасивне куріння, кадмій, деякі пестициди, ефектори ендокринної системи
Розлади нервової системи	свинець, метилова ртуть, марганець, алюміній, деякі розчинники, фосфорорганічні сполуки
Імунна реакція	ультрафіолетове випромінювання, деякі пестициди
Хімічна чутливість	слідової кількості багатьох хімічних речовин

Джерело: EEA/WHO (European Environment Agency/ WHO Regional Office for Europe), 2002. Children's health and environment. A review of evidence. EEA, Copenhagen.

спричинених холодом захворювань. Посуха та опустелювання також можуть прямо та опосередковано несприятливо вплинути на здоров'я людини, наприклад, внаслідок змін у сферах виникнення інфекційних та респіраторних захворювань [15]. Інші критичні кліматичні події можуть призвести до психологічних порушень, хвороб або смерті, побічно викликаючи зростання захворюваності. Хоча існують деякі ознаки того, що ці кліматичні впливи ось-ось почнуть позначатися (зрушення географічного діапазону і більш тривалі періоди трансмісивних захворювань [16], більша частина тяжкості негативного стану здоров'я внаслідок зміни клімату ляже на наступне покоління. Проведена у зв'язку зі зміною клімату політика, в основі якої лежить прагнення уникнути впливу на здоров'я, забезпечить суттєві додаткові ефекти недопущення короткострокового впливу на здоров'я в результаті спалювання вичерпаного палива.

Посилення ультрафіолетової сонячної радіації внаслідок виснаження стратосферного озону обумовлює низку впливів на здоров'я [17]. Прогнозується, що зменшення стратосферного озону на 10% спричинить додаткові 300 000 випадків немеланомного раку шкіри та 4500 випадків меланом на рік у всьому світі [18]. Середнє щорічне відсоткове збільшення частоти немеланомного шкірного раку на кожен 1% зменшення стратосферного озону варіює від 1% до 6%, а для плоскоклітинного раку та базально-клітинного раку – від 1,5% до 2,5%. Протягом остан-

ніх десятиліть з'ясувалося, що вплив «далекого» ультрафіолету (УФВ) може порушити специфічну та неспецифічну імунну реакцію.

Ефективне видалення відходів – одна з основних умов добробуту людей. Видалення відходів (включаючи збирання, транспортування, очищення та остаточне розміщення) є, отже, важливою проблемою санітарного стану довкілля. Місця розміщення відходів, що знаходяться в межах 1 км від місць проживання, садів, сільськогосподарських територій, лікарень, шкіл, дитячих садків або ігрових майданчиків, можуть впливати на добробут та/або здоров'я людини. Користування ґрунтовими водами в радіусі 2 км також може вважатися небезпечним. Дослідження ризику вроджених аномалій поблизу місць поховання відходів в Європі показало 33% підвищення ризику нехромосомних аномалій [19], а результати ще одного дослідження [20] дозволяють припустити схожий ризик збільшення частоти хромосомних аномалій.

Сьогодні діти повсякденно наражаються на низку прихованих небезпек, що походять від мікрозабруднювачів у повітрі, воді, їжі, присутніх у ґрунтах, на поверхнях та в споживчих товарах. До них відносяться нові синтетичні хімічні речовини, яких не було 50 років тому. Діти потенційно більш уразливі для небезпек навколишнього середовища та потребують особливого захисту. Проте, не всюди такий забезпечений, оскільки більшість стандартів безпеки для хімічних речовин ґрунтуються на

даних, отриманих для дорослих, хоча ці стандарти постійно вдосконалюються. Деяка кількість залишків пестицидів у їжі та воді, оскільки вони можуть накопичуватися у дітей при певних режимах харчування, викликають занепокоєння, особливо через можливий вплив на головний мозок та поведінку. Екологічні причини аутизму, синдром дефіциту уваги та гіперактивності (ADHD), зниженого коефіцієнта розумового розвитку в даний час вивчаються, і, мабуть, зумовлюють деяке збільшення частоти цих порушень (табл. 2).

Деякі інші хімічні речовини, які можуть спричинити ураження головного мозку та вплинути на поведінку, – це свинець, ртуть, поліхлоровані біфеніли (РСВ або ПХБ) та діоксини, здатні абсорбуватися через їжу, воду, повітря, поверхні та споживчі товари. Деякі хімічні речовини (ПХБ, діоксини) накопичуються в клітковині і переходять до ембріона та немовляти. Хоча більша частина дози передається через грудне молоко, нижча внутрішньоутробна доза, отримана від матері, виявляється більш небезпечною через більшу вразливість головного мозку плода. Проведено дослідження ролі екологічних забруднювачів у виникненні деяких хвороб у дітей у США. До екологічних причин було віднесено: отруєння свинцем (100%), астма (30%), рак (5%) та нейроповедінкові порушення (10%). Відповідні підрахунки щорічних витрат у зв'язку з цими захворюваннями такі: отруєння свинцем (43,4 млрд. доларів США), астма (2,0 млрд. доларів США), рак (0,3 млрд. доларів США) та нейроповедінкові порушення (9,2 млрд. доларів США). Загальна щорічна сума видатків склала 54,9 млрд.

доларів США, 2,8% від усіх витрат на охорону здоров'я в США [21].

12 травня 2021 року Європейська Комісія затвердила План дій ЄС «Шлях до нульового забруднення повітря, води та ґрунту». Щоб направити дії на шлях досягнення мети 2050 року для забезпечення здорової планети для здорових людей, План дій встановлює орієнтири скорочення забруднення в кожній сфері порівняно з нинішніми рівнями. Ці орієнтири включають: поліпшення якості повітря з метою скорочення на 55% числа передчасних смертей, що спричиняються забрудненням повітря; поліпшення якості води за допомогою скорочення рівня відходів та пластикового сміття в морі на 50%, а рівня забруднення природи мікропластиком – на 30%; поліпшення якості ґрунту за допомогою скорочення втрати поживних речовин у ґрунті та обсягу застосування пестицидів на 50%; скорочення на 25% числа екосистем ЄС, біорізноманіттю яких загрожує забруднення; скорочення на 30% частки населення, що хронічно страждає від транспортного шуму; і значне скорочення загальної кількості відходів, а обсягу залишкових міських відходів – на 50% [22].

Головні висновки. Вплив екологічних факторів на функціональний стан організму людини є важливою проблемою сучасності, оскільки забруднення навколишнього середовища, зміни клімату, урбанізація та інші екологічні виклики мають безпосередній вплив на здоров'я населення. Вивчення цих впливів дає змогу зрозуміти механізми, через які екологічні фактори можуть спричиняти різноманітні захворювання, включаючи респіраторні, серцево-судинні та нервові розлади. У процесі дослідження було

Таблиця 2

Вплив чинників екологічного ризику на здоров'я дітей

Чинники	Перинатальні захворювання	Респіраторні захворювання	Захворювання, які викликають пронос	Захворювання, переносниками яких є комахи
Водопостачання та якість води	x	x	xxx	xxx
Безпека продуктів харчування та гарантія забезпечення їжею	xx	xx	xxx	xx
Санітарний стан та гігієна	x	x	xxx	xxx
Тверді відходи	xx	xx	xxx	xxx
Забруднення зовнішнього повітря	xx	xx	x	x
Забруднення повітря в приміщеннях	xxx	xxx	x	x
Небезпечні хімічні речовини	xxx	x	x	x
Технічні аварії	xx	xx	x	x
Природні небезпеки	xx	xx	xx	xxx

Позначення: XXX – джерело високого ризику; XX – джерело середнього ризику; X – джерело низького ризику
Джерело: WHO, 2003. Making a difference: indicators for children's environmental health. WHO Geneva

виявлено, що забруднення повітря, води та ґрунтів, а також зміни температурних режимів і рівня вологості, безпосередньо впливають на фізіологічні процеси організму, знижуючи його адаптаційні можливості. Особливо вразливими є групи людей, що проживають в умовах високого рівня забруднення, такі як діти, люди похилого віку та особи з хронічними захворюваннями. Міжнародна співпраця, наукові дослідження та впровадження ефективних екологічних політик на глобальному рівні є важливими кроками на шляху до досягнення сталого розвитку та забезпечення здоров'я людства в умовах екологічних змін. Враховуючи комплексність цієї проблеми,

майбутні перспективи збереження здоров'я залежатимуть від інтеграції інноваційних підходів, належної політичної волі та активної участі кожної людини в охороні природи та власного здоров'я.

Перспективи використання результатів дослідження. Екологічні фактори викликають численні зміни на рівні організму людини, що в свою чергу може призводити до розвитку хвороб, порушень фізіологічних процесів і зниження якості життя. Зрозуміння цих механізмів є важливим для розробки подальших заходів щодо профілактики негативних наслідків для здоров'я та адаптації до змін у навколишньому середовищі.

Література

1. Боярчук О.Д., Гришук А.В., Грановський О.Е. Екологія людини: навчальний посібник. Полтава: Вид-во ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2024. 110 с. URL:<https://dspace.luguniv.edu.ua/xmlui/handle/123456789/10317>
2. GHSA (2018). Global Health Security Agenda (GHSA) 2024 framework. Kampala: Global Health Security Agenda. URL:<https://ghsagenda.org/> (last accessed: 4.03.2025)
3. United Nations (2015b). Paris Agreement. New York: United Nations URL:https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf
4. UNEP (2020b). Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (revised 2019). Geneva: United Nations Environment Programme. URL:https://chm.pops.int/Portals/0/Repository/convention_text/UNEP-POPS-COP-CONVTEXT-FULL. English. PDF
5. WCS (2004). The Manhattan Principles. In: One World, One Health [website]. New York: Wildlife Conservation Society. URL:<https://oneworldonehealth.cs.org/About-Us/Mission/The-Manhattan-Principles.aspx>(last accessed: 3.03.2025)
6. World Health Assembly. WHO global strategy on health, environment and climate change: the transformation needed to improve lives and well-being sustainably through healthy environments. World Health Organization. 72.(2019); URL:<https://iris.who.int/handle/10665/328399> (last accessed: 4.03.2025)
7. WHO Regional Office for Europe. Declaration of the Sixth Ministerial Conference on Environment and Health: Annex 1. Compendium of possible actions to advance the implementation of the Ostrava Declaration. 2017. URL: <https://www.who.int/europe/publications/i/item/WHO-EURO-2017-3898-43657-61366> (last accessed: 5.03.2025)
8. WHO Regional Office for Europe (2021b). Nature, biodiversity and health: an overview of the interlinkages. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe. URL:<https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289055581>
9. European Commission, 2002. *Fifth framework programme: Quality of life*. URL: [http:// europa.eu.int/comm/research/quality-of-life/ka4/index_en.html](http://europa.eu.int/comm/research/quality-of-life/ka4/index_en.html) (last accessed: 4.03.2025)
10. WHO (WHO Regional Office for Europe), 2002a. *European health report 2002*. URL: http://www.euro.who.int/europeanhealthreport/20020903_2 (last accessed: 4.03.2025)
11. Ukraine NCP, 2002. Communication to European Environment Agency from national contact point.
12. UNSCEAR (UN Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), 2000. *Sources and effects of ionizing radiation. Volume I: Sources*. Report to the General Assembly with scientific annexes. United Nations Publication, New York.
13. Anon, 2002. *National report on the state of the environment in Ukraine*. Kiev.
14. WHO (World Health Organization), 2002d. *Establishing a dialogue on risks from electromagnetic fields*. Geneva.
15. UNCCD (UN Convention to Combat Desertification) secretariat, 2000. *Down to Earth*. Newsletter, December 2000. Bonn.
16. WHO (WHO Regional Office for Europe), 2002c. *Water and health in Europe*. A joint report from the European Environment Agency and the WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.
17. WHO (WHO Regional Office for Europe, European Centre for Environment and Health), 2002b. *Health risk of heavy metals from long-range transboundary air pollution. Preliminary assessment*. WHO and UNECE, Bonn.
18. UNEP (United Nations Environment Programme), 1994. *Environmental effects of ozone depletion*. Nairobi.
19. Dolk H., Vrijheid M., Armstrong B. Risk of congenital anomalies near hazardous waste landfill sites in Europe: The EUROHAZCON study. 1998. *Lancet* 352: 423–427.
20. Vrijheid M. et al. Chromosomal congenital anomalies and residence near hazardous waste landfill sites. 2002. *Lancet* 259: pp. 320-322.
21. Landrigan P. J. Environmental pollutants and disease in American children: Estimates of morbidity, mortality, and costs for lead poisoning, asthma, cancer, and developmental disabilities. *Environmental Health Perspectives*. 2002. 110(7).
22. Європейський зелений курс: нульове забруднення. DiXi Group. 16.06.2021. URL:<https://dixigroup.org/yezk-nulove-zabrudnennya-infografika/>

ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

УДК 574.8:59.2: 004.7

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.2-59.32>

ПРО ОДИН ПОРІВНЯЛЬНИЙ КРИТЕРІЙ ПО ВІДНОШЕННЮ ДО ПЕВНИХ ЕКОСИСТЕМ, ЛЮДИНИ І СТВОРЕНИХ НЕЮ СИСТЕМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Волошин В.С.¹, Данилова Т.Г.²

Державний заклад вищої освіти «Приазовський державний технічний університет»

вул. Гоголя, 29, 49044, м. Дніпро

vsvlshn52@gmail.com, kvitonk@gmail.com

У статті представлено результати аналізу двох екосистем: популяції мурах та людини і у порівнянні з неорганічним світом штучного інтелекту, створеним людиною. В якості критерію для порівняння береться зміна (зростання) ентропії кожної з аналізованих систем, включаючи деякі їх підсистеми. Такий показник можна використовувати для порівняння багатьох біологічних популяцій і окремих неорганічних систем на планеті. Це дозволяє розглядати такі системи дещо по-іншому, наприклад, у сферах їх існування, співіснування та конкуренції. Термодинамічна складова цього показника дозволяє опосередковано судити про ті природні ресурси, які не використовуються людиною. Прикладом для цього є деякі екосистеми мурах або системи штучного інтелекту. Інформаційна складова зміни ентропії рівнів організації людського суспільства, включаючи ті інформаційні ресурси, які вже створила людина, це можливий напрямок, в якому він здатний послідовно перевершувати найбільш організовані біологічні системи, незважаючи на те, що багатомільйонний досвід їх еволюції дозволяє розглядати як ближчий до оптимального в порівнянні з творіннями рук людських. Слід погодитися з тим, що лише відсутність когнітивної складової в системах штучного інтелекту обмежує їх розвиток, темпи якого і зараз перевищують темпи розвитку будь-яких інших біологічних систем на планеті. І, як приклад, мурахи, незважаючи на 100-мільйонний досвід «колективного розуму», так і не опанували якості когнітивізму. Подібний підхід дозволив у ретроспективному аналізі відзначити можливості створення не просто конкурентного середовища, а перспективи співіснування таких екосистем у співвідношенні до їх часових інтервалів розвитку. Разом з тим, залишається надзвичайно актуальним питання: чи зможуть системи штучного інтелекту з необмеженими інформаційними ресурсами та здатністю до найпростішої логічної екстраполяції оволодіти когнітивними механізмами пізнання та оцінки природної сутності, як це роблять люди, що може стати темою подальших досліджень. *Ключові слова:* популяції, екосистеми, людина, мурахи, штучний інтелект, ентропія, конкуренція та співіснування.

On a comparative criterion for certain ecosystems, humans and artificial intelligence systems created by them. Voloshyn V., Danilova T.

The paper presents the results of a comparative analysis of two ecosystems: populations of ant and human in comparison with the inorganic world of artificial intelligence created by man. As a criterion for comparison, the change (growth) of the entropy of each of the analyzed systems, including some of their subsystems, is taken relate to such systems, for example, in the field of their existence, coexistence and competition. The thermodynamic component of this indicator makes it possible to judge those natural resources that are not used by humans, an example of which are some biological systems of ants or artificial intelligence systems. The informational component of the change in entropy in the levels of organization of human society, including those information resources that man has already created, is a possible direction in which he is able to consistently surpass the most organized biological systems, despite the fact that the multi-million experience of the evolution of these systems allows us to consider them closer to optimal in comparison with the creations of human hands. It should be agreed that only the absence of a cognitive component in artificial intelligence systems limits its development, the pace of which even now exceeds the pace of development of any other biological systems on the planet. Such an approach made it possible to note in retrospective analysis the possibilities for creating not just a competitive environment, but the prospects for the coexistence of such ecosystems in relation to their time intervals of development. At the same time, an extremely relevant question remains open: whether artificial intelligence systems with unlimited information resources and the ability to the simplest logical extrapolation will be able to master the cognitive mechanisms of cognition and assessment of natural essence, as humans do, which may constitute the topic of subsequent research. *Key words:* populations, ecosystems, humans, ants, artificial intelligence, entropy, competition and coexistence.

Постановка проблеми. Беручи до уваги рівень зростаючого техногенного навантаження на природу, роль самої людини і створеного нею штучного неорганічного світу (міста, промисловість, інформаційні та інші мережі, системи штучного інтелекту),

таке протиріччя стає все більш антагоністичним і вимагає нових підходів до вивчення цього явища.

Актуальність дослідження. Стан навколишнього середовища і активна виробнича діяльність здавна поставили людину на перше місце

в списку популяцій з антагоністичним ставленням до Природи, яка її створила. Протиріччя стає непереборним, а в доступній для огляду перспективі – нерозв'язним. Досвід інших розвинених популяційних екосистем на планеті, а також можливості нових систем штучного інтелекту можуть стати своєрідною програмою для людського суспільства з нівелювання існуючих антропогенних дисбалансів, джерелом яких є людина.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Історія біологічної науки знає такі свідомі або колективні функції, які, як вважається, властиві тільки людині, але які мають місце серед деяких інших біологічних систем, наприклад, колективні способи добування їжі, системні колективні рухи, «колективний розум» у деяких комах. Останні привертають до себе особливу увагу хоча б тому, що ще сто мільйонів років тому до людини вони першими у відомій природі оволоділи такими рисами, які здаються характерними тільки для *Homo sapiens*. Це професійна спеціалізація в колективній діяльності, тваринництві, землеробстві та інших функціях, що вимагають колективних рішень від індивідів. Просте

порівняння окремих параметрів і характерних функцій, наприклад, людини і мурашки (табл. 1) дає дуже повчальні результати.

«Колективний розум» у мурах почав еволюціонувати в міру того, як вони почали формувати складні соціальні структури, включаючи спеціалізації за професіями. Здатність мурах працювати як єдине ціле *без явного керівництва з боку однієї особини* (важлива особливість) призвела до значних еволюційних переваг, таких як більш ефективне виконання завдань і виживання в складних умовах. Людина до такого результату (*децентралізованого управління*) прийшла лише через 2 мільйони років свого існування в 21 столітті, створивши так звані технології «blockchain» з розподіленими реєстрами і, об'єктивно, без централізованого управління. Для людини одна з причин великої кількості спеціалізованих професій пов'язана з високим рівнем потреб і їх широкою діяльністю, а велика частина цих видів діяльності пов'язана з взаємодією зі світом неорганічної речовини [6, 7].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Порівняльний аналіз начебто відомих

Таблиця 1

Деякі порівняльні параметри, характерні для мурах і людини в антропометричному і функціональному рядах

Назва системи, ознака	Мурахі	Людина
Загальна кількість особин	$20 \cdot 10^{15}$	$8,1 \cdot 10^9$
Загальна маса, тон	$12 \cdot 10^6$	$5,02 \cdot 10^8$
Макросистема,	Розсередоточений організм	Зсередоточений організм
Мікросистема	Мураха	Клітина
Тривалість життя роду, роки	$1 \cdot 10^8 \div 8 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^6$
Тривалість життя особини	Королева – 5-6 років, робочі мурахі – 30-90 діб	Людина – 70 років, клітина еритроциту – 120 діб, клітина шкіри – 28 діб
Кількість клітин головного мозку	$2,5 \cdot 10^5$ для однієї мурахі $8,6 \cdot 10^{10}$ для 344000 мурах	$8,6 \cdot 10^{10}$ у однієї людини
Форма передачі сигналу в мозковій субстанції	Колективна взаємодія індивідів з підпорядкуванням мозку кожного	Мережа електричних і хімічних зв'язків між нейронами, що опосередковано забезпечує мислення
Умовна форма розуму	Елементи колективного розуму. Відсутність когнітивізму	Індивідуальний розум. Когнітивність
Наявність особистих якостей	Відсутня	Існує
Організація праці	Професійна спеціалізація	Професійна спеціалізація
Число професій	10-15	10000-15000
Рівень та ознаки соціальності	Високий, залежний	Високий, Незалежний
Спосіб спілкування	Опосередкований, тактильний, хімічний,	Прямий, мова
Відходи і ступінь їх утилізації	Органічні, у т. ч. битові – 100%	Органічні, у т. ч. битові – 20%
	Неорганічні – немає	Неорганічні – ~ 15%

Джерело: за даними робіт [1–5]

екологічних (органічних і неорганічних) систем на Землі, зведених до загальних критеріїв оцінки, може дати принципово новий результат у вивченні шляхів сталого співіснування людини і природного середовища. З огляду на те, що практично всі існуючі екосистеми пов'язані з енергетичним обміном, в якості такого показника логічно використовувати зміну ентропії і пов'язані з нею процеси можливого сталого розвитку досліджуваних систем.

Наукова новизна та методологічне значення досліджень складається в тому, що в якості критерія для співставлення деяких екосистем прийнятий показник зміни їх ентропії, і як підсумок, показані перспективи сталого розвитку екосистем, що взаємодіють з людиною та штучним інтелектом.

Викладення основного матеріалу. Час є одним з основних факторів еволюційного розвитку в природі. На рис. 1 показані основні часові інтервали, протягом яких розвивалися досліджувані системи: популяції мурах і людей, а також системи штучного інтелекту як продукт людського розуму. Людський мозок оволодів дещо іншим механізмом прискореної еволюції, ніж інші біологічні системи. В її основі лежить набута властивість *когнітивізму* як самоорганізованої пізнавальної діяльності. Формування «колективного розуму» у мурах було пов'язане з розвитком феромонного інформаційного простору в ранньому крейдяному періоді, а спеціалізація в професіях – з початком так званої еусоціальності.

Дуже короткий, але інтенсивний період розвитку штучного інтелекту дозволяє виявити лише дві його складові в часових інтервалах порівняння: емісія генеративної пам'яті машини і людини, а також

виникнення замісних (для людини) спеціалізацій. Якщо сила активних нейронів у мозку людини дорівнює $2,5 \cdot 10^{15}$ байт, то порівнянна потужність суперкомп'ютера Frontier (США) дорівнює $1,1 \cdot 10^{15}$ байт. Основи промислової спеціалізації людина отримала близько 4,5 тисяч років тому (всього 10-15 тисяч професій), мурахи – сто мільйонів років тому (12-15 спеціальностей), а ШІ – лише кілька десятиліть тому (дані класифікації O*NEET, США), але вже в кількості 470 типів професій.

В якості ще одного показника, який може характеризувати дві розглянуті популяції, а також штучний інтелект, ми будемо використовувати такий узагальнюючий параметр, як зміна (збільшення) ентропії в досліджуваних системах. Це показник ступеня деградації або розвитку, це порівнянний рівень організації досліджуваних систем. Порівняння двох чисто біологічних систем, а особливо з неорганічною системою (штучним інтелектом), що бурхливо розвивається, може бути дуже повчальним для людини. В роботі [8] було показано, що якщо взяти за точку відліку стан термодинамічної рівноваги для кожної з розглянутих систем, то людина в динаміці програє конкуренцію за термодинамічну нерівноважність, за володіння здібностями до розвитку в порівнянні з системами штучного інтелекту. Такі аргументи можуть бути спростовані або підтверджені за допомогою додаткових досліджень.

Термодинамічна складова ентропії для мурашиної суперколонії дає уявлення про можливий розподіл енергії в системі, а її інформаційна складова оцінює невизначеність або обсяг інформації, пов'язаної з їх станами. За точку відліку візьмемо термодинаміч-

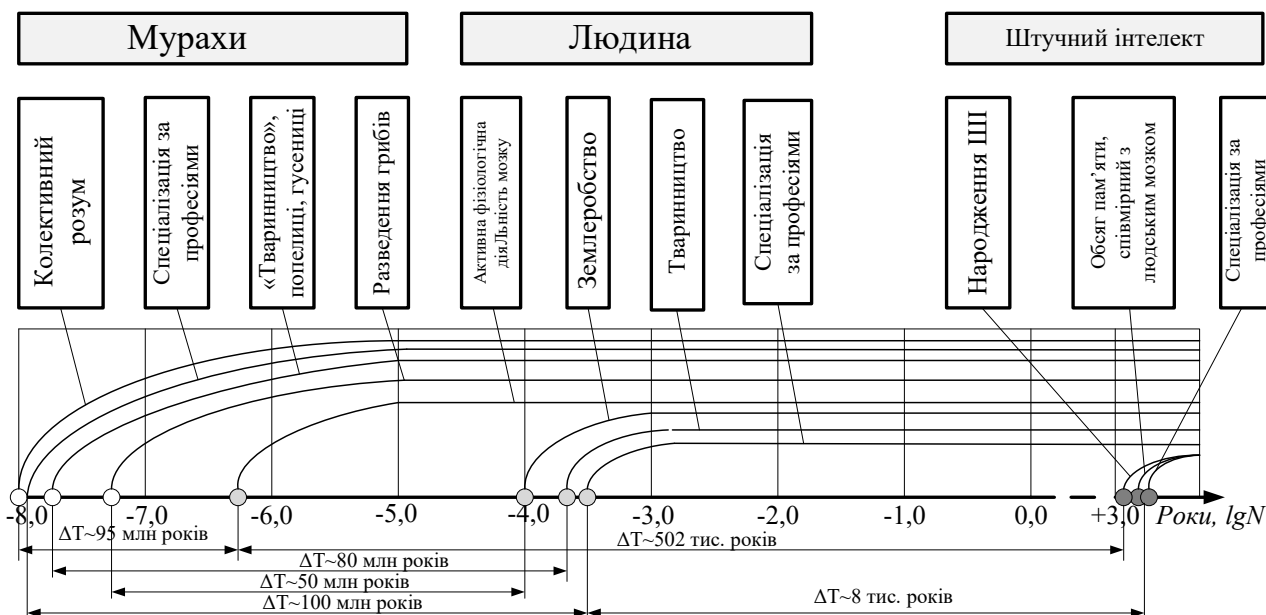


Рис. 1. Позначення в часовому масштабі основних порівнянних еволюційних етапів у розвитку популяцій мурах, людини та штучного інтелекту

ний стан колективного ареалу – суперколонії мурах, який знаходиться на європейському узбережжі Середземного моря. Вихідні дані для розрахунку такої суперколонії будуть взяті з джерел [1, 2, 3].

Термодинамічні характеристики мурашиної колонії можна розрахувати двома способами. Якщо розглядати мурашину колонію як систему теплообміну, де джерелами тепла є нескінченна кількість самих мурах, а також сонячне світло, вентиляційні та ізоляційні системи, то зміна ентропії розраховується відповідно до другого закону термодинаміки $\Delta S = \Delta E / T$, де $\Delta E = 5 \cdot 10^{-28}$ Дж / особину [1]; $T = 291K$ – температура в колонії. Тоді зміна термодинамічної ентропії в суперколонії 10^9 особин за часовий інтервал в одну секунду складе

$$\Delta S = \frac{5 \cdot 10^{-28} \cdot 10^9}{291} = 1,695 \cdot 10^{-21} \text{ Дж} / (K \cdot c).$$

Існує і другий, альтернативний, метод розрахунку, який передбачає взяття за основу хаотичні механізми руху кожного індивіда в повному обсязі. Звичайно, зведення пересування мурах до хаотичного є дещо умовним припущенням, адже вузька спеціалізація кожної мурашки вимагає лише її рухів, організованих певним чином, але в даному випадку, з огляду на велику масу особин, цим можна знехтувати. У класичному випадку для термодинамічної ентропії використовується наступний вираз: $\Delta S = k_b \ln(\Omega)$, где Ω – кількість можливих мікростанів в залежності від чисельності мурах, їх розподілу по території і їх взаємодій (наприклад, форми контактів, генерація феромонів), типу взаємодії (по «професіям»); $k_b = 1,38 \times 10^{-23}$ Дж/К – константа Больцмана.

Параметрами для розрахунку зміни ентропії в даному випадку є:

- опосередкована температура в мурашнику $T = 295K$;
- температура навколишнього середовища $T = 291K$;
- кількість мурах, $N = 10^9$;
- площа колонії $F = 6000 \text{ км}^2$;
- прийнята енергія взаємодії мурах за допомогою феромонів, при русі, а також витрата енергії на підтримку активності, температури тіла, температури гнізда $E = 5 \cdot 10^{-28}$ Дж / особину [1].

Прийняті професії та види взаємодії: збирачі (0,45), солдати (0,15), годувальники (0,115), няні (0,11), будівельники (0,072), санітари (0,04), розвідники (0,035), пастухи (0,03), утилізатори (0,015).

Скористаємося оцінковою моделлю [9], яка описує число можливих мікростанів в залежності від енергії взаємодії E_i , площі окремого i -го ареалу F_i і кількості мурах в i -ом ареалі N_i

$$\Omega \approx \sum \frac{F_i N_i}{E_i} = k_{cp} \sum \frac{N_i^2}{E_i},$$

де k_{cp} – опосередкований коефіцієнт щільності особин, що обслуговують F_i -ю площу.

Розрахунок зміни ентропії зводиться до визначення параметра Ω і отримання значення ΔS , зведеного до одиниці часу

$$\Delta S = 1,38 \times 10^{-23}.$$

$$\cdot \ln \left\{ \frac{0,33}{5 \cdot 10^{-28}} \sum \left[\begin{aligned} &8,77 \cdot (10^9)_{\phi}^2 + 1,34 \cdot (10^9)_{\kappa}^2 + \\ &+ 1,52 \cdot (10^8)_{\kappa}^2 + 1,12 \cdot (10^7)_{\eta}^2 + \\ &+ 4,54 \cdot (10^7)_{cm}^2 + 2,56 \cdot (10^6)_{cn}^2 + \\ &+ 3,31 \cdot (10^6)_{\rho}^2 + 4,89 \cdot (10^5)_{nc}^2 + 0,88 \cdot (10^5)_{\gamma}^2 \end{aligned} \right] \right\} =$$

$$= 1,202 \cdot 10^{-21} \text{ Дж} / (K \cdot c).$$

Цікаво порівняти термодинамічну ентропію людського мозку ($6,4 \cdot 10^{-2}$ Дж/(К·с), обчислена з [8] і популяції $3,44 \cdot 10^5$ мурах, загальний мозок якої за кількістю нейронів приблизно відповідає мозку однієї людини. Припустимо, що в даній популяції зберігається така ж ступінь спеціалізації. Тоді

$$\Delta S = 1,38 \times 10^{-23}.$$

$$\cdot \ln \left\{ \frac{0,33 \cdot 3,44^2}{5 \cdot 10^{-28}} \sum \left[\begin{aligned} &8,77 \cdot (10^5)_{\phi}^2 + 1,34 \cdot (10^5)_{\kappa}^2 + \\ &+ 1,52 \cdot (10^4)_{\kappa}^2 + 1,12 \cdot (10^3)_{\eta}^2 + \\ &+ 4,54 \cdot (10^3)_{cm}^2 + 2,56 \cdot (10^3)_{cn}^2 + \\ &+ 3,31 \cdot (10^3)_{\rho}^2 + 4,89 \cdot (10^2)_{nc}^2 + 0,88 \cdot (10^2)_{\gamma}^2 \end{aligned} \right] \right\} =$$

$$= 0,92 \cdot 10^{-21} \text{ Дж} / (K \cdot c)$$

Інформаційна ентропія – це друга складова системи оцінки взаємодій всередині суперколонії, яка відповідає за впорядкованість і ступінь її організації. Для розрахунку інформаційної ентропії ми будемо враховувати такі параметри:

- *потік* інформації, що передається між мурахами в суперколонії, наприклад, за допомогою феромонів, сигналів про пошук їжі, захисту і т. д.;
- *невизначеність стану* як випадковості, з якою кожен мурашка виконує своє завдання, що збільшує ступінь ентропії;
- *обсяг переданої інформації*, необхідної для опису стану системи (наприклад, місцезнаходження мурах, їх поведінка і т. д.).

Інформаційна ентропія H обчислюється за формулою Шеннона $H = -\sum p_i \log(p_i)$, де p_i – ймовірність того, що система знаходиться у стані i . Для суперколонії мурах ці ймовірності можуть означати, що мураха знаходиться в певному місці або виконує конкретне бінарне завдання, таке як робота або відпочинок, рух або статизм, контакт або його відсутність. Для видів «спеціалістів» з числа розглянутої вище популяції мурах встановимо для них значення ймовірностей з урахуванням даних [1, 9, 10]: $p_{\phi} = 0,7$, $p_{\kappa} = 0,3$, $p_{\eta} = 0,05$, $p_{cm} = 0,05$, $p_{cn} = 0,07$, $p_{\rho} = 0,005$, $p_{nc} = 0,005$, $p_{\gamma} = 0,001$.

Розрахунок зводиться до обчислення зміни ентропії що приходить на одну мурашку за одиницю часу:

$$H = -[0,7 \lg g_2 0,7 + 0,3 \lg g_2 0,3 + 0,1 \lg g_2 0,1 + 0,05 \lg g_2 0,05 + 0,05 \lg g_2 0,05 + 0,07 \lg g_2 0,07 + 0,005 \lg g_2 0,005 + 0,005 \lg g_2 0,005 + 0,001 \lg g_2 0,001];$$

$$H \approx 1,999 \text{ біт/с. Або } H = 1,456 \cdot 0,956 \cdot 10^{-23} = 0,019 \cdot 10^{-21} \text{ Дж/(K} \cdot \text{c)}$$

Для заявленої популяції в 1 мільярд мурах інтегральна інформаційна ентропія може становити: $H_{total} = 1,9 \cdot 10^{-14} \text{ Дж/(K} \cdot \text{c)}$. Далі звернемо увагу на інші локальні розрахункові дані, які дають додаткові результати до вже наявних. Методика розрахунку залишається колишньою.

У термодинамічному аспекті, і в ретроспективі 100 мільйонів років свого існування, мурашині колонії локально набагато більш організовані, ніж більшість з того, що створила людина, включаючи його самого за 2 мільйони років існування. Зростання термодинамічної ентропії у відомих суперколоніях на кілька порядків нижче, ніж зростання ентропії в системах, створених людиною, в тому числі і його мозком.

Мурашині поселення характеризуються дуже дбайливим ставленням до наявного тепла. Його зберігають для підтримки оптимальної температури (18°C) на догоду личинкам, попелиці, одомашненим гусеницям, грибів. Існують раціонально побудовані вентиляційні канали, які відводять зайве тепло з території колонії, тим самим мінімізуючи можливе зростання ентропії. Урбосистеми, на відміну від мурашиних поселень, запрограмовані на втрати енергії у вигляді централізованих перетоків теплоносіїв для обігріву житлових приміщень, втрат в водних магістралях та ін. Важливим джерелом зростання ентропії в урбосистемах є транспортна система, промислові підприємства, системи виробництва енергії, кожна з яких має запрограмоване збільшення ентропії з тієї частини енергії, яку вона споживає, тим самим підвищуючи ступінь втрати енергії в таких термодинамічних системах. Зокрема, теплові втрати в суперколонії мурах $1 \cdot 10^9$ особин за рахунок вентиляційних каналів в кількості 120 од/га і з середнім діаметром $\sim 0,006 \text{ м}$ складають $1,27 \cdot 10^{-14} \text{ Дж/добу [1]}$, що відповідає зміні ентропії $\Delta S \approx 4,35 \cdot 10^{-22} \text{ Дж/(K} \cdot \text{c)}$. Втрати тепла

через ґрунт будуть набагато менше. Для порівняння, втрати тепла від розподілу енергії для потреб міста з населенням 1 млн осіб і площею 700 км^2 осіб (без урахування промислової складової) перевищують $5,18 \cdot 10^5 \text{ Дж/добу}$, що відповідає зростанню ентропії $\Delta S \approx 0,0198 \text{ Дж/(K} \cdot \text{c)}$. Різниця в термодинамічній ефективності вимірюється десятками порядків.

Мозок людини – це компактна нейронна система з відносно низьким енергоспоживанням (20 Вт), на відміну від розподіленого колективного мозку мурашки, кожна умовна клітина якого потребує на порядки менше енергії внаслідок синергетичних ефектів і поступається людському мозку за функціональністю.

У свою чергу, нейронна мережа, наприклад, з розмірністю 32 біта, в залежності від обсягу (10^9 параметрів), а також структура даних і використовуваних алгоритми, як носії штучного інтелекту, у вигляді неорганічної системи, вимагає величезних, в порівнянні з мозком людини або мурашки, енергетичних витрат (умовно до 1,0 кВт). І, як будь-яка штучна неорганічна система, створена людиною, вона запрограмована на значні великі втрати енергії і збільшення ентропії в опосередкованих розмірах $\Delta S \approx 9,2 \text{ Дж/(K} \cdot \text{c)}$.

Узагальнимо отримані дані в таблиці 2, де можна буде оцінити ефективність такого показника, як ентропія системи як критерій організації і можливості розвитку розглянутих біологічних і неорганічних систем.

Таким чином, показник термодинамічної ентропії в ретроспективі розвитку показує значні відмінності між тим, що людина створила за 2 мільйони років свого існування на основі неорганічних систем (міста, машини, підприємства, комунікації, мережі) і організованим біологічним світом, який був створений і вдосконалений нашими аналогами – мурашиними колоніями – протягом 100 мільйонів років. Тією мірою, якою їх некогнітивний «колективний розум» дозволяє їм це робити.

Інші результати є в області інформаційної ентропії. Тут переваги людини і всього доступного, що він створив, на кілька порядків вище, ніж у мурашиних популяцій з їх стомільйонною історією.

Таблиця 2

Порівняльні дані про зміну ентропії для деяких органічних і неорганічних систем

№ з/п	Ім'я системи		Зміна ентропії, Дж/(K·с)	
			термодинамічної	інформаційної
1	Мурашина популяція	$N = 10^9$	$1,202 \cdot 10^{-21}$	$1,9 \cdot 10^{-14}$
		$N = 3,44 \cdot 10^5$	$0,92 \cdot 10^{-21}$	$1,9 \cdot 10^{-14}$
2	Мозок людини		$6,4 \cdot 10^{-3}$	$6,91 \cdot 10^{-20}$
3	Урбосистема с $N = 1 \cdot 10^6$		$1,98 \cdot 10^{-2}$	$1,44 \cdot 10^{-17}$
4	Система штучного інтелекту		9,2	$3,5 \cdot 10^{-18}$

Людський мозок, в силу своєї когнітивності, створює величезну палітру потреб і одягає їх у все зростаючі інформаційні потоки (потреби в якості життя, способи досягнення, результати, втрати, відповідність запрограмованому і т. д.), які до недавнього минулого перероблялися сумірними можливостями самого мозку і паперових носіїв, а пізніше за допомогою комп'ютерних технологій – з величезними, по швидкості обробки, можливостями. А останні є штучно створеними людиною неорганічними системами. В результаті більш ефективним стає людський мозок, який сам по собі є унікальним інформаційним інструментарієм в біологічному світі, ефективність якого натеper на багато порядків перевищує все, що існує в біологічному світі. Це підтверджується мінімізацією зміни інформаційної ентропії для таких систем (Табл. 2).

Мурашині колонії зі своїм «колективним мозком», на відміну від людей і систем штучного інтелекту, мають набагато менший набір інформаційних інструментів.

Це – тактильні органи почуттів, на їх частку припадає не більше $6,5 \cdot 10^{-15}$ Дж/((К·с) інформаційних ентропійних витрат;

– феромонні залози, $3,1 \cdot 10^{-14}$ Дж/((К·с) втрати інформаційної ентропії;

– мінімальний набір потреб – харчування і біологічна підтримка, розмноження, безпека, що корелює з $1,8 \cdot 10^{-14}$ Дж/((К·с) інформаційного ентропійного навантаження.

Сюди можна додатково віднести спеціалізацію праці, яка вимагає від виконавців, з одного боку, менших інформаційних витрат, але більших витрат на комунікативні відносини між групами осіб. Такий мінімум необхідної інформації для мурашиних колоній робить їх уразливими за багатьма показниками життєздатності, на відміну від людини.

В цілому можна зробити висновок, що інформаційна складова на рівнях організації людського суспільства, в тому числі і тих інформаційних систем, які вже створила людина, є можливим напрямком, в якому він зможе послідовно перевершити найбільш організовані біологічні системи, навіть незважаючи на те, що багатомільйонний досвід еволюції деяких з цих систем дозволяє розглядати їх ближче до оптимальних в порівнянні з творіннями рук людських. У розвитку інформаційної складової людського буття вбачається перспектива

її розвитку як симбіозу органічної та неорганічної речовини.

Повертаючись тепер до рис. 1, можна сформулювати логічне припущення, що якщо штучний інтелект завдяки своєму необмеженому кількісному інформаційному ресурсу досягне здатності оволодівати однією і тією ж властивістю – когнітивними взаємодіями, то швидкість його розвитку буде непорівнянною навіть у порівнянні з темпами розвитку людини. І наслідки такого еволюційного руху в значно коротші проміжки часу матимуть уже не характер еволюційного, але революційного розвитку, відкриваючи нові можливості для неорганічного світу, якщо продовжувати порівнювати його зі світом біологічного життя.

Відкритим залишається питання: чи зможуть системи штучного інтелекту, що володіють необмеженим інформаційним ресурсом і здатністю здійснювати найпростішу логічну екстраполяцію, оволодіти когнітивними механізмами пізнання і оцінки природної сутності, як це робить людина.

Головні висновки та перспективи використання результатів дослідження.

1. Запропонований показник ефективності, а саме зміна (зростання) ентропії, який може бути використаний для порівняння багатьох біологічних популяцій, екосистем та окремих неорганічних систем на планеті, дозволяє розглядати такі системи дещо по-іншому, наприклад, з точки зору їх існування, співіснування та конкуренції.

2. Термодинамічна складова цього показника дозволяє судити про ті природні ресурси, які не використовували людиною, та прикладом яких є мурашині екосистеми або системи штучного інтелекту.

3. Мінімізація інформаційної складової ентропії на рівнях організації людського суспільства, в тому числі і тих інформаційних систем, які вже створила людина, є можливим напрямком, в якому він зможе послідовно перевершити найбільш організовані біологічні системи, незважаючи на те, що багатомільйонний досвід еволюції цих систем дозволяє розглядати їх ближче до оптимальних в порівнянні з творіннями рук людини, та може стати предметом подальших досліджень.

4. Людина не може не погодитися з тим, що тільки відсутність когнітивної складової в системах штучного інтелекту обмежує їх розвиток, темпи якого і зараз перевищують темпи розвитку будь-яких інших біологічних систем на планеті.

Література

1. Hölldobler B., Wilson E. O. The Superorganism: The Beauty, Elegance, and Strangeness of Insect Societies. W.W. Norton & Company New-York, 2009. P. 103-120.
2. Guerrieri F., et al. Ecological characteristics of the Argentine ant (*Linepithema humile*) supercolony in the Mediterranean region. *Insectes Sociaux*, 2010. 57(1). P. 1-8.
3. Sundström L., et al. Colony fusion and colony splitting in the Argentine ant: supercolonies, territory dynamics and their consequences. *Behavioral Ecology*, 1996. 7(2). P. 160-169.

4. Tsutsui N. D., Suarez, A. V. The Colony Structure and Distribution of the Argentine Ant (*Linepithema humile*) in California and the Mediterranean. *Biological Invasions*, 2003. 5(1). P. 1-10.
5. Tsuji K. The formation and expansion of supercolonies of the Argentine ant, *Linepithema humile*, in Japan. *Biological Journal of the Linnean Society*, 2006. 87(2). P. 253-261.
6. Harari, Y. N. *Sapiens: A Brief History of Humankind*. London, Harper, 2011. 443 p.
7. Diamond, J. *Guns, Germs, and Steel*. New York, W.W. Norton & Company. 1997. 480 p.
8. Волошин В. С., Азархов О. Ю. Чому людина починає програвати конкуренцію за термодинамічну нерівноважність, як фактор розвитку в навколишньому техногенному середовищі. *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки*. 2024. Вип. 49. Т. 2. С. 86-93.
9. Gordon D. M. *Ant Encounters: Interaction Networks and Colony Behavior*. Front Cover. Princeton University Press. 2010. 152 p.
10. Moffett M. W. *Adventures Among Ants: A Global Safari with a Cast of Trillions*. University of California Press. 2010. 474 p.

ЗМІНА КЛІМАТУ

УДК 551.583:504.05

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.2-59.33>

ВПЛИВ ЗМІН КЛІМАТУ НА МІСЬКІ ЗЕЛЕНІ ЗОНИ

Гуреля І.В., Василенко О.В.

Уманський національний університет
вул. Інститутська, 1, 20300, м. Умань
ivan.gurelya@ukr.net, vsolga05@gmail.com

Основні аспекти змін клімату в Україні, що спостерігаються за останні десятиліття: підвищення середньорічної температури, зміни в режимі опадів, зміщення сезонів, зростання частоти екстремальних погодних явищ, зміни в біорізноманітті. Зелена інфраструктура має низку потенціалів щодо пом'якшення наслідків зміни клімату та адаптації в міських районах. Міські зелені насадження відіграють ключову роль у покращенні якості навколишнього середовища, життєздатності та стійкості міст. Міська зелень забезпечує значне покращення мікроклімату, тому, що рослинність може знизити високі літні температури повітря і тим самим допомогти пом'якшити міську спеку та «ефект теплового острова». Рослинність забезпечує охолодження простору кількома способами, а саме транспірацією рослин, випаровуванням, затіненням поверхонь і відбиття випромінювання. Тополя та клен мають найвищі показники охолодження завдяки високій здатності до транспірації та великим розмірам листя. Дуб та липу характеризують досить високі ефекти охолодження завдяки великим та густим листкам, хоча їх ефект охолодження дещо менший, ніж у тополі чи клена.

Проте, зміни клімату можуть мати значний вплив на зелені насадження в міських зонах, викликаючи не лише фізичний стрес для рослин, але й зміну екологічних взаємозв'язків. Внаслідок підвищених температур та зменшення вологості спостерігаються морфологічні зміни деревної рослинності в урбоекосистемі м. Умань. Морфологічні зміни, зокрема зменшення розміру листя, є типовими для основних видів дерев, які ростуть в місті Умань та, в принципі, в усіх містах центральної України. Видимий вплив на кількість пагонів також може бути значним, особливо для водно-залежних видів. А зміни в кольорі листя (передчасне пожовтіння) є важливим індикатором стресу від високих температур і дефіциту вологи.

Одним із варіантів вирішення проблеми є запровадження стратегій планування та управління, які належним чином пом'якшують стреси, одночасно збільшуючи кліматичні та соціально-екологічні переваги міських зелених насаджень. Іншим комбінованим варіантом є вибір видів, стійких до кліматичних умов, що виникають, і ризиків поширення шляхом диверсифікації вибору порід дерев. *Ключові слова:* урбоекосистема, зміни клімату, міські зелені зони, деревна рослинність, морфологічні зміни.

Impact of climate change on urban green areas. Hurelia I., Vasylenko O.

The main aspects of climate change observed in Ukraine over the past decades include an increase in the average annual temperature, changes in precipitation patterns, shifts in seasons, an increase in the frequency of extreme weather events, and changes in biodiversity. Green infrastructure has significant potential for mitigating the impacts of climate change and adapting to it in urban areas. Urban greenery plays a key role in improving environmental quality, livability, and resilience in cities. Urban vegetation provides significant improvements to the microclimate because plants can reduce high summer air temperatures, thereby helping to mitigate urban heat and the “urban heat island effect.” Vegetation cools the environment in several ways, including through plant transpiration, evaporation, shading surfaces, and radiation reflection. Poplar and maple have the highest cooling potential due to their high transpiration rates and large leaf size. Oak and linden also show considerable cooling effects due to their large and dense leaves, though their cooling effect is somewhat lower than that of poplar or maple.

However, climate change can have a significant impact on green vegetation in urban areas, causing not only physical stress on plants but also altering ecological relationships. Due to higher temperatures and reduced humidity, morphological changes in woody vegetation have been observed in the urban ecosystem of Uman. Morphological changes, particularly the reduction in leaf size, are typical for the main tree species growing in Uman and, in general, throughout the cities of central Ukraine. A visible impact on the number of shoots can also be significant, especially for water-dependent species. Changes in leaf color (premature yellowing) are an important indicator of stress caused by high temperatures and water shortage.

One solution to the problem is the introduction of planning and management strategies that effectively mitigate stresses while increasing the climatic and socio-ecological benefits of urban greenery. Another combined solution is selecting species that are resilient to emerging climatic conditions and spreading risks through the diversification of tree species choices. *Key words:* urban ecosystem, climate change, urban green zones, woody vegetation, morphological changes.

Постановка проблеми. Урбанізація – це глобальне явище. Частка населення світу, що живе у міських районах становила лише 30% у 1950 році, але досягла 55% у 2018 році, і, за прогнозами, становитиме 68% до 2050 року [1]. Ці зміни мають суттєвий вплив на людей, навколишнє середовище і розвиток

у локальному, регіональному та глобальному масштабах [2, 3]. Зміни включають забруднення повітря і води [4, 5], втрату біорізноманіття [6] та деградацію екосистем [7], в той час як викиди вуглецю в містах і пов'язані з ними зміни землекористування стають важливим фактором глобальної зміни клімату.

У глобальному масштабі зміна клімату є темою, яка резонує серед професіоналів, політиків, міст та загалом громадськості. Зміна клімату входить до п'ятірки найсерйозніших проблем світу нашого часу [8]. Через сукупний вплив зміни клімату та швидкої урбанізації міське середовище зазнає різних змін. Більш висока температура і збільшення частоти екстремальних явищ, пов'язаних зі зміною клімату, погіршують якість міського середовища. Збільшення непроникних поверхонь (забудованих, забетонованих, заасфальтованих і т.д.) та зменшення зелених насаджень у містах сприяють випаровуванню і утворенню прихованого теплового потоку в межах міських територій [9].

Актуальність дослідження. Уже понад 400 міст світу оголосили «надзвичайний кліматичний стан» [10]. У зв'язку з цим уряди багатьох країн намагаються знайти відповідний метод пом'якшення наслідків зміни клімату, як правило, щодо інфраструктури зелених насаджень. Тому, парки, вуличні дерева, міські природні заповідники та інші міські зелені зони мають вирішальне значення. Насправді зелені насадження у містах є важливою «зеленою інфраструктурою», оскільки вони пропонують різноманітні екосистемні послуги, які мають позитивне значення та соціально-економічні та екологічні наслідки, такі як зниження міських «теплових островів». Цей ефект суттєво впливає на якість життя мешканців міст та посилює загальне потепління клімату. Крім того, це призводить до збільшення захворюваності на захворювання, пов'язані з спекою [11].

Враховуючи значну роль зелених зон у житті міських жителів, актуальність дослідження впливу змін клімату на ці території є надзвичайно важливою. На основі таких досліджень можна розробити стратегії адаптації та управління, що сприятимуть збереженню та розвитку міських зелених насаджень у нових кліматичних умовах. Це дозволить підвищити стійкість міського середовища до кліматичних змін, зменшити негативний вплив на екосистеми та покращити умови для життя населення.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дані дослідження проводились в рамках наукової роботи на тему: «Розробка методологічних підходів і практичного механізму екологічно-збалансованого природокористування» (державний номер реєстрації – 0108U009772) Уманського національного університету.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вітчизняні [12–14] та іноземні [15, 16] науковці дослідили, що міські екосистеми надзвичайно вразливі до наслідків змін клімату порівняно з природними екосистемами. Міські зелені зони виконують численні функції, такі як очищення повітря, зниження температури навколишнього середовища, збереження водних ресурсів і зменшення шуму [17, 18]. Однак зміни клімату можуть порушити ці процеси,

і їхня здатність виконувати екологічні функції може зменшитися [19]. Тому, потрібно більш детально вивчити, як зміни клімату впливають на ефективність цих функцій і які адаптаційні стратегії можна застосувати для їх збереження.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Загальна проблема, котрій присвячена стаття, – оцінка наслідків змін клімату для міських зелених насаджень м. Умань. Зміни клімату можуть призвести до суттєвих морфологічних змін у деревних видах. Це питання залишається недостатньо дослідженим, і вплив таких змін на життєздатність дерев у міських умовах потребує додаткового вивчення.

Новизна. Новизна цієї наукової статті полягає в комплексному аналізі впливу змін клімату на морфологічні характеристики деревних рослин у міських зелених зонах. Вперше в рамках дослідження проведено порівняння змін, які відбуваються в найбільш розповсюджених видах дерев, враховуючи такі фактори, як підвищення температури та зниження рівня опадів. Це дослідження відкриває нові підходи до управління міськими зеленими зонами в умовах кліматичних змін.

Методологічне або загальнонаукове значення. Методологічне значення цієї статті полягає в розробці нових підходів для вивчення впливу змін клімату на міські екосистеми, зокрема на зелені зони. Вона поєднує аналіз морфологічних змін у деревних рослин за умов зміненої кліматичної ситуації. Це дозволяє створити основи для подальших досліджень і розробки адаптаційних стратегій управління міськими зеленими зонами.

Викладення основного матеріалу. Клімат України, як і в інших країнах світу, переживає значні зміни, зумовлені глобальним потеплінням. Ці зміни мають суттєвий вплив як на природні, так і на індустріальні чи урбанізовані екосистеми. Основні аспекти змін клімату в Україні, що спостерігаються за останні десятиліття: підвищення середньорічної температури, зміни в режимі опадів, зміщення сезонів, зростання частоти екстремальних погодних явищ, зміни в біорізноманітті.

За даними досліджень, середня температура повітря в Україні з початку XXI століття зросла на 1,2°C, що є значно більше за середньосвітові показники [20]. Прогнозується, що до 2050 року температура може підвищитися на 2–3°C, а до кінця століття – на 4°C в порівнянні з базовим періодом середини XX століття [21]. Особливо виражене потепління спостерігається в зимовий період, що впливає на гідрологічні процеси в Україні. Зміни клімату також призводять до змін у режимі опадів. Спостерігається зменшення кількості опадів влітку та збільшення кількості зимових опадів. Відзначається більш інтенсивне випадання опадів у вигляді сильних дощів, що може призвести до повеней.

За допомогою інформації з УкрНДГМІ [22] можна простежити динаміку зміни середньомісячних температур ($^{\circ}\text{C}$) та середніх місячних сум опадів (%) в центральній частині України за період 2011–2030 рр. відносно періоду 1991–2010 рр. (рис. 1).

Отже, до 2030 р. зростання середньорічної температури по Україні буде в межах $0,5^{\circ}\text{C}$. До 2030 року у серпні кількість опадів прогнозовано може зменшитись на 12%, у жовтні – на 7%.

Зміни клімату в Україні є реальністю, і вони матимуть значний вплив на економіку, природні ресурси та життя громадян. Адаптація до нових кліматичних умов вимагає розробки стратегій, що включають використання стійких до кліматичних змін видів рослин, модернізацію інфраструктури для забезпечення стійкості до екстремальних погодних явищ, а також проведення активної інформаційно-освітньої роботи серед населення про наслідки кліматичних змін.

Зелена інфраструктура має низку потенціалів щодо пом'якшення наслідків зміни клімату та адаптації в міських районах. Міські зелені насадження відіграють ключову роль у покращенні якості навколишнього середовища, життєздатності та стійкості міст. Вони забезпечують низку переваг як на національному, так і на місцевому рівнях і пропонують людям багато екологічних послуг. Вони також роблять великий внесок у соціальне та економічне життя, а також у місцеві екологічні системи та системи планування, і в цілому в якість життя в містах.

Міська зелень забезпечує значне покращення мікроклімату, тому, що рослинність може знизити високі літні температури повітря і тим самим допомогти пом'якшити міську спеку та «ефект теплового острова». Рослинність забезпечує охолодження простору кількома способами, а саме транспірацією рослин, випаровуванням, затіненням поверхонь і відбиття випромінювання. Дерева особливо важливі для затінення та перехоплення опадів, та охолодження в сухих умовах, оскільки вони висихають повільніше, ніж трава, і, отже, можуть забезпечити охолоджуючий ефект протягом більш тривалого періоду. В таблиці 1 показані кількісні ефекти охолодження в місті Умань від найбільш поширених видів дерев. Вона включає дані про середні ефекти охолодження (температурне зниження) для кожного виду дерева, виміряні на основі їхньої здатності знижувати температуру навколишнього середовища через тінь, транспірацію та інші фактори.

Тополя та клен мають найвищі показники охолодження завдяки високій здатності до транспірації та великим розмірам листя. Дуб та липу характеризують досить високі ефекти охолодження завдяки великим та густим листкам, хоча їх ефект охолодження дещо менший, ніж у тополі чи клена. Сосна та туя мають помірні ефекти охолодження через їх відносно менше листя та менш інтенсивну транспірацію, але вони все одно можуть значно знижувати температуру у міських умовах.

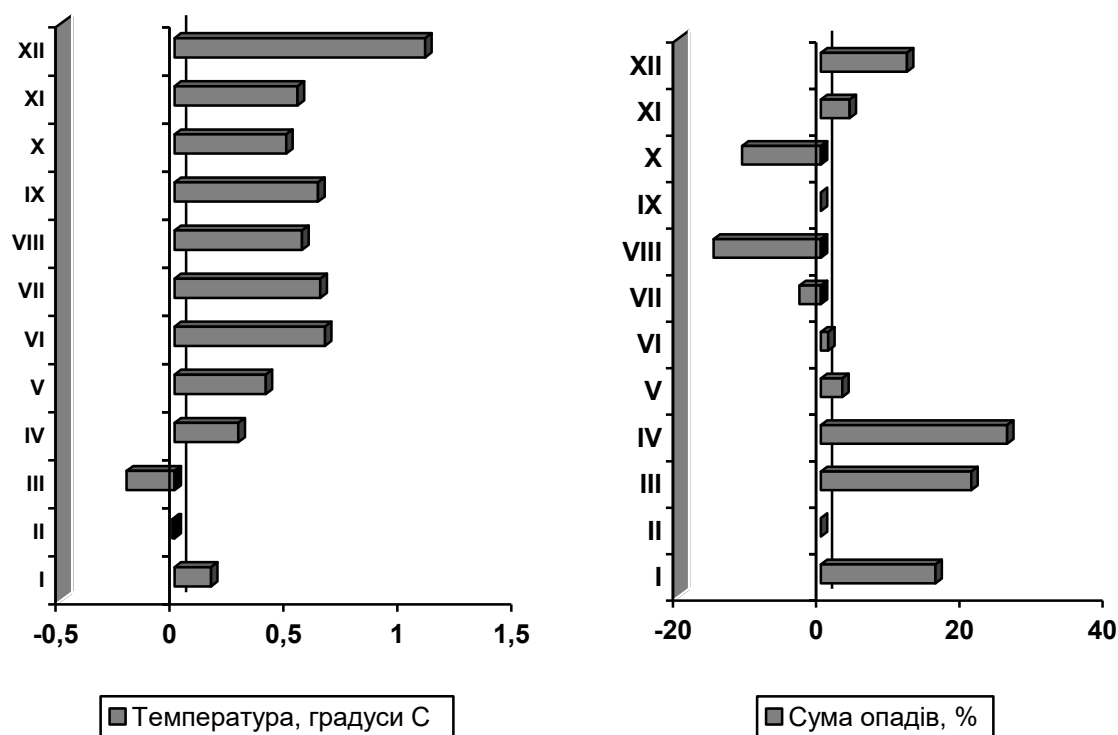


Рис. 1. Динаміка змін середньомісячних температур ($^{\circ}\text{C}$) та середніх місячних сум опадів (%) в центральній частині України у 2011–2030 рр. відносно 1991–2010 рр.

Таблиця 1

Кількісні ефекти охолодження в місті Умань від найбільш поширених видів дерев

Вид рослини	Середнє зниження температури, °С	Метод охолодження	Ефективність охолодження, м²/ дерево
Дуб звичайний (<i>Quercus robur</i>)	3,2	тінь, транспірація, випаровування води з листя	50-70
Клен гостролистий (<i>Acer platanoides</i>)	4,6	тінь, високий рівень транспірації, створення мікроклімату	40-60
Тополя чорна (<i>Populus nigra</i>)	5,3	тінь, висока транспірація, швидке поглинання води	60-90
Липа дрібнолиста (<i>Tilia cordata</i>)	3,4	тінь, висока здатність до транспірації та випаровування води	50-80
Береза повисла (<i>Betula pendula</i>)	2,3	тінь, середня транспірація, зниження температури через листя	40-60
Сосна звичайна (<i>Pinus sylvestris</i>)	2,1	тінь, помірна транспірація, поглинання вологи через корені	40-50
Граб звичайний (<i>Carpinus betulus</i>)	2,7	тінь, середня транспірація, випаровування з листя	40-60
Туя західна (<i>Thuja occidentalis</i>)	1,2	тінь, низька транспірація, здатність до створення екранів з тіні	30-50

Проте, зміни клімату можуть мати значний вплив на зелені насадження в міських зонах, викликаючи не лише фізичний стрес для рослин, але й зміну екологічних взаємозв'язків (табл. 2).

Таким чином, зміни клімату, зокрема підвищення температури, зменшення опадів, зміщення сезонних циклів та підвищення рівня забруднення повітря, мають значний вплив на міські зелені насадження. Для збереження біорізноманіття та підтримки здоров'я міських екосистем необхідно впроваджувати стратегії адаптації, включаючи вибір стійких до кліматичних змін видів, оптимізацію водопостачання та поливу, а також збереження екологічної рівноваги у міських зонах.

Внаслідок підвищених температур та зменшення вологості спостерігаються морфологічні зміни деревної рослинності в урбоєкосистемі м. Умань (рис. 2).

За умов підвищених температур і зменшення вологості, морфологічні зміни, зокрема зменшення розміру листя, є типовими для основних видів дерев, які ростуть в місті Умань та, в принципі, в усіх містах центральної України. Видимий вплив на кількість пагонів також може бути значним, особливо для водно-залежних видів. А зміни в кольорі листя (передчасне пожовтіння) є важливим індикатором стресу від високих температур і дефіциту вологи.

Окрім вищезазначених факторів, на міські дерева впливають численні обмеження, включаючи забруднення повітря, води та ґрунту, ущільнені та обмежені ґрунти, малі та обмежені посадкові ями, мікрокліматичні умови тощо. Таким чином, зміна клімату є ще одним викликом у довгому списку змінних, що впливають на умови росту дерев та інших типів

рослинності в міських районах. Одним із варіантів вирішення проблеми є запровадження стратегій планування та управління, які належним чином пом'якшують стреси, одночасно збільшуючи кліматичні та соціально-екологічні переваги міських зелених насаджень. Іншим комбінованим варіантом є вибір видів, стійких до кліматичних умов, що виникають, і ризиків поширення шляхом диверсифікації вибору порід дерев.

Головні висновки. Отже, зелена інфраструктура є вразливою до впливу зміни клімату. Високі температури в поєднанні з пізнішими весняними заморозками та зміна режиму випадання опадів викликають триваліші посушливі періоди та більшу частоту раптових паводків. У поєднанні з ефектом «теплого острова» підвищення температури повітря більш виражене в містах, ніж у сільській місцевості, і тому реакції рослин більш інтенсивні. Зміни клімату можуть мати значний вплив на зелені насадження в міських зонах, викликаючи не лише фізичний стрес для рослин, але й зміну екологічних взаємозв'язків. За даних умов типовими є морфологічні зміни дерев: зменшення розміру листя, кількості пагонів та передчасне пожовтіння листя. Найбільш вразливими до таких змін є клен гостролистий та береза повисла.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження відкривають широкий спектр перспектив для науковців, урядів, міських планувальників, екологів та громадян. Зокрема, ці результати можуть бути використані для формулювання стратегії адаптації до змін клімату, покращення управління міським зеленим простором та розвитку стійких екосистем. Вивчення можливих наслідків зміни клімату для зелених насаджень доз-

Таблиця 2

Можливі наслідки змін клімату для зелених насаджень у міських зонах

Прояви змін клімату	Можливі наслідки для зелених насаджень
Збільшення середньої температури	Зниження стійкості до посухи у багатьох видів рослин. Можливість витіснення місцевих видів через розширення ареалу теплолюбних видів. Раннє пробудження рослин і подовження вегетаційного періоду.
Підвищення кількості екстремальних погодних явищ	Пошкодження зелених насаджень через сильні дощі, вітри та бурі. Підвищення рівня забруднення повітря, що може шкодити рослинам. Збільшення шкідників і хвороб, що можуть вражати дерева та кущі.
Зниження рівня опадів (посухи)	Збільшення стресу для рослин, що може призвести до в'янення та загибелі. Зменшення біорізноманіття в міських зелених зонах. Необхідність збільшення поливів, що навантажує водні ресурси.
Зміна сезонних патернів (ранні весни та пізні осені)	Раннє цвітіння і плодоношення рослин, що може порушити екологічні цикли. Зміна співвідношення весняних і осінніх видів рослин, що може вплинути на біорізноманіття.
Підвищення рівня вуглекислого газу	Посилене зростання деяких видів рослин, особливо декоративних, що може спричинити їх неконтрольоване розповсюдження. Зміна складу рослинності в бік видів, які мають високий рівень фотосинтетичної активності.
Збільшення забруднення повітря	Погіршення стану зелених насаджень через токсичні гази, що знижують їх здатність до фільтрації повітря. Пошкодження листя, зменшення здатності до фотосинтезу.
Зміна кількості сонячного світла	Зміни в освітленості можуть призвести до зміщення місцевих видів рослин та зміни складу рослинних угруповань. Зміна співвідношення трав'яних та деревних видів у міських зелених зонах.



Рис. 2. Морфологічні зміни деревної рослинності внаслідок змін клімату в м. Умань

воляє міським планувальникам розробляти більш стійкі до кліматичних змін схеми використання територій. Це включатиме оптимальний вибір місць

для зелених зон, використання різноманітних видів рослин, а також планування та реконструкцію інфраструктури з урахуванням нових кліматичних умов.

Література

1. DESA. *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420)*. United Nations: New York, NY, USA, 2018.
2. Li G., Fang C., Qi W. Different effects of human settlements changes on landscape fragmentation in China: Evidence from grid cell. *Ecol. Indic.*, 2021. 129. P. 107–127.
3. Nagendra H., Bai X., Brondizio E.S., Lwasa S. The urban south and the predicament of global sustainability. *Nat. Sustain.*, 2018. 1. P. 341–349.
4. Lin B., Zhu J. Changes in urban air quality during urbanization in China. *J. Clean. Prod.*, 2018. 188. P. 312–321.

5. Hoekstra A.Y., Buurman J., van Ginkel K.C.H. Urban water security: A review. *Environ. Res. Lett.*, 2018. 13. 053002.
6. Newbold T., Hudson L.N., Hill S.L.L., Contu S., Lysenko I., Senior R.A., Börger L., Bennett D.J., Choimes A., Collen B. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature*, 2015. 520. P. 45–50.
7. DeFries R.S., Rudel T., Uriarte M., Hansen M. Deforestation driven by urban population growth and agricultural trade in the twenty-first century. *Nat. Geosci.*, 2010. 3. P. 178.
8. Cheng Y. (Daniel), Farmer J. R., Dickinson S. L., Robeson S. M., Fischer B. C., Reynolds H. L. Climate change impacts and urban green space adaptation efforts: Evidence from U.S. municipal parks and recreation departments. *Urban Climate*, 2021. 39. P. 1009–1062.
9. Ige S.O., Ajayi V.O., Adeyeri O.E., Oyekan K.S.A. Assessing remotely sensed temperature humidity index as human comfort indicator relative to landuse landcover change in Abuja, Nigeria. *Spat. Inf. Res.*, 2017. 25. P. 523–533.
10. Kabisch N., Qureshi S., Haase, D. Human-environment interactions in urban green spaces—A systematic review of contemporary issues and prospects for future research. *Environmental Impact Assessment Review*, 2016. 58. P. 1–14.
11. Leal Filho W., Icaza L.E., Neht A., Klavins M., Morgan E.A. Coping with the impacts of urban heat islands: A literature based study on understanding urban heat vulnerability and the need for resilience in cities in a global climate change context. *J. Clean. Prod.*, 2018. 171. P. 1140–1149.
12. Шевченко О.Г. Вразливість урбанізованого середовища до змін клімату. *Фізична географія та геоморфологія*. 2014. Вип. 4(76). С. 114–120.
13. Ліпінський В.М. Глобальна зміна клімату та її відгук в динаміці клімату України. *Інвестиції та зміна клімату: можливості для України*: тези доп. Міжнар. конф. м. Київ, 10–11 липня 2002 р.
14. Василенко О.В., Балабак А.О., Балабак А.В., Нікітіна О.В. Оцінка адаптації рослин Липи серцелистої (*Tilia cordata mill.*) до забруднення урбофітоценозів в умовах змін клімату. *Екологічні науки*. 2022. 2 (41). С. 146–150.
15. Kalafatis S. When do climate change, sustainability, and economic development considerations overlap in cities? *Environ. Politics*. 2017. 27. P. 1–24.
16. Broto V.C. Urban Governance and the Politics of Climate Change. *World Dev.*
17. Middel A., Nazarian N., Demuzere M., Bechtel B. Urban Climate Informatics: An Emerging Research Field. *Front. Environ. Sci.*, 2022. 10. 867434.
18. Li H., Meier F., Lee X., Chakraborty T., Liu J., Schaap M., Sodoudi S. Interaction between urban heat island and urban pollution island during summer in Berlin. *Sci. Total Environ.*, 2018. 636. P. 818–828.
19. Di Leo N., Escobedo F.J., Dubbeling M. The role of urban green infrastructure in mitigating land surface temperature in Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. *Environ. Dev. Sustain.*, 2016. 18. P. 373–392.
20. Середня місячна температура повітря по Україні. URL: <http://cgo-sreznevskyi.kyiv.ua/uk/diialnist/klimatolohichna/klimatychni-danni-ro-ukraini> (дата звернення 13.03.2025).
21. Степаненко С. М., Польовий А. М., Лобода Н. С., та ін. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України: [монографія] /колектив авт.: С. М. Степаненко, А. М. Польовий, Н. С. Лобода [та ін.]; за ред. С. М. Степаненка, А. М. Польового. Одеса: Вид. „ТЕС”, 2015. 520 с.
22. Краковська С.В. Можливі сценарії майбутніх кліматичних умов для Полтавської області. *Підтримка регіональних зусиль з розробки регіональних планів заходів з адаптації до зміни клімату*: матеріали державного семінару, Київ, 24–25 жовтня 2013 р.

ПРОЯВИ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА ТЕРИТОРІЇ НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ «ПРИП'ЯТЬ – СТОХІД»

Федонюк В.В.

Луцький національний технічний університет
вул. Львівська, 75, 43018, м. Луцьк
ecolutsk@gmail.com

Розглянуто особливості регіональних проявів змін клімату у національному природному парку «Прип'ять-Стохід», найпівнічнішому з національних парків Волинської області, та потенційний вплив цих змін на природні комплекси і біорізноманіття у природоохоронному об'єкті.

У дослідженні дано узагальнену фізико-географічну характеристику території національного природного парку «Прип'ять-Стохід»; визначено кліматичні особливості вказаної місцевості для теплого та холодного періодів року, а також особливості формування мікрокліматичних умов; за даними метеостанції Любешів, яка розташована на території парку, створено та проаналізовано інтегральні таблиці динаміки основних метеорологічних показників за період 2016–2020 років, на основі цих даних було також побудовано графічні матеріали і визначені тенденції регіональних змін клімату.

Виявлено наступні зміни динаміки кліматичних показників для території національного природного парку «Прип'ять-Стохід»: 1) середня річна, середня максимальна та середня мінімальна температури повітря мають тенденцію до постійного зростання і значно перевищують кліматичну норму (перевищення складає понад 2°C); 2) за період спостереження, показник абсолютного максимуму досягнув позначки в 35,4°C в 2019 році, перевищивши значення кліматичної норми 1961–1990 рр.; 3) середня річна вологість повітря протягом 2016–2020 років є меншою на 4 % від показника кліматичної норми; 4) простежується зростання показників мінімального атмосферного тиску на 9,5 гПа; 5) показник середньої річної швидкості вітру за час спостереження знаходиться у діапазоні 2,1–2,5 м/с; 6) спостерігається характерна кількість днів з опадами протягом року для цієї місцевості. Середнє значення цього показника за п'ять років складає 249 днів; 7) зменшується річна сума опадів, лише одного року кількість опадів була наближена до кліматичної норми. Максимальна добова сума опадів протягом досліджуваного періоду була нижча в три рази від кліматичної норми; 8) норма тривалості залягання снігового покриву для даної місцевості складає 70 днів на рік. За період спостереження, лише у 2018 році це значення досягнуло і перевищило норму (87 днів), у всіх інших роках, воно навіть не наблизилось до неї, і знаходилось в межах 20–47 днів. Подальший розвиток виявлених процесів регіональних змін клімату в парку може призвести до їх інтенсивного негативного впливу на природно-ландшафтні комплекси. Такий вплив вже проявляється, зокрема, шляхом ураження великої площі деревостанів шкідниками та хворобами лісу, які набули значного поширення через зміни клімату (теплі зими, невимерзання личинок шкідників, відсутність природної саніції збудників хвороб в умовах низьких температур). Особливої уваги потребує моніторинг стану водних комплексів та водно-болотних угідь, оскільки підвищення температур та зростання випаровуваності може призвести до скорочення площі водно-болотних угідь та озерних комплексів національного парку. *Ключові слова:* НПП «Прип'ять-Стохід», клімат, кліматичні зміни, метеорологічні показники, природні комплекси, вплив клімату.

Manifestations of climate change in the territory of the Pripjat-Stokhid National Nature Park. Fedoniuk V.

The features of regional manifestations of climate change in the Pripjat-Stokhid National Nature Park, the northernmost of the national parks of the Volyn region, and the potential impact of these changes on natural complexes and biodiversity in the nature reserve are considered. The study provides a generalized physical and geographical characteristic of the territory of the Pripjat-Stokhid National Nature Park; the climatic features of the specified area for the warm and cold periods of the year are determined, as well as the features of the formation of microclimatic conditions; based on the data of the Lyubeshiv weather station, which is located on the territory of the park, integrated tables of the dynamics of the main meteorological indicators for the period 2016–2020 were created and analyzed; based on these data, graphic materials were also constructed and trends in regional climate change were determined.

The following changes in the dynamics of climatic indicators were identified for the territory of the Pripjat-Stokhid National Nature Park: 1) the average annual, average maximum and average minimum air temperatures tend to constantly increase and significantly exceed the climatic norm (the excess is more than 2°C); 2) during the observation period, the absolute maximum indicator reached 35.4°C in 2019, exceeding the climatic norm of 1961–1990; 3) the average annual air humidity during 2016–2020 is 4% lower than the climatic norm; 4) an increase in the minimum atmospheric pressure indicators by 9.5 hPa is observed; 5) the average annual wind speed during the observation period is in the range of 2.1–2.5 m/s; 6) a characteristic number of days with precipitation during the year is observed for this area. The average value of this indicator for five years is 249 days; 7) the annual amount of precipitation is decreasing, only in one year the amount of precipitation was close to the climatic norm. The maximum daily amount of precipitation during the studied period was three times lower than the climatic norm; 8) the norm of the duration of snow cover for this area is 70 days per year. During the observation period, only in 2018 did this value reach and exceed the norm (87 days), in all other years, it did not even come close to it, and was within 20–47 days. Further development of the identified processes of regional climate change in the park may lead to their intensive negative impact on natural and landscape complexes. This impact is already evident, in particular, through the damage of large areas of forest stands by pests and forest diseases, which have become widespread due to climate change (warm winters, non-freezing of pest larvae, lack of natural sanitation of pathogens in low temperatures). Monitoring the condition of water complexes and wetlands requires special attention, since rising temperatures and increased evaporation may lead to a reduction in the area of wetlands and lake complexes of the national park. *Key words:* NNP «Pripjat-Stokhid», climate, climate change, meteorological indicators, natural complexes, climate impact.

Постановка проблеми. У дослідженні проведено оцінку проявів регіональних змін клімату у національному природному парку (далі – НПП) «Прип'ять – Стохід» на основі статистичного і графічного аналізу метеорологічних показників періоду 2016–2020 рр. (метеостанція Любешів).

Актуальність дослідження. Зміни клімату впливають на багато аспектів екологічного стану природних комплексів, у тому числі – на вегетаційні процеси, на тривалість та перебіг фенологічних явищ, на гідрологічний режим та стан ґрунтових систем. Природоохоронні території, до яких належить НПП «Прип'ять-Стохід», є особливо чутливими до кліматичних змін, оскільки під загрозою можуть опинитися раритетні види та угруповання. Особливої актуальності вивченню змін клімату в межах НПП «Прип'ять-Стохід» надає той факт, що даний національний парк, розміщений у долинах Прип'яті та Стоходу, є великою гідробіологічною екосистемою: болота, озера, водотоки парку досить чутливі до змін у динаміці кліматичних показників (режиму опадів, зволоження території, температури тощо).

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та науково-практичними завданнями. Вивчення динаміки кліматичних змін на території НПП «Прип'ять-Стохід» є частиною ширшого наукового завдання – дослідження регіональних проявів змін клімату у Північно-Західному регіоні України, з метою пошуку ефективних стратегій адаптації до таких змін і забезпечення захисту цінних природних ландшафтних комплексів та біорізноманіття природної зони Полісся.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні прояви змін клімату у Волинській області та у Поліссі в цілому вивчалися у роботах Тарасюк Н.А., Тарасюк Ф.П. [10], присвячених змінам температурного режиму в регіоні. Відмітимо також праці Василюк М.В., Михайлюк В.А., Федонюк В.В. [2], що стосувалися змін вітрового режиму, дослідження Федонюк В.В., Федонюка М.А., Павлуся А.М. [11] щодо динаміки гроз в умовах змін клімату, роботу Fedoniuk V., Fesyuk V., Fedoniuk M. [16], присвячену особливостям режиму атмосферних опадів, дослідження Ліпінського В.М., Осадчого В.І., Бабіченко В.М. [3], що розглядали активізацію стихійних метеоявищ. Ряд авторів також вивчали потенційний вплив регіональних змін клімату на природні комплекси даної території, зокрема – на гідрологічний режим водних об'єктів регіону (Мальований М.С., Боярин М.В., Бедункова О.О., Нетробчук І.М., Волошин В.У. [4], Фесюк В., Білецький Ю., Баран С., Сидорук Т. [12]), ґрунтів (Тарасюк Н., Ганущак М. [8]). Окремі розділи більш комплексних природознавчих досліджень також присвячувалися особливості проявів кліматичних змін у Волинській області (Фесюк В.О., Пугач С.О., Слащук А.М. [7]).

Прояви змін клімату у межах природоохоронних територій України розпочали вивчати в останні

десятиліття досить активно. Наведемо, наприклад, роботи Пархоменко О.Г. [6], присвячені Ічнянському НПП, Stryamets G.V., Hrebela V.O., Skobalo O.S., Striamets S.P. [13], що стосувалися природного заповідника «Розточчя». Водночас для території Волинської області таких праць поки було небагато: це роботи Мирки В.В., Федонюк В.В., Іванціва В.В., Федонюка М.А., Fedoniuk V., Zhadko O., Vovk O., Fedoniuk M., Ivantsiv V. [5, 14], у яких вивчалися кліматичні зміни у Черемському природному заповіднику, роботи Fedoniuk V., Khrystetska M., Fedoniuk M., Merlenko I., Bondarchuk S. [15], присвячені проявам змін клімату у Шацькому НПП. Стосовно вивчення НПП «Прип'ять – Стохід» та його кліматичних особливостей, відмітимо окремі дослідження, виконані Тарасюк Н.А., Тарасюком Ф.П., Приступою О.С. [9]. Проте ця робота є поодиноким, і такий аналіз протягом останнього періоду для парку не проводився, що визначає актуальність даної статті.

Виділення не виділених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Метою роботи є аналіз регіональних проявів змін клімату та їх потенційного впливу на природні комплекси НПП «Прип'ять – Стохід», що дозволяє виокремити локальну проблему вивчення динаміки кліматичних змін на прикладі дослідження зміни мікрокліматичних особливостей у одній, окремо взятій природоохоронній території Волинського Полісся. В перспективі результати аналізу можуть бути співставлені з дослідженнями, проведеними для інших об'єктів ПЗФ в регіоні [5, 13, 14].

Новизна. Новизна дослідження пов'язана з тим, що для території НПП «Прип'ять – Стохід» комплексний аналіз усіх основних мікрокліматичних показників протягом останнього періоду проводиться вперше.

Методологічне або загальнонаукове значення. Робота виконана на основі статистико-математичного та графічного аналізу метеорологічної інформації станції Любешів [1], яка розміщена безпосередньо у межах НПП «Прип'ять – Стохід». Застосовувалися загальноприйняті методики обробки та аналізу числових рядів метеоданих. Використана методика може бути основою для проведення аналогічних досліджень у інших природоохоронних установах та об'єктах Волинської області, Поліського регіону та України в цілому.

Виклад основного матеріалу. Національний природний парк «Прип'ять – Стохід» був створений згідно Указу Президента України від 13.08.2007 р. на базі функціонуючого раніше регіонального парку на загальній площі близько 39315,5 га. Парк розташований в межиріччі Прип'яті та Стоходу, у північно – східній частині Волинської області. Аналіз динаміки мікрокліматичних показників було проведено за даними метеостанції Любешів, яка розташована у межах парку. Оцінено дані 5-річного періоду 2016–2020 рр. Проведено аналіз динаміки таких

показників: середня, мінімальна та максимальна річна температура повітря; абсолютні мінімуми та максимуми температури повітря; середні річні відносна вологість повітря, суми опадів, швидкість вітру; максимальні добові суми опадів та швидкість вітру (порив); середній, мінімальний та максимальний річний атмосферний тиск; середня річна загальна та нижня хмарність неба; тривалість залягання снігового покриву та його максимальна висота; число випадків протягом року з основними метеорологічними явищами (дощ, сніг, туман, заметіль).

Інтегровані результати представлені на рис. 1–6. Проаналізувавши отримані дані, можна зробити ряд узагальнень.

Упродовж періоду дослідження середня річна температура повітря становила $+9,3^{\circ}\text{C}$, при кліматичній нормі $+8,7^{\circ}\text{C}$. За рекомендаціями ВМО, кліматичною нормою прийнято вважати середні річні показники за 30-річний період (використано норму періоду 1961–1990 років). У періоді 2016–2020 років, найбільш помітним процес зростання температур був у 2019 році, коли середня температура досягла $+10,1^{\circ}\text{C}$, що перевищує норму на $1,4^{\circ}\text{C}$. Варто відзначити, що у 2019 році, температура повітря протягом теплого сезону була аномально високою на усіх метеорологічних станціях України (рис. 1). Також, можна виділити 2017 рік як відносно холодний, коли середня річна температура не перевищувала кліматичну норму і складала $+8,2^{\circ}\text{C}$. Кліматична норма середньої мінімальної температури повітря для території дослідження, становить $+4,3^{\circ}\text{C}$. Діапазон мінімальних температур 2016–2020 рр. знаходився у межах $+5$ – $+6^{\circ}\text{C}$. Середня максимальна температура становила $+12,6$ – $+14,8^{\circ}\text{C}$. Найбільше значення зафіксоване у 2019 р. ($+14,8^{\circ}\text{C}$, перевищення норми на $4,8^{\circ}\text{C}$).

Абсолютний мінімум був у межах кліматичної норми. У першій декаді січня 2016, 2017 і 2019 років, відзначалося різке зниження температури, тоді як у 2018 це відбулося у першій декаді березня, а у 2020 – у першій декаді грудня. Температура абсолютного максимуму знаходилась у діапазоні $+32,2$ – $+35,4^{\circ}\text{C}$. Кліматична норма даного показника складає $+34,3^{\circ}\text{C}$, отже за період аналізу показник абсолютного максимуму перевищив норму у трьох роках: 2016 – на $0,4^{\circ}\text{C}$; 2017 – на $0,1^{\circ}\text{C}$; 2019 – на $1,1^{\circ}\text{C}$ (див. рис. 2).

Температури абсолютного максимуму у всіх п'яти роках періоду спостереження були вищими, ніж у попередні роки, що є проявом процесів глобального потепління.

Відносна вологість повітря складала 75–79 %, що є в межах кліматичної норми (рис. 6). Середня швидкість вітру знаходилась у межах кліматичної норми (2,3 м/с), лише у двох роках (2017 та 2019 р.) спостерігалось незначне перевищення на 0,2 м/с. Водночас максимальна швидкість вітру (мах порив) знаходилась у діапазоні 6,3–10,5 м/с, що



Рис. 1. Динаміка середньої річної, максимальної та мінімальної температури повітря у НПП «Прий'ять-Стохід» протягом 2016–2020 рр.

є значно меншим від норми (24 м/с). Середній показник за 5 років становив 8,4 м/с (рис. 3).

Значення максимального атмосферного тиску не виходили за межі кліматичної норми (1039,8 гПа) та коливалися у межах 1030,4–1031,2 гПа). Середні значення мали незначне перевищення норми у чотирьох роках, найбільше серед них спостерігалось у 2018 р. (1017,1 гПа). Найбільші відмінності від кліматичної норми були мінімальні значення тиску. У всіх роках відхилення було різним, починаючи від 7,2 гПа, і аж до 11,2 гПа (рис. 4).

Середній показник загальної хмарності мав значення дещо нижче кліматичної норми (на 0,2–0,4 бали) і склав 6,5 бали. Водночас нижня хмарність була у межах норми (див. рис. 5).

Добова максимальна сума опадів знаходилась в межах норми. Показники протягом років спостереження були у межах 23–51 мм, при нормі 100 мм. Зменшення кількості опадів у регіоні є ще

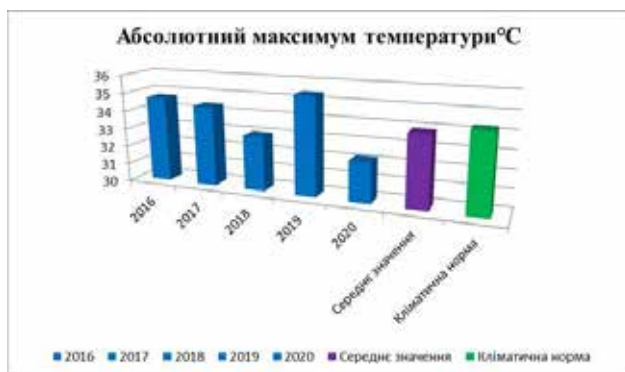


Рис. 2. Динаміка абсолютних мінімумів та максимумів температури повітря у НПП «Прип'ять-Стохід» протягом 2016–2020 рр.

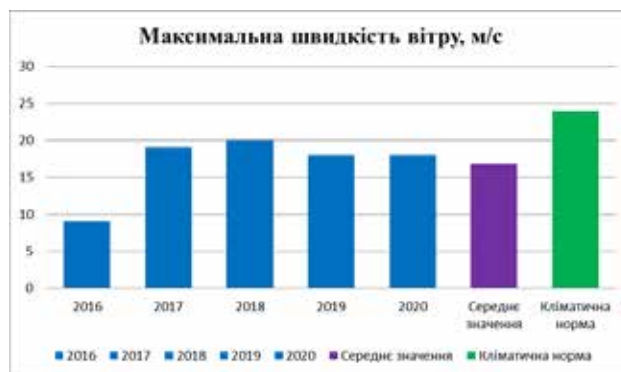


Рис. 3. Динаміка показників швидкості вітру у НПП «Прип'ять-Стохід» протягом 2016–2020 рр.

одним проявом змін клімату. Річна сума опадів за 2016–2020 роки не перевищувала кліматичну норму, варто відзначити, що у деякі роки спостерігалась набагато менша кількість опадів, ніж зазвичай буває на території. Так, у 2018 річна сума опадів дорівнювала 551 мм, а у 2019 – 475 мм. Середня річна сума опадів для періоду спостереження складала 598 мм, що менше норми на 128 мм (див. рис. 6).

Тривалість залягання снігового покриву складала 20–47 днів, перевищення кліматичної норми спостерігалось лише у 2018 році (87 днів). Також було проаналізовано кількість днів у році з окремими метеоявищами (дощ, туман, сніг, гроза, заметіль).

Кількість днів з дощем і снігом в основному відповідає показникам кліматичної норми. Максимальне число днів із снігом спостерігалось у 2018 році (61 при нормі 48), а найбільше днів із дощем – у 2020 році (173). Число днів із туманом знаходилося в межах від 2 до 26 днів. Варто відзначити, що сумарно за п'ять років було 77 днів із туманом, з яких більше 90 % спостерігалися протягом 2018–2020 років. Середній річний показник – 15 днів, що менше за кліматичну норму (21 день).

Кількість днів із заметіллю перевищувала норму у трьох роках із п'яти. Найбільше зафіксоване значення було у 2018 році – 5 днів, що більше у 2,5 рази за норму. Трохи менше – у 2017 (4 дні) та 2019 (3 дні). Упродовж 2016 року був лише 1 день із заметіллю, а у 2020 – заметілі були відсутні. Середня кількість

днів з грозами дорівнювала 32 дні, що майже вдвічі більше норми. Найбільш грозовими були 2018, 2019, 2020 роки – 37, 39 та 39 днів, відповідно.

Отже, після аналізу динаміки кліматичних показників для території НПП «Прип'ять-Стохід» можна відмітити, що середня річна, середня максимальна та середня мінімальна температури повітря мають тенденцію до постійного зростання; середня річна вологість повітря протягом 2016–2020 років є меншою на 4 % від кліматичної норми; простежується зростання показників мінімального атмосферного тиску (на 9,5 гПа); показник середньої річної швидкості вітру знаходиться у діапазоні 2,1–2,5 м/с (в межах норми); спостерігається типова кількість днів з опадами протягом року для даної місцевості, середнє значення цього показника за п'ять років складає 249 днів, проте зменшуються річні та максимальні добові суми атмосферних опадів.

Головні висновки. 1) Зміни клімату є однією з найгостріших проблем сьогодення, вони істотно впливають на довкілля та живі організми, що актуалізує вивчення їх потенційного впливу на природоохоронні території. 2) Для НПП «Прип'ять-Стохід» за період 2016–2020 рр. виявлено чітку тенденцію до підвищення середньої річної, мінімальної та максимальної температур повітря. Найбільшим було зростання середніх максимальних температур (на 2,6–4,8°C). Підвищення середньої річної температури за досліджений період склало 0,6°C.



Рис. 4. Динаміка середнього річного, максимального та мінімального атмосферного тиску у НПП «Прип'ять-Стохід» протягом 2016–2020 рр.

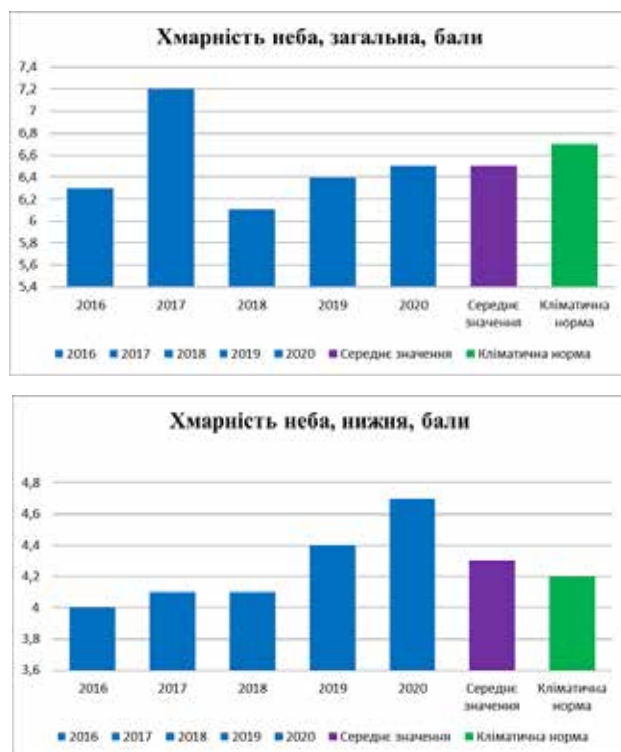


Рис. 5. Динаміка середньої річної загальної та нижньої хмарності неба у НПП «Прип'ять-Стохід» протягом 2016–2020 рр.

3) Середня річна та добова сума опадів зменшились. Річна сума опадів за п'ять років була меншою на 18 % від кліматичної норми. У 2019 р. сума опадів складала 475 мм при нормі 726 мм. 4) Тривалість залягання снігового покриву лише у 2018 р. досягнуло кліматичної норми (87 днів), у інші роки вона знаходилась в межах 20–47 днів. 5) Підвищення температури повітря, зменшення тривалості залягання снігового покриву, нестабільність режиму та зменшення кількості опадів – все це підтверджує прояви кліматичних змін на території НПП «Прип'ять-Стохід», які починають викликати також порушення тривалості сезонів,

періодів настання окремих фенологічних явищ, тощо. 6) Подальший розвиток виявлених процесів регіональних змін клімату в парку може призвести до їх інтенсивного негативного впливу на природно-ландшафтні комплекси. Такий вплив вже проявляється через ураження великої площі деревостанів шкідниками та хворобами, які набули значного поширення через теплі зими, невимерзання личинок, відсутність природної санації збудників хвороб в умовах низьких температур. 7) Особливої уваги потребує моніторинг стану водних комплексів та водно-болотних угідь, оскільки підвищення температур та зростання випаровуваності може призвести до скорочення площі водно-болотних угідь у національному парку.

Перспективи використання результатів дослідження. Перспективним продовженням дослідження стане оцінка та порівняння характеру кліматичних змін у всіх національних парках Волинської області, яких на даний час нараховується три (Ківерцівський НПП «Цуманська пушта», Шацький НПП та НПП «Прип'ять-Стохід»). Різні географічне розміщення природоохоронних територій (південь, північ та захід області) дозволить оцінити відмінності у регіональних проявах кліматичних змін в межах Північно-Західного Полісся.



Рис. 6. Динаміка відносної вологості повітря та сум атмосферних опадів у НПП «Прип'ять-Стохід» протягом 2016–2020 рр.

Література

1. Архів погоди Волинського обласного центру з гідрометеорології. URL: <http://www.meteolutsk.net.ua>
2. Василюк М.В., Михайлюк В.А., Федонюк В.В. Вітровий режим на Волині в контексті глобальних кліматичних змін. *Актуальні проблеми сучасної науки і освіти: матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції м. Львів, 20–21 січня 2022 року*. Львів : ЛНУ, 2022. С. 6–8.
3. Ліпінський В.М., Осадчий В.І., Бабіченко В.М. Активізація стихійних метеорологічних явищ на території України – прояв глобальних змін клімату. *Український географічний журнал*. К.: 2007. № 2. С. 11–20.
4. Мальований М.С., Боярин М.В., Бедункова О.О., Нетробчук І.М., Волошин В.У. Вплив кліматичних змін на водний режим річок Волинської області. *Вісник НУВГіП. Сільськогосподарські науки*. Рівне, 2023. 1 (101). С. 150–164. DOI : <https://doi.org/10.31713/vs1202311>
5. Мирка В.В., Федонюк В.В., Іванців В.В., Федонюк М.А. Порівняння динаміки мікрокліматичних показників на території Черемського природного заповідника у XX та XXI ст. *Екологічні науки : науково-практичний журнал*. К.: Видавничий дім «Гельветика», 2022. № 7 (40). С. 120–125. URL: <http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2022/1/22.pdf>
6. Пархоменко О. Г. Кліматичні особливості Ічнянського національного природного парку. *Global trends in the development of educational systems*. In The 3rd International scientific and practical conference. January 21–24, 2025. Bergen, Norway. International Science Group. 2025. P. 57–60.
7. Сучасний екологічний стан та перспективи екологічно безпечного стійкого розвитку Волинської області: кол. моногр. / В.О. Фесюк, С.О. Пугач, А.М. Слащук; за ред.В.О. Фесюка. К.: ТОВ «П-во «Ві Ен Ей»: 2016. 316 с.

8. Тарасюк Н., Ганущак М. Режим атмосферного зволоження ґрунтів Волині в умовах сучасного клімату. *Вісник Львівського університету : Серія географічна*. Львів: Львів. ун-т ім. І. Франка, 2017. Випуск 51. С. 322–330.
9. Тарасюк Н.А., Тарасюк Ф.П., Приступа О.С. Регіональні особливості клімату НПП «Прип'ять-Стохід». *Природа Західного Полісся та прилеглих територій* : зб. наук. пр. / за заг. ред. Ф. В. Зузука. Луцьк: СЛУ ім. Лесі Українки, 2017. № 14. Т. 1 : Географія. С. 63–69.
10. Тарасюк Н.А., Тарасюк Ф.П. Регіональні прояви глобального потепління (за даними спостережень по метеостанції Луцьк). *Географія та екологія: наука і освіта*: матеріали V Всеукр. наук.-практ. конф. (з міжнар. участю), м. Умань, 10–11 квіт. 2014 р. / відп. ред. О. В. Браславська. Умань: ВПЦ «Візаві» (Видавець «Сочінський»), 2014. С. 330–333.
11. Федонюк В.В., Федонюк М.А., Павлусь А.М. Дослідження грозової активності на Волині та в Україні за даними онлайн-ресурсу Blitzortung. *Український гідрометеорологічний журнал*. Одеса: 2021, 28(28). С. 16–28. URL: http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/9703/1/uhmj_28_2021_16.pdf
12. Фесюк В., Білецький Ю., Баран С., Сидорук Т. Зміна гідроecологічного стану річок басейну Прип'яті в межах Волинської області в умовах зміни клімату. *Адаптивний менеджмент ландшафту для нового світового (без-) порядку* : матеріали міжнародної конференції. Львів – Ворохта, 25–28 вересня 2024 року. Львів : ЛНУ ім. Івана Франка, 2024. С. 247–252.
13. Stryamets G. V., Hrebelska V. O., Skobalo O. S., Striamets S. P. Локальні прояви змін клімату на прикладі природного заповідника «Розточчя» *Scientific Bulletin of UNFU*. 2018. 28 (11), С. 24–28. DOI: <https://doi.org/10.15421/40281104>
14. Fedoniuk V., Zhadko O., Vovk O., Fedoniuk M., Ivantsiv V. Monitoring of Climate Changes and the State of Natural Complexes of the Cheremsky Nature Reserve. *Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. 17th International Scientific Conference. Publisher: European Association of Geoscientists & Engineers. Source: Conference Proceedings, 7–10 Nov. 2023, Volume 2023. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520175>
15. Fedoniuk V., Khrystetska M., Fedoniuk M., Merlenko I., Bondarchuk S. Shallowing of the Svityaz Lake in the context of regional climate change. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 2020. 29 (4). P. 673–683. DOI: <https://doi.org/10.15421/112060>
16. Fedoniuk V., Fesyuk V., Fedoniuk M. Analysis of the dynamics and precipitation regime in the cross-border region Poland-Belarus-Ukraine (2010–2018). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. Dnipro: 2023. 32 (2). P. 241–253. DOI: <https://doi.org/10.15421/112323>

ОЦІНКА СТАНУ ВПРОВАДЖЕННЯ МІЖНАРОДНИХ ЗОБОВ'ЯЗАНЬ УКРАЇНИ ЗІ ЗМІНИ КЛІМАТУ В ЗАКОНОДАВЧЕ ТА НОРМАТИВНО-ПРАВОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Хоменко С.В., Кірейцева Г.В.

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

У статті проведено комплексний аналіз стану впровадження міжнародних зобов'язань України щодо зміни клімату в національне законодавство та нормативно-правове забезпечення. Розглянуто історичний шлях формування міжнародної кліматичної політики від Рамкової конвенції ООН про зміну клімату (1992) через Кіотський протокол (1997) до Паризької угоди (2015). Досліджено специфіку участі України в цих міжнародних договорах та їхній вплив на формування національної кліматичної політики. Авторами проаналізовано ключові стратегічні документи України у сфері кліматичної політики, зокрема: Стратегію низьковуглецевого розвитку до 2050 року, Концепцію реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року, Стратегію екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату до 2030 року, а також Основні засади державної екологічної політики до 2030 року. Особливу увагу приділено стану гармонізації національного законодавства з правом ЄС у контексті кліматичної політики та Європейського зеленого курсу. Оцінено прогрес у впровадженні механізмів моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів як першого етапу створення національної системи торгівлі квотами. Визначено, що до 2022 року Україна демонструвала послідовність у виконанні міжнародних кліматичних зобов'язань, зокрема шляхом прийняття амбітного оновленого національно визначеного внеску до Паризької угоди, який передбачає скорочення викидів парникових газів на 65% до 2030 року порівняно з 1990 роком. Виявлено, що попри суттєвий прогрес, залишаються певні прогалини у законодавчому забезпеченні, зокрема щодо повної імплементації окремих директив та регламентів ЄС у сфері зміни клімату. Особлива актуальність належної імплементації міжнародних кліматичних зобов'язань пов'язується з необхідністю «зеленої» післявоєнної відбудови України, залучення міжнародних інвестицій та підвищення енергетичної безпеки держави. *Ключові слова:* парникові гази, зміна клімату, декарбонізація, моніторинг викидів, низьковуглецевий розвиток, кліматична політика.

Assessment of the status of implementation of Ukraine's international commitments on climate change into legislative and regulatory framework. Khomenko S., Kireitseva H.

The article provides a comprehensive analysis of the state of implementation of Ukraine's international climate change commitments into national legislation and regulatory framework. The historical path of international climate policy formation is examined, from the UN Framework Convention on Climate Change (1992) through the Kyoto Protocol (1997) to the Paris Agreement (2015). The specifics of Ukraine's participation in these international treaties and their influence on the formation of national climate policy are investigated. The authors analyze key strategic documents of Ukraine in the field of climate policy, in particular: the Low Carbon Development Strategy until 2050, the Concept for Implementation of State Climate Change Policy until 2030, the Strategy for Environmental Safety and Climate Change Adaptation until 2030, as well as the Basic Principles of State Environmental Policy until 2030. Special attention is paid to the state of harmonization of national legislation with EU law in the context of climate policy and the European Green Deal. Progress in implementing mechanisms for monitoring, reporting, and verification of greenhouse gas emissions as the first stage of creating a national emissions trading system is evaluated. It is determined that until 2022, Ukraine demonstrated consistency in fulfilling international climate commitments, particularly through the adoption of an ambitious updated nationally determined contribution to the Paris Agreement, which provides for a 65% reduction in greenhouse gas emissions by 2030 compared to 1990. It was found that despite significant progress, certain gaps remain in the legislative framework, particularly regarding the full implementation of certain EU directives and regulations in the field of climate change. The special relevance of proper implementation of international climate commitments is associated with the need for «green» post-war reconstruction of Ukraine, attracting international investments, and enhancing the country's energy security. *Key words:* greenhouse gases, climate change, decarbonization, emissions monitoring, low-carbon development, climate policy.

Постановка проблеми. Боротьба зі зміною клімату є глобальним викликом, який вимагає широкої міжнародної співпраці. Оцінка стану впровадження міжнародних зобов'язань України зі зміни клімату є особливо актуальною для країни саме зараз з декількох ключових причин. В умовах війни та післявоєнного відновлення питання сталого розвитку та «зеленої» відбудови стають пріоритетними, оскільки

це відкриває можливості для залучення міжнародної фінансової та технічної допомоги, орієнтованої на кліматичні цілі [1].

Актуальність дослідження. Міжурядова група експертів з питань зміни клімату опублікувала звіт «AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023», в якому зазначено, що глобальна температура в світі піднялась на 1,1°C вище, ніж була до індустріаль-

ного періоду (1850–1900 роки) [2]. Світ ймовірно досягне критичної межі підвищення температури на $1,5^{\circ}\text{C}$ у 2030-х роках за умови збереження та зростання поточних обсягів викидів парникових газів. Вплив кліматичних змін вже проявляється нелінійно, і додаткове зростання температури спричинить прискорене збільшення екстремальних природних явищ, посилюючи теплові хвилі, повені, пожежі, потепління океанів та затоплення прибережних територій [3].

Низка держав, включаючи Україну, демонструє значний прогрес у зменшенні викидів. Проте на глобальному рівні ситуація погіршується: загальносвітові викиди збільшились на 12% від показників 2010 року і на 54% порівняно з 1990 роком. Основними джерелами цього зростання залишаються процеси спалювання викопного палива та промислова діяльність (рис. 1) [4].

Євроінтеграційний процес України вимагає гармонізації національного законодавства з європейським, включаючи амбітний Європейський зелений курс та пакет кліматичних законів ЄС «Fit for 55», що передбачає скорочення викидів на 55% до 2030 року. Енергетична безпека країни безпосередньо пов'язана з декарбонізацією економіки та розвитком відновлюваних джерел енергії, що співпадає з кліматичними зобов'язаннями України [5].

Значна частина інфраструктури країни потребує відбудови, що створює унікальну можливість для впровадження енергоефективних та кліматично дружніх технологій «з нуля», замість модернізації застарілих систем. Міжнародні фінансові інсти-

туції та донори узалежнюють надання фінансової підтримки від виконання кліматичних зобов'язань, що робить їх дотримання економічно вигідним для України. Таким чином, комплексна оцінка впровадження міжнародних кліматичних зобов'язань є не лише вимогою часу, але й практичною необхідністю для забезпечення сталого, безпечного та економічно вигідного розвитку України в сучасних складних умовах.

Ефективність впровадження заходів, спроможних допомогти в розв'язанні проблеми зміни клімату, залежить від політики й співробітництва на всіх рівнях – від міжнародного до місцевого. Саме тому комплексна оцінка стану впровадження міжнародних зобов'язань України зі зміни клімату є надзвичайно актуальною, оскільки дозволяє виявити проблемні аспекти, визначити прогалини у законодавстві та практиці його застосування, а також розробити рекомендації щодо підвищення ефективності кліматичної політики держави в контексті євроінтеграційних процесів та глобальних кліматичних цілей.

Виклад основного матеріалу. Проблема глобальної зміни клімату залишається у центрі міжнародної уваги протягом десятиріч. Перша важлива міжнародна конференція, на якій обговорювалися питання зміни клімату, відбулася в Женеві в 1979 році. Цей процес сприяв створенню в 1989 році Міжурядової групи експертів з питань зміни клімату (МГЕЗК). Вона відіграє ключову роль у глобальній кліматичній політиці як провідний міжнародний науковий орган з оцінки зміни клімату. Її основна функція полягає в систематичному аналізі та узагальненні

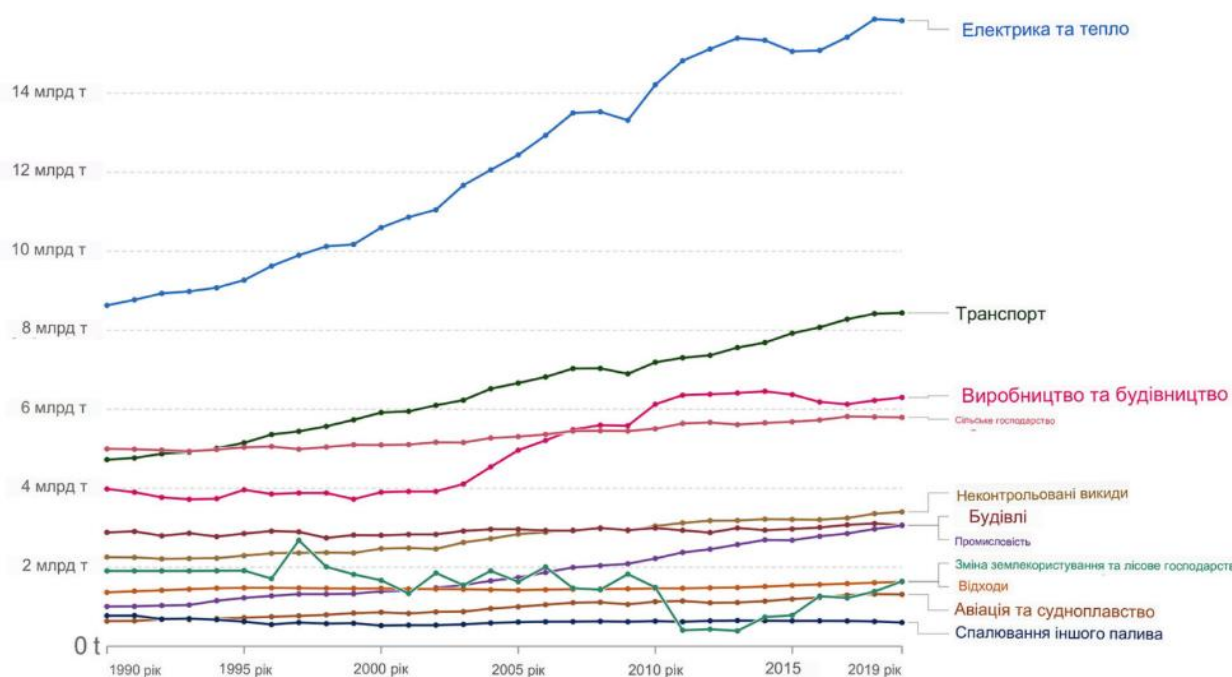


Рис. 1. Викиди парникових газів в світі за секторами (CO_2 екв.)

найсучасніших наукових знань щодо змін клімату, їхніх наслідків та можливих стратегій реагування. МГЕЗК не проводить власні дослідження, натомість об'єднує тисячі науковців з усього світу, які на добровільній основі вивчають і синтезують найновіші дослідження для підготовки всеохоплюючих оціночних доповідей. Ці доповіді, що виходять приблизно кожні 6–7 років, служать науковою основою для міжнародних переговорів з питань клімату та формування національних політик. Особливістю роботи МГЕЗК є її міждисциплінарний підхід, що охоплює фізичні аспекти зміни клімату, вразливість соціально-економічних і природних систем, можливості адаптації та пом'якшення наслідків. Завдяки своїй методології, яка включає багаторівневе рецензування та досягнення консенсусу між урядами та науковцями, доповіді МГЕЗК мають високий ступінь довіри та легітимності, що дозволяє їм ефективно впливати на формування глобальної та національної кліматичної політики, включаючи розробку та імплементацію міжнародних угод, таких як Рамкова конвенція ООН про зміну клімату, Кіотський протокол та Паризька угода [6].

У 1992 році в Ріо-де-Жанейро, Бразилія що проходила Конференція ООН з навколишнього середовища і розвитку (також відома як «Саміт Землі») на якій була прийнята Рамкова конвенція ООН про зміну клімату була прийнята Конвенція була відкрита для підписання 9 травня 1992 року і набула чинності 21 березня 1994 року після її ратифікації необхідною кількістю країн. Станом на сьогодні Конвенцію ратифікували 198 держав. На цьому історичному саміті світова спільнота вперше визнала проблему зміни клімату як серйозну глобальну загрозу. Головним досягненням стало встановлення кінцевої мети – стабілізації концентрації парникових газів в атмосфері на рівні, який би запобігав небезпечному антропогенному впливу на кліматичну систему. Важливо відзначити, що Конвенція встановила принцип «спільної, але диференційованої відповідальності», згідно з яким розвинені країни мають взяти на себе провідну роль у боротьбі зі зміною клімату, враховуючи їх історичну відповідальність за накопичення парникових газів в атмосфері [7].

Конвенція заклала фундаментальні засади міжнародного співробітництва у сфері зміни клімату. Було створено постійно діючі органи, включаючи Конференцію Сторін (COP) як вищий орган прийняття рішень. Також було встановлено зобов'язання для всіх країн-учасниць розробляти національні програми зі зменшення викидів парникових газів, проводити регулярну інвентаризацію викидів та подавати відповідні звіти.

Україна підписала Конвенцію 11 червня 1992 року і ратифікувала її 29 жовтня 1996 року. Приєднання до Конвенції означало для України визнання існування проблеми зміни клімату та необхідності міжнародної співпраці для її вирішення. З того часу Україна

регулярно бере участь у Конференціях Сторін та інших заходах в рамках Конвенції.

Важливо зазначити, що сама Конвенція не встановлювала юридично зобов'язуючих цілей щодо скорочення викидів. Це призвело до необхідності прийняття додаткових угод. Першою такою угодою став Кіотський протокол, який був прийнятий 11 грудня 1997 року в японському місті Кіото та став революційним доповненням до Рамкової конвенції ООН про зміну клімату, встановивши конкретні кількісні зобов'язання щодо скорочення викидів парникових газів. Протокол визначив амбітну мету – загальне скорочення викидів парникових газів на 5% нижче рівня 1990 року, при цьому для кожної країни з Додатку 1 були встановлені індивідуальні цілі. Для України було визначено завдання стабілізувати викиди на рівні базового 1990 року [8].

Для досягнення поставлених цілей протокол запровадив три інноваційні механізми гнучкості: міжнародну торгівлю квотами на викиди (International Emissions Trading), проекти спільного впровадження (Joint Implementation) та механізм чистого розвитку (Clean Development Mechanism). Україна офіційно приєдналася до протоколу 4 лютого 2004 року, взявши на себе зобов'язання на період 2008–2012 років з базовим роком 1990.

В рамках практичної реалізації протоколу в Україні було створено комплексну національну систему оцінки викидів та поглинання парникових газів, впроваджено систему торгівлі квотами, реалізовано численні проекти спільного впровадження та розроблено національний кадастр парникових газів. Результати виконання протоколу виявилися успішними – Україна не лише виконала свої зобов'язання, але й досягла значно нижчих показників викидів порівняно з рівнем 1990 року, що було зумовлено структурними змінами в економіці. Було успішно реалізовано понад 250 проектів спільного впровадження, що дозволило накопичити значний досвід у міжнародній кліматичній співпраці.

Перший період зобов'язань (2008–2012) характеризувався встановленням базових рівнів викидів, створенням системи моніторингу та звітності, запровадженням механізмів гнучкості та формуванням відповідної інституційної структури. Для України участь у Кіотському протоколі мала стратегічне значення, сприяючи інтеграції у міжнародну кліматичну політику, залученню інвестицій через механізми протоколу, модернізації промисловості, розвитку системи моніторингу викидів та підвищенню енергоефективності.

У другому періоді зобов'язань (2013–2020) була прийнята Доха поправка до Кіотського протоколу, згідно з якою Україна взяла на себе більш амбітні зобов'язання – обмежити викиди на рівні 76% від показників 1990 року, продовжуючи активну участь у механізмах гнучкості. Кіотський протокол став першим міжнародним документом, який встановив

юридично зобов'язуючі цілі зі скорочення викидів парникових газів та створив ефективні ринкові механізми для їх досягнення. Успішний досвід його реалізації став фундаментом для розробки Паризької угоди.

Паризька угода, прийнята 12 грудня 2015 року на 21-й Конференції Сторін Рамкової конвенції ООН про зміну клімату в Парижі, стала новим етапом у міжнародній кліматичній політиці, замінивши Кіотський протокол. Україна підписала Паризьку угоду 22 квітня 2016 року та ратифікувала її 14 липня 2016 року, ставши однією з перших країн, що взяли на себе зобов'язання щодо скорочення викидів парникових газів на глобальному рівні [9].

Ключова мета Паризької угоди полягає в утриманні зростання глобальної середньої температури значно нижче 2°C понад доіндустріальні рівні та спрямування зусиль на обмеження зростання температури до 1,5°C. На відміну від Кіотського протоколу, Паризька угода передбачає добровільні зобов'язання всіх країн-учасниць, а не лише розвинених держав, через механізм національно визначених внесків (NDC).

Згідно з першим національно визначеним внеском, Україна встановила ціль не перевищити до 2030 року 60% викидів парникових газів від рівня 1990 року. У 2021 році Україна оновила свій національно визначений внесок, встановивши більш амбітну ціль – скорочення викидів парникових газів на 65% до 2030 року порівняно з 1990 роком. Цей показник враховує необхідність відбудови країни після війни за принципами «зеленого» відновлення [10].

Для комплексного розуміння стану імплементації міжнародних кліматичних зобов'язань України в національне законодавство, доцільно розглянути ключові нормативно-правові акти, прийняті у відповідь на міжнародні вимоги. У таблиці 1 представлено систематизовану оцінку відповідності основних стратегічних та законодавчих документів України її міжнародним кліматичним зобов'язанням.

Паризька угода запровадила нові механізми співпраці, включаючи посилену систему прозорості дій та підтримки, глобальну оцінку прогресу кожні п'ять років, а також механізми фінансової та технологічної підтримки країн, що розвиваються. Особлива увага приділяється адаптації до змін клімату та підвищенню стійкості соціально-економічних та екологічних систем.

Для України виконання Паризької угоди означає системну трансформацію економіки та енергетичного сектору, розвиток відновлюваних джерел енергії, впровадження енергоефективних технологій та перехід до кліматично нейтральної економіки до 2060 року. Це вимагає значних інвестицій, технологічних інновацій та змін у законодавстві.

В рамках виконання Паризької угоди Україна зробила та прийняла низку стратегічних документів, включаючи Стратегію низьковуглецевого розвитку до 2050 року, Концепцію реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року та інші галузеві стратегії та плани дій. Важливим елементом реалізації угоди стало прийняття Закону України «Про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів», який запровадив європейські підходи до моніторингу викидів [11, 12, 13, 14, 15, 16].

Таблиця 1

Оцінка впровадження міжнародних зобов'язань у національне законодавство

Тип нормативно-правового акту	Назва документу	Рік прийняття	Зміст кліматичних положень	Ступінь відповідності міжнародним зобов'язанням
Закон	Про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів	2019	Запровадження системи МЗВ	Високий (відповідає вимогам Директиви 2003/87/ЄС)
Стратегія	Стратегія низьковуглецевого розвитку до 2050 року	2018	Шляхи декарбонізації економіки	Високий (відповідає вимогам Паризької угоди)
Концепція	Концепція реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2035 року	2016	Основні напрями кліматичної політики	Середній
Стратегія	Стратегія екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату до 2030 року	2021	Заходи з адаптації до зміни клімату	Високий
Стратегія	Основні засади (стратегія) державної екологічної політики України на період до 2030 року	2019	Екологічні аспекти кліматичної політики	Середній

Джерело: розроблено автором на основі [11, 12, 13, 14, 15]

Паризька угода також стала важливим елементом європейської інтеграції України, оскільки її виконання тісно пов'язане з впровадженням Європейського зеленого курсу та досягненням кліматичної нейтральності ЄС до 2050 року. Це створює додаткові можливості для залучення міжнародної технічної та фінансової допомоги, розвитку «зелених» технологій та створення нових робочих місць у секторах низьковуглецевої економіки.

Основними відмінностями Паризької угоди і Кіотського протоколу є:

- заміна природи цілі скорочення викидів із «зобов'язання» на «внесок», тобто якщо в Кіотському протоколі країни – Сторони Додатка В до Кіотського протоколу отримували конкретні зобов'язання щодо скорочення або обмеження викидів парникових газів, то в Парижській угоді кожна країна самостійно визначає свій внесок у глобальні зусилля з пом'якшення зміни клімату на планеті;

- розширення кола країн, які мають приймати цілі зі скорочення або обмеження викидів парникових газів, до усіх країн – Сторін Паризької угоди, в той час як в Кіотському протоколі лише країни – Сторони Додатка В до Кіотського протоколу мали зобов'язання щодо скорочення або обмеження викидів парникових газів.

Україна стала 9-ю стороною Паризької угоди, що виконала її вимогу – розробити власні національні стратегії низьковуглецевого розвитку до 2050 року. Кабінет Міністрів України своїм протокольним рішенням від 18.07.2018 № 28 підтримав пропозицію Мінприроди щодо подання Секретаріату РКЗК ООН Стратегії низьковуглецевого розвитку України до 2050 року, схваленої рішенням Міжвідомчої комісії із забезпечення виконання Рамкової конвенції ООН про зміну клімату (протокол від 16.02.2018 № 1). Документ подано Секретаріату РКЗК ООН 30.07.2018. Стратегія передбачає зменшення обсягу викидів парникових газів, відмову від викопного палива і старт інвестування у відновлювальні джерела енергії.

Наприкінці 2019 року Єврокомісія опублікувала Європейську зелену угоду (European Green Deal). Основною метою Угоди є перетворення Європи до 2050 року на перший кліматично нейтральний континент. Проєкт спрямований на захист, збереження та збільшення природних ресурсів ЄС, а також захист здоров'я та добробуту громадян. Зелена угода є невід'ємною частиною стратегії Європейського Союзу щодо виконання плану Організації Об'єднаних Націй до 2030 року та цілей сталого розвитку. У рамках Зеленої угоди Єврокомісія переорієнтує процес економічної координації на інтеграцію цілей сталого розвитку ООН, поставлення стійкості та добробуту громадян у центр економічної політики та цілей сталого розвитку в основі політики та дій ЄС [16].

У 2019 році Верховна Рада України оновила Основні засади (стратегію) державної екологічної

політики України на період до 2030 року (Закон України від 28.02.2019 № 2697-VIII), якими збереження такого стану кліматичної системи, який унеможливить підвищення ризиків для здоров'я та благополуччя людей і навколишнього природного середовища, визначено одним з основних її засад [15]. Серед очікуваних результатів впровадження затверджених засад визначено створення правової бази та умов для реалізації державної політики у сфері зміни клімату, запобігання подальшій деградації земель та опустелюванню, зокрема шляхом ощадливого використання водних ресурсів і впровадження науково, екологічно та економічно обґрунтованих підходів до проведення меліоративних робіт. Стратегією передбачається створення умов для декарбонізації енергетичного сектору, активного впровадження технологій енергозбереження та підвищення енергоефективності, збільшення виробництва енергії за рахунок відновлювальних та альтернативних джерел, впровадження найкращих наявних низьковуглецевих, ресурсозберігаючих технологій виробництва, а також сучасних будівельних технологій з тепло- та енергозбереження, що дасть змогу істотно зменшити обсяг викидів парникових газів та забруднюючих речовин в атмосферне повітря, а також скидання забруднюючих речовин у водойми.

За результатами слухань у Комітеті з питань екологічної політики та природокористування Верховної Ради України рекомендовано Кабінету Міністрів України до кінця 2021 року: затвердити Концепцію реалізації державної політики у сфері «зеленого» енергетичного переходу України до 2050 року; розробити та подати на розгляд Верховної Ради України Загальнодержавну програму «Зелений курс України» з урахуванням оновленого Національно визначеного внеску щодо глобального реагування на зміну клімату; затвердити план заходів щодо досягнення кліматичної нейтральності економіки України до 2050 року; розробити план заходів щодо участі України в Європейському зеленому курсі. Зазначені рекомендації парламентського комітету вказують на наявність суттєвих прогалин у законодавчому забезпеченні кліматичної політики України, які потребують невідкладного врегулювання.

Відмітимо, що 21.01.2020 Міністерство енергетики та захисту довкілля України оприлюднило нову Концепцію «зеленого» енергетичного переходу України до 2050 року. Окрему увагу в цій концепції приділено розвитку енергетики з відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Зокрема, наголошується, що частка ВДЕ у виробництві електроенергії в Україні до 2050 року має досягти 70%, а пріоритетним видом «зеленої» енергетики має стати біоенергетика, а не сонячна або вітрова енергетика. Проте така концепція пройшла лише громадські обговорення та не схвалена Урядом. При цьому цей стратегічний документ має стати чіткою відповіддю на питання, який саме шлях обирає Україна в досягненні цілей

кліматичної Паризької угоди (у статті 4 Паризької угоди йдеться про досягнення балансу між антропогенними викидами із джерел та абсорбцією поглиначами парникових газів (ПГ) у другій половині цього століття, досягнення кліматично нейтральної економіки) і як він корелюватиметься з Європейською зеленою угодою

Угода про асоціацію з ЄС, яка стала частиною національного законодавства 16 вересня 2014 року після її ратифікації Верховною Радою України, передбачила поступове наближення законодавства України до права та політик ЄС у сферах енергетичної ефективності, відновлюваної енергетики, оподаткування енергопродуктів та електроенергії, поводження з відходами, зміни клімату, у тому числі запровадження системи торгівлі квотами на викиди ПГ відповідно до положень Директиви 2003/87/ЄС про встановлення системи торгівлі квотами (СТВ) на викиди ПГ у рамках Співтовариства

Підписавши Угоду про асоціацію між Україною та ЄС, що була ратифікована Законом України № 1678-VII від 16.09.2014 та набрала чинності для України 01.09.2017, Україна взяла низку зобов'язань з адаптації свого законодавства до вимог Директиви ЄС 2003/87 від 13.10.2003 «Стосовно заснування схеми для зменшення викидів в атмосферу парникових газів, торгуючи в межах Співтовариства», викладених в додатку XXX Угоди. Отже, в Україні впроваджується система торгівлі квотами на викиди парникових газів (далі – СТВ) аналогічна за своєю структурою Європейській СТВ. Для виконання цих зобов'язань розроблено багаторівневу систему національного пакета законодавства. З метою імплементації системи моніторингу, звітності та верифікації викидів (МЗВ) парникових газів в Україні, зокрема,

прийнято Закон України від 12.12.2019 № 377-IX «Про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів» [18, 11].

Зобов'язання щодо гармонізації національного законодавства з правом ЄС у сфері зміни клімату є важливою складовою євроінтеграційного процесу України. Для об'єктивної оцінки прогресу у виконанні цих зобов'язань у таблиці 2 представлено детальний аналіз стану імплементації ключових директив та регламентів ЄС у кліматичній сфері відповідно до встановлених Угодою про асоціацію термінів.

Як видно з таблиці, процес гармонізації відбувається нерівномірно та потребує прискорення для повноцінного виконання взятих Україною зобов'язань.

У 2021 році з метою підвищення рівня екологічної безпеки, зменшення впливів та наслідків зміни клімату в Україні Урядом України схвалено Стратегію екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату до 2030 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2021 № 1363-р). Впровадження стратегії передбачено відповідно до Операційного плану її реалізації, в якому прописані заходи на найближчі три роки.

Визнаючи глобальний антропогенний вплив на зміну клімату та необхідність невідкладного ефективного реагування на загрози, що викликані зміною клімату, та необхідність адаптації до наслідків зміни клімату Україна постановою Верховної Ради України від 05.11.2021 № 1870-IX33 також засвідчила намір якнайшвидшого створення та оновлення законодавства, зокрема в частині:

– запровадження ієрархії управління відходами та зменшення викидів парникових газів унаслідок

Таблиця 2

Стан виконання Україною зобов'язань щодо гармонізації законодавства з правом ЄС у сфері зміни клімату

Директива/Регламент ЄС	Зміст вимог	Строк імплементації за Угодою про асоціацію	Стан імплементації	Законодавчі акти України
Директива 2003/87/ЄС	Система торгівлі квотами на викиди парникових газів	2 роки з моменту набрання чинності Угодою	Часткова імплементація	ЗУ Про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів (2019)
Регламент 842/2006	Регулювання використання фторованих парникових газів	2 роки з моменту набрання чинності Угодою	Не імplementовано	-
Директива 2009/28/ЄС	Сприяння відновлюваним джерелам енергії	3 роки з моменту набрання чинності Угодою	Часткова імплементація	ЗУ Про альтернативні джерела енергії
Директива 2012/27/ЄС	Енергоефективність	3 роки з моменту набрання чинності Угодою	Часткова імплементація	Закон «Про енергетичну ефективність»

Джерело: розроблено автором на основі [11, 18, 19]

скорочення обсягів захоронення відходів і рекультивациі існуючих полігонів твердих побутових відходів та сміттєзвалищ;

– «зеленої» трансформації промисловості та переходу до системи інтегрованих дозволів на викиди, скиди забруднюючих речовин і утворення відходів, відповідно до найкращих доступних технологій з метою зменшення промислового забруднення та скорочення викидів парникових газів впровадження національної системи торгівлі квотами на викиди парникових газів, впровадження системи енергозбереження та енергоефективності, скорочення обсягів споживання викопних видів палива, прискорення впровадження чистих технологій;

– реформування системи оподаткування викидів парникових газів, створення Українського кліматичного фонду, реформування екологічного контролю;

– збільшення площі лісів, збереження самосійних лісів та природних степових та лучних екосистем, зупинення деградації земель задля збільшення поглинання парникових газів, збереження біорізноманіття та впорядкування діяльності на територіях Смарагдової мережі.

Висновки. Таким чином, Україною, у період до 2022 року, забезпечувалося впровадження міжнародних зобов'язань зі змін клімату в українське законодавче та нормативно-правове поле. На початок 2022 року органами державної влади України були

розроблені стратегічні та програмні документи, спрямовані на виконання РКЗК ООН та Паризької угоди. Зокрема, Урядом України затверджені: Концепція реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року, Оновлений національно визначений внесок, Стратегія екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату до 2030 року. Крім того, розроблено послідовність дій з впровадження національної системи торгівлі квотами на викиди парникових газів, яка аналогічна за своєю структурою Європейській СТВ. Першим етапом таких дій є впровадження системи моніторингу, звітності та верифікації викидів ПГ. У подальшому передбачалося впровадження наступних складових системи торгівлі квотами на викиди ПГ. На визначену дату, Україна виконувала взяті на себе за міжнародними договорами зобов'язання, а більшість підприємств дотримувались вимог законодавства України та підтримували рішення держави щодо впровадження СТВ, що давало можливість у майбутньому отримати додаткові кошти від продажу квот на викиди ПГ, згенеровані в результаті зменшення кількості викидів ПГ при модернізації виробництва, підвищити ефективність використання ресурсів, підвищити енергетичну безпеку підприємств, отримати прозору систему моніторингу викидів ПГ, стати більш привабливим для інвесторів і замовників та, в перспективі, перейти на низьковуглецеві джерела енергії.

Література

1. Зміна клімату в Україні та світі: причини, наслідки та рішення для протидії. Екодія. 2020. 2 листоп. URL: <https://ecoaction.org.ua/zmina-klimatu-ua-ta-svit.html> (дата звернення: 20.01.2025)
2. AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/> (дата звернення: 20.01.2025)
3. Басок Б., Базеев Є. Глобальне потепління: проблеми, дискусії та прогнози. Світогляд. 2020. № 6 (86). С. 4-15. URL: <https://www.mao.kiev.ua/biblio/jscans/svitoglyad/svit-2020-15-6/svitoglyad-6-2020-bass-baz-04.pdf> (дата звернення: 24.01.2025)
4. Національний кадастр антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів в Україні за 1990–2015 рр. URL: http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/10116.php (дата звернення: 27.01.2025)
5. Європейський Зелений Курс (European Green Deal). Представництво України при Європейському Союзі. 2021. 15 квіт. URL: <https://ukraine-eu.mfa.gov.ua/posolstvo/galuzeve-spivrobitnictvo/klimat-yevropejska-zelena-ugoda> (дата звернення: 24.01.2025)
6. IPCC. Зміна клімату 2021: Основи фізичної науки. Внесок Робочої групи I до Шостого звіту про оцінку Міжурядової групи експертів зі зміни клімату / за ред. В. Массон-Делмотт та ін. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. DOI: 10.1017/9781009157896 (дата звернення: 28.01.2025).
7. Рамкова конвенція Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату: міжнар. док. від 09.05.1992. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_044 (дата звернення: 29.01.2025)
8. Kyoto protocol to the united nations framework convention on climate change. URL: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf> (дата звернення: 29.01.2025)
9. Паризька угода / Організації Об'єднаних Націй, 2015. URL: http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/995_161 (дата звернення: 03.02.2025)
10. Про схвалення Очікуваного національно визначеного внеску України до проекту нової глобальної кліматичної угоди: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 16 вересня 2015 р. № 980. URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/980-2015-%D1%80> (дата звернення: 03.02.2025)
11. Закон України від 12.12.2019 р. № 377-IX. Про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/377-20> (дата звернення: 14.02.2025)
12. Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року. URL: https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/07/LEDS_ua_last.pdf (дата звернення: 14.02.2025)
13. Розпорядження Кабінету Міністрів України. 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.: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/483-2024-%D1%80#Text> (дата звернення: 15.02.2025)

14. Розпорядження Кабінету Міністрів України. Про схвалення Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1363-2021-%D1%80#Text> (дата звернення: 15.02.2025)
15. Закон України. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text> (дата звернення: 15.02.2025)
16. The European Green Deal. URL: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en (дата звернення: 17.02.2025)
17. Закон України. Про ратифікацію Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1678-18#Text> (дата звернення: 17.02.2025)
18. Закон України. Про альтернативні джерела енергії: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text> (дата звернення: 17.02.2025)
19. Закон України. Про енергетичну ефективність: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#Text> (дата звернення: 17.02.2025)

АГРОКЛІМАТИЧНІ УМОВИ ФОРМУВАННЯ УРОЖАЮ СОЧЕВИЦІ В ЗАХІДНІЙ УКРАЇНІ ПРИ ЗМІНІ КЛІМАТУ

Ярмуш С.Х.¹, Польовий А.М.¹, Барсукова О.А.^{1,2}

¹Одеський національний університет імені І.І. Мечнікова
вул. Львівська, 15, 65016, м. Одеса

²Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук
вул. Маяцька дорога, 24, 67667, смт. Хлібодарське
apolevoy@te.net.ua, lena5933@ukr.net

Мета дослідження адаптувати базову модель оцінки агрокліматичних ресурсів для формування продуктивності сільсько-господарських культур поля до біологічних особливостей культури сочевиці. Модель заснована на концепції максимальної продуктивності рослин Х.Г. Тоомінга та результатах моделювання формування урожаю рослин А.М. Польового. Моделюються чотири агроекологічних рівня урожайності: потенційна, метеорологічно-можлива, дійсно можлива та урожайність у виробництві. Потенційна урожайність загальної біомаси визначається в залежності від інтенсивності фотосинтетично активної радіації (ФАР) і біологічних особливостей культури. Метеорологічно-можлива урожайність являє собою потенційну урожайність, яка буде обмежена впливом волого-температурного режиму. Формування дійсно можливої урожайності обмежується рівнем природної родючості ґрунту. Одержання рівня господарської урожайності загальної біомаси обмежується реально існуючим рівнем культури землеробства. На цій основі виконано оцінку агроекологічних умов формування урожаю сочевиці в Західній Україні (на прикладі Тернопільської області) в сучасних умовах та в умовах майбутніх змін клімату. Оцінка проведена шляхом порівняння агрокліматичних умов сучасного періоду (1991–2020 рр.) та при реалізації сценаріїв зміни клімату RCP 4.5 та RCP 8.5 на період 2021–2050 рр. Встановлено, що зменшення сумарного надходження ФАР (на 17–19%) та зниження температури повітря (на 0,7–0,8°C) протягом вегетації сільськогосподарських культур призведе до збільшення тривалості вегетаційного періоду. Порівняння агроекологічних рівнів урожайності в сучасних умовах та в умовах майбутніх змін клімату показало, що при реалізації сценарію кліматичних умов відбудеться зниження рівня врожайності (на 17,8%), а урожайність квасолі зменшиться на 2,6–2,7 ц га-1. Допускається використання більш урожайних сортів сочевиці з більшою продуктивністю. Підвищити врожайність сочевиці в умовах зміни клімату до 15–17 ц га-1. *Ключові слова:* сочевиця, модель, клімат, ФАР, температура повітря, урожайність.

Agroclimatic conditions of lentil crop formation in Western Ukraine under climate change. Yarmush S., Polevoy A., Barsukova E.

The purpose of the study is to adapt the basic model of agroclimatic resources assessment for the formation of the productivity of field crops to the biological characteristics of the lentil crop. The model is based on the concept of maximum plant productivity by H.G. Tooming and the results of modeling the formation of plant yields by A.M. Polevoy. Four agroecological levels of yield are modeled: potential, meteorologically feasible, actually possible, and yield in production. The potential yield of total biomass is determined depending on the intensity of photosynthetically active radiation (PAR) and the biological characteristics of the crop. Meteorologically possible yield is a potential yield that will be limited by the influence of the moisture-temperature regime. The formation of actually possible yield is limited by the level of natural soil fertility. Obtaining the level of economic yield of total biomass is limited by the actually existing level of agricultural culture. On this basis, an assessment of the agroecological conditions for the formation of the lentil crop in Western Ukraine (using the example of Ternopil region) was carried out under current conditions and under conditions of future climate change. The assessment was carried out by comparing the agroclimatic conditions of the current period (1991–2020) and under the implementation of the RCP 4.5 and RCP 8.5 climate change scenarios for the period 2021–2050. It was established that a decrease in the total PAR input (by 17–19%) and a decrease in air temperature (by 0.7–0.8 °C) during the growing season of agricultural crops will lead to an increase in the duration of the growing season. A comparison of agroecological levels of yield under current conditions and under conditions of future climate change showed that under the implementation of the scenario climate conditions, the yield level will decrease (by 17.8%), and the yield of beans will decrease by 2.6–2.7 c ha-1. It is allowed to use more productive varieties of lentils with higher productivity. Increase the yield of lentils in conditions of climate change to 15–17 c ha-1. *Key words:* lentils, model, climate, PAR, air temperature, yield.

Постановка проблеми. Сочевиця (*Lens culinaris* Medik), одна з найпоширеніших бобових культур у світі, вирощується на 4,34 мільйона гектарів землі та виробляє 4,95 мільйона тонн бобових щорічно (Dikshit et al., 2015). Основні райони вирощування сочевиці у світі стикаються з різними біотичними та абіотичними стресами, які обмежують ріст рослин і, зрештою, обмежують урожай стручків.

У країнах Західної Європи ця рослина завжди була ціною продовольчої культури. В Україні

ж про неї на деякий час забули, але сьогодні вона знову набирає популярності. Завдяки деяким цінним властивостям сочевиця має перевагу над іншими культурами. Насамперед це білок, який засвоюється організмом людини значно легше, ніж білок інших рослин. За його вмістом (20–36% залежно від сорту) сочевиця знаходиться на другому місці після сої (32–40%). Крім того, сочевиця є відмінним попередником у польових сівозмінах. Однією з причин цього є її здатність до симбіотичної фіксації азоту

з повітря, завдяки чому можна істотно скоротити норми внесення мінеральних добрив.

Ця культура має і лікарські властивості. Використання борошна, пророщеного насіння, сухого екстракту з трави, відварів та водних настоїв з сочевиці сприяє лікуванню низки хвороб. У деяких країнах її навіть відносять до лікарських.

З агротехнічного погляду сочевиця характеризується досить високою посухо- й холодостійкістю і добре пристосована до умов помірного клімату. Краще переносить посуху, ніж інші бобові культури. Завдяки здатності до фіксації атмосферного азоту поліпшує родючість ґрунту, сприяючи підвищенню врожайності інших культур сівозміни. Насіння сочевиці містить значну кількість цінного білка, багате на амінокислоти, вітаміни та мікроелементи, що робить її незамінним продуктом харчування, особливо у вегетаріанських дієтах [1, 2].

Сьогодні, незважаючи на очевидну цінність сочевиці та багаторічні наукові дослідження, урожайність її поки що залишається на досить низькому рівні. Технологія вирощування сочевиці в Україні не в достатній мірі розроблена та представлена як така, що спрямована на максимальну реалізацію біологічного потенціалу культури. Адже під час вибору елементів технології виробничники переважно покладаються на промислові складові технологій вирощування інших зернобобових культур.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сочевицю бобових культур (*Lens culinaris* Medik.) часто вирощують у сівозміні, щоб забезпечити переваги азоту (N) і води для наступних культур. Урожайність сочевиці сильно залежить від факторів навколишнього середовища та методів управління. Надійна модель врожаю сочевиці може допомогти в оцінці впливу методів управління для пом'якшення екологічного стресу та максимізації врожайності сочевиці. Однак небагато моделей культур імітують розвиток і ріст сочевиці.

У роботі [3] стосовно кліматичних умов Канади адаптували модель CSM-CROPGRO в Системі підтримки прийняття рішень щодо трансферу агротехнологій для моделювання розвитку та росту сочевиці на основі даних, зібраних у шести експериментах, проведених у всьому світі з 2001 по 2021 рік. Початкові значення параметрів, отримані з бобів (*Vicia faba* L.), були змінені на основі повідомленої інформації та аналізу спостережених даних. Ці значення були точно налаштовані, щоб мінімізувати розбіжності між змодельованими та спостережуваними атрибутами культури. Модель імітувала надземну біомасу з нормалізованою середньоквадратичною помилкою ($\leq 23\%$). Урожайність насіння загалом була добре змодельована в експериментах у калібруванні та валідації ($nRMSE = 19\%$) наборів даних, за винятком переоцінки у вологому середовищі Квебеку в Канаді, що могло бути наслідком надмірного вегетативного росту. Механізми, що

лежать в основі надмірного вегетативного росту, потребують подальшого вивчення та включення в модель для оцінки адаптивності сочевиці до певних регіонів. Загалом модель CSM-CROPGRO-Lentil готова для моделювання виробництва сочевиці за різними сценаріями, які можуть визначити шляхи підвищення продуктивності та стійкості систем землеробства, які включають сочевицю.

В роботі [4] Модель APSIM-lentil вперше була детально параметризована для покращення прогнозування моделі. Параметризували властивості рослин для невикористаних сортів сочевиці для моделі сочевиці APSIM у фенології, біомасі та врожайності насіння. Використаний поетапний процес параметризації забезпечив надійні специфічні коефіцієнти сорту, які підходять для ширших досліджень ідеотипів за допомогою моделі APSIM-lentil. Поетапний процес вимагав початкового вимірювання води в ґрунті на експериментальних ділянках із використанням найближчих параметрів APSOIL. Загалом, модель сочевиці APSIM показала хороші результати у прогнозуванні фенології, врожайності насіння та біомаси, і модель повинна бути застосована до інших типів ґрунтів Південно-Східної Австралії та, можливо, інших подібних середовищ. Краще розуміння синергії ідеотипу та агрономічної практики за допомогою моделювання культур допомогло визначити високий потенціал урожайності культур сочевиці в конкретних умовах.

Сочевицю вирощують у районах, де стикаються з багатьма екологічними обмеженнями від низької доступності вологи та високих температур до зимових холодів на високих висотах. Використання відповідної та надійної моделі врожаю може запропонувати механістичну базу для дослідження та екстраполяції впливу певної властивості рослини чи управління врожаєм у різних середовищах. В роботі [5] представлено використання загальної моделі SSM-Legumes для розробки простої та прозорої моделі сочевиці. Показано, що модель SSM-Legumes має потужну прогностичну здатність оцінювати варіації у фенологічному розвитку та врожайності сочевиці в трьох місцях на Близькому Сході (Ліван і Сирія) із великою різницею в кількості опадів. Узгодженість між змодельованими та спостережуваними днями до цвітіння або зрілості та врожайністю показала надійність моделі в прогнозуванні росту та врожайності сочевиці. Включення в SSM-бобові підмоделі, яка дозволяє більш реалістично обчислювати виживання культур за дуже низького вмісту води в ґрунті, що призводить до більш реалістичних прогнозів росту та врожайності сочевиці. Використання моделі для тестування потенціалу збільшення врожайності сочевиці шляхом утримання поживних залишків на поверхні ґрунту для зменшення випаровування ґрунту. Результати показали підвищення врожайності до 25% у всіх трьох місцях завдяки збереженню залишків попередніх культур.

Мета та методи дослідження. Мета дослідження полягає в адаптації базової моделі оцінки агрокліматичних ресурсів формування продуктивності сільськогосподарських культур Польового [6] до біологічних особливостей культури сочевиці та на цій основі оцінці агроєкологічних умов формування урожаю чечевиці в Західній Україні (на прикладі Тернопільської області) при зміні клімату, оцінці агроєкологічних рівнів урожайності в сучасних умовах та в умовах майбутніх змін клімату, порівнянні цих величин.

В основу дослідження покладено матеріали агрометеорологічних спостережень за період 1991–2020 рр. та сценарій зміни клімату RCP 4.5 та RCP 8.5 на період 2021–2050 рр. [7].

Базова модель оцінки агрокліматичних ресурсів формування продуктивності сільськогосподарських культур заснована на концепції максимальної продуктивності рослин Х.Г. Тоомінга [8] та результатах моделювання формування урожаю рослин А.М. Польового [7].

Розглянемо більш докладно блок агроєкологічних категорій урожайності.

Збільшення потенційної урожайності загальної біомаси за декаду визначається в залежності від інтенсивності фотосинтетично активної радіації (ФАР) і біологічних особливостей культури з врахуванням зміни здатності рослин до фотосинтезу протягом вегетації

$$\frac{\Delta PY^j}{\Delta t} = \alpha_\phi^j \frac{\eta \cdot Q_{\text{фар}}^j \cdot k_{\text{екс}}^j \cdot dv^j}{q}, \quad (1)$$

де $\frac{\Delta PY}{\Delta t}$ – приріст потенційної урожайності загальної біомаси за декаду, г/м²;

α_ϕ – онтогенетична крива фотосинтезу, відн. од.;

η – ККД посівів, відн. од.;

$Q_{\text{фар}}$ – середньодекадна за добу сума ФАР, кал/см² доба;

$k_{\text{екс}}^j$ – коефіцієнт для перерахування середньої за декаду сумарної сонячної радіації з горизонтальної поверхні для схилів різної експозиції і крутості, відн. од.;

q – калорійність.

В основі продукційного процесу рослин лежить фотосинтез. Його інтенсивність обумовлюється фазою розвитку рослин і умовами навколишнього середовища. Для розрахунку онтогенетичної кривої фотосинтезу використовується формула

$$\alpha_\phi^j = \exp \left[-\alpha_\phi \left(\frac{TS_2 - \Sigma t_1}{10} \right)^2 \right], \quad (2)$$

де величина α_ϕ знаходиться за виразом

$$\alpha_\phi = \frac{-100 \cdot \ln \alpha_\phi^0}{(\Sigma t_1)^2}, \quad (3)$$

де α_ϕ – онтогенетична крива фотосинтезу, відн. од.;

α_ϕ^0 – початкове значення онтогенетичної кривої фотосинтезу, відн. од.;

Σt_1 – сума ефективних температур повітря від сходів, при якій спостерігається максимальна інтенсивність фотосинтезу рослин, °С;

TS_2 – сума ефективних температур, °С.

Приріст метеорологічно-можливої урожайності загальної біомаси являє собою приріст потенційної урожайності, який буде обмежений впливом волого-температурного режиму:

$$\frac{\Delta MMU^j}{\Delta t} = \frac{\Delta PY^j}{\Delta t} \cdot FTW_2, \quad (4)$$

де $\frac{\Delta MMU}{\Delta t}$ – приріст метеорологічно-можливої урожайності загальної біомаси за декаду, г/м²;

FTW_2 – узагальнена функція впливу волого-температурного режиму з корекцією на сполучення різних екстремальних умов, відн. од.

Функція впливу температури повітря на продукційний процес рослин визначається як

$$\psi_\phi = \begin{cases} 13,7 \cdot \sin(0,077 \cdot x_1^j) & \text{при } (T^j - T_\phi) < T_{\text{opt1}}^j, \\ 1 & \text{при } T_{\text{opt1}}^j \leq (T^j - T_\phi) \leq T_{\text{opt2}}^j, \\ 1,13 \cdot \cos(1,570 \cdot x_2^j) & \text{при } (T^j - T_\phi) > T_{\text{opt2}}^j, \end{cases} \quad (5)$$

де ψ_ϕ – температурна крива фотосинтезу, відн. од.;

T – середньодекадна температура повітря, °С;

T_ϕ – середньодекадна температура повітря, при якій починається фотосинтез, °С;

T_{opt1} – нижня межа температурного оптимуму для фотосинтезу, °С;

T_{opt2} – верхня межа температурного оптимуму для фотосинтезу, °С.

У рівнянні (5) проміжні величини знаходяться за формулами

$$x_1^j = (T_s^j \cdot k_{\text{екс}}^T - T_\phi) / (T_{\text{opt1}}^j - T_\phi), \quad (6)$$

$$x_2^j = (T_s^j \cdot k_{\text{екс}}^T - T_{\text{opt2}}^j) / (T_{\text{max}} - T_{\text{opt2}}^j), \quad (7)$$

де T_{max} – середньодекадна температура повітря, при якій припиняється фотосинтез, °С;

T_s – температура повітря на горизонтальній поверхні, °С;

$k_{\text{екс}}^T$ – коефіцієнт для перерахування температури повітря на схилі.

Значення нижньої і верхньої межі температурного оптимуму для фотосинтезу визначаються як функції часу.

Функція впливу вологості ґрунту на фотосинтез γ_ϕ знаходиться як

$$\gamma_\phi = \begin{cases} -1,163 \cdot (x_3^j)^2 + 2,187 \cdot x_3^j & \text{при } W^j \cdot k_{\text{екс}}^W < W_{\text{opt1}}^j, \\ 1 & \text{при } W_{\text{opt1}}^j \leq W^j \cdot k_{\text{екс}}^W \leq W_{\text{opt2}}^j, \\ -0,654 + 3,824 \cdot x_4^j - 2,633 \cdot (x_4^j)^2 + 0,467 \cdot (x_4^j)^3 & \text{при } W^j \cdot k_{\text{екс}}^W > W_{\text{opt2}}^j, \end{cases} \quad (9)$$

де W – запаси продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту, мм;

W_{opt1} – нижня межа оптимальних запасів вологи, мм;

W_{opt2} – верхня межа оптимальних запасів вологи, мм.

$$x_3^j = W^j \cdot k_{eks}^W / W_{opt1}^j, \quad (10)$$

$$x_4^j = W^j \cdot k_{eks}^W / W_{opt2}^j, \quad (11)$$

де k_{eks}^W – коефіцієнт для перерахування запасів вологи на схилі, відн. од.

Функція впливу вологозабезпеченості посівів розглядається як сполучення двох функцій. Враховується функція впливу вологості ґрунту на продуктивність рослин (за даними про фактичні запаси вологи) і відношення сумарного випаровування посівів до випаровуваності з врахуванням експозиції і крутості схилів:

$$FW = \left(\gamma_\phi^j \cdot \frac{E_{eks}^j}{E_{0\ eks}^j} \right)^{0,5}, \quad (12)$$

де FW – відносна вологозабезпеченість посівів, відн. од.

Аналогічно визначається узагальнена функція впливу термічного режиму і вологозабезпеченості FTW_1 на фотосинтез:

$$FTW_1 = (\psi_\phi FW)^{0,5}. \quad (13)$$

До цієї функції вводиться корекція на рівень температури в сполученні з вологозабезпеченістю

$$FTW_2 = \begin{cases} FTW_1[1 + (1 - \Psi_\phi)(1 - FW)] & \text{при } t_n < t_{opt1} \\ FTW_1 & \text{при } t_{opt1} \leq t_n \leq t_{opt2} \\ FTW_1[1 - (1 - \Psi_\phi)(1 - FW)] & \text{при } t_n > t_{opt2} \end{cases}. \quad (14)$$

Формування дійсно можливої урожайності загальної біомаси обмежується рівнем природної родючості ґрунту:

$$\frac{\Delta DMU^j}{\Delta t} = \frac{\Delta MMU^j}{\Delta t} B_{nl} F_{Gum}, \quad (15)$$

де $\frac{\Delta DMU}{\Delta t}$ – приріст дійсно можливої урожайності загальної біомаси за декаду, г/м²;

B_{nl} – бал ґрунтового бонітету, відн. од.

Одержання рівня господарської урожайності загальної біомаси обмежується реально існуючим рівнем культури землеробства й ефективністю внесених мінеральних і органічних добрив:

$$\frac{\Delta UB^j}{\Delta t} = \frac{\Delta DMU^j}{\Delta t} k_{земл} FWM_{ef}^j, \quad (16)$$

де $\frac{\Delta UB}{\Delta t}$ – приріст урожайності загальної біомаси у виробництві, г/м²;

$k_{земл}$ – коефіцієнт, що характеризує рівень культури землеробства і господарської діяльності, відн. од.;

FWM_{ef} – функція ефективності внесення органічних і мінеральних добрив в залежності від умов вологозабезпеченості декад вегетації, відн. од.

Різні агроєкологічні категорії врожаю зерна при його стандартній 14%-ій вологості визначаються за виразом

$$ПУ_{зерна} = ПУ \cdot K_{госп.}^{ПУ} 1,14 \cdot 0,1 \quad (17)$$

де $ПУ_{зерна}$ – потенційний урожай зерна, ц/га;

$K_{госп.}^{ПУ}$ – частка зерна в загальній масі потенційного урожаю, відн. од., яка визначається в залежності від розмірів урожаю загальної біомаси.

Аналогічно визначаються відповідно метеорологічно-можливий $ММУ_{зерна}$, дійсно можливий $ДМУ_{зерна}$ і урожай у виробництві $УВ_{зерна}$ зерна.

Виклад основного матеріалу. Порівняння температурного режиму та режиму зволоження, які очікуються за кліматичними сценаріями RCP 4.5 та RCP 8.5, зі середніми багаторічними умовами показує їх суттєву різницю (рис. 1).

Для обох сценарних років буде характерним більш низький рівень температури протягом вегетації культури. Для більш вірогідного сценарію RCP 4.5 ця різниця становитиме 1–2 °С протягом всієї вегетації і лише останні дві декади вона зменшиться. Динаміка температури повітря за сценарієм RCP 8.5 буде аналогічна, інколи перевищуючи (перш-третя та шоста-сьома декади).

Очікуваний за сценаріями зміни клімату режим зволоження буде більш вологим. Кількість опадів за сценарієм RCP 4.5 перші три декади вегетації буде на 5–7 мм вище, чим багаторічна. Потім, протягом четвертої-сьомої декади вона буде нижче багаторічної і після восьмої декади вони зрівняються. Для кліматичного сценарію RCP 8.5 тільки в першу декаду вегетації кількість опадів буде дещо менша від багаторічної, але з другої по сьому включно декади вона буде переважно більше (на 2–4 мм), після восьмої декади кількість опадів зменшиться на 7–9 мм порівняно з багаторічними значеннями.

Приріст потенційної урожайності визначається рівнем інтенсивності сонячної радіації. Порівняємо прихід сумарної сонячної радіації за багаторічний період та сценарний період згідно сценаріям RCP 4.5 та RCP 8.5. Як видно з даних рис. 2, в сценарний період за обома кліматичними сценаріями очікується зменшення приходу сумарної сонячної радіації протягом всього періоду вегетації сочевиці, за винятком двох останніх декад вегетації.

Це зменшення становить в середньому від 12 до 22%. Скорочення приходу сумарної сонячної радіації і відповідно фотосинтетично активної радіації викликає зниження приростів потенційної урожайності в сценарний період порівняно з середніми багаторічними умовами. Так, в період максимального росту приріст ПУ при середніх багаторічних умовах

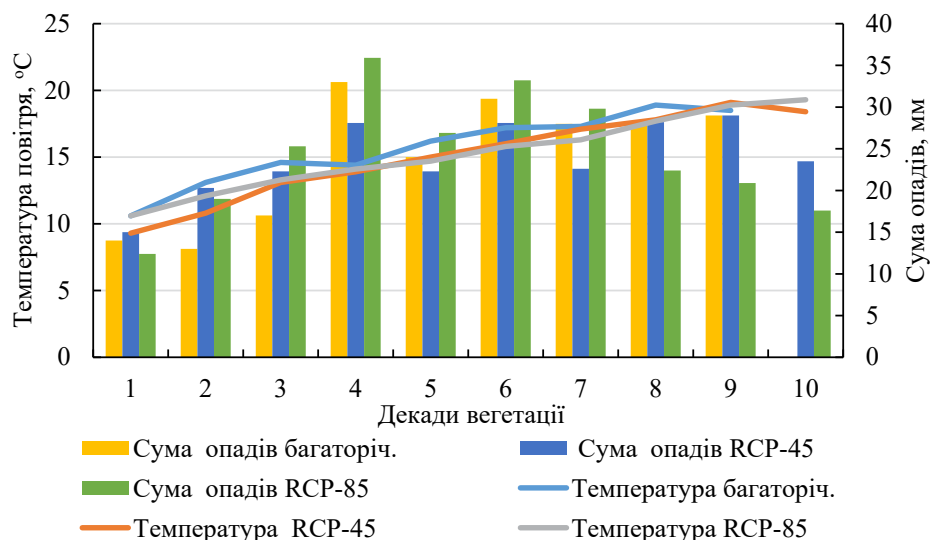


Рис. 1. Порівняння динаміки середніх багаторічних значень температури повітря та кількості опадів з очікуваними за сценаріями зміни клімату за період вегетації сочевиці

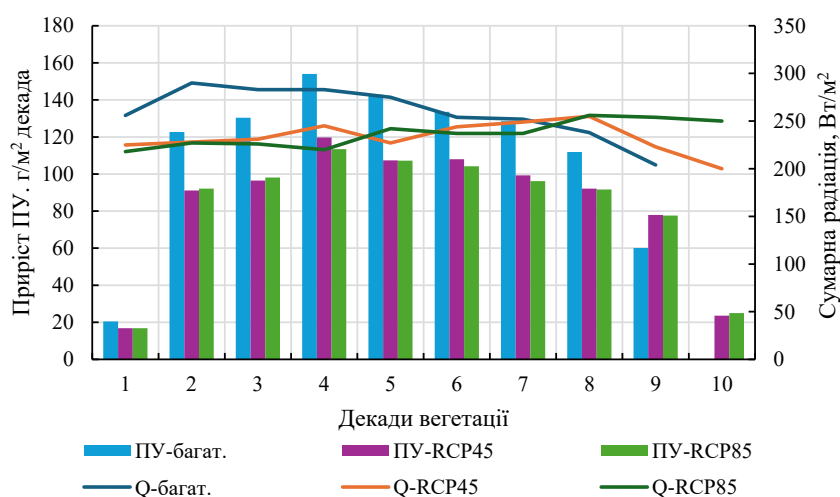


Рис. 2. Динаміка декадних приростів потенційної урожайності сочевиці та сумарної радіації за середніми багаторічними даними та кліматичними сценаріями RCP 4.5 та RCP 8.5

складав 134–154 г м⁻², для сценарного періоду він складатиме 104–120 г м⁻².

Вплив волого-температурного режиму визначає рівень приростів метеорологічно-можливого урожаю. В табл. 1 приведені значення функції впливу температури повітря та вологозабезпечення на формування урожаю сочевиці для середніх багаторічних умов та сценарних кліматичних умов.

Знижений з першої по сьому декаду вегетації сочевиці температурний режим відповідно і дещо зменшує вплив на формування метеорологічно можливого урожаю.

В порівнянні з середніми багаторічними умовами значення ψ_{ϕ} для очікуваних сценарних кліматич-

них умов зменшуються на 0,5–0,18 відн.од. Виняток складають лише дві останні декади вегетації коли їх значення були досить близькі.

Режим зволоження вегетаційного періоду сочевиці за кліматичними сценаріями можна охарактеризувати як достатньо високий, рівень відношення E/E_0 значно на 0,07–0,18 відн. од. перевищує декадні середні багаторічні значення.

Такі зміни волого-температурного режиму в період вегетації сочевиці за сценарний період позначились на рівні ММУ (рис. 3). Це спостерігається від другої до восьмої декади вегетації. Різниця в приростах ММУ складає від 20 до 45 г м⁻² за декаду. Максимальних значень вона сягає в четверту декаду.

Таблиця 1

**Порівняння функцій впливу температури повітря та вологозабезпечення
за середніми багаторічними даними та кліматичними сценаріями RCP 4.5 та RCP 8.5
на формування урожаю сочевиці**

Декади вегетації	Функції впливу, відн. од.					
	температури повітря			вологозабезпечення		
	у	у	у	Е/Е ₀ багаторіч.	Е/Е ₀ RCP-4.5	Е/Е ₀ RCP-8.5
1	0.81	0.67	0.81	0.84	0.85	0.84
2	0.92	0.74	0.84	0.83	0.88	0.86
3	0.93	0.85	0.85	0.77	0.89	0.87
4	0.84	0.83	0.83	0.77	0.9	0.92
5	0.93	0.86	0.83	0.78	0.82	0.96
6	1	0.91	0.90	0.78	0.93	0.99
7	1	1	0.95	0.81	0.94	0.99
8	0.95	1	1	0.82	0.93	0.98
9	0.89	0.89	0.9	0.83	0.91	0.93
10		0.89	0.81		0.92	0.90

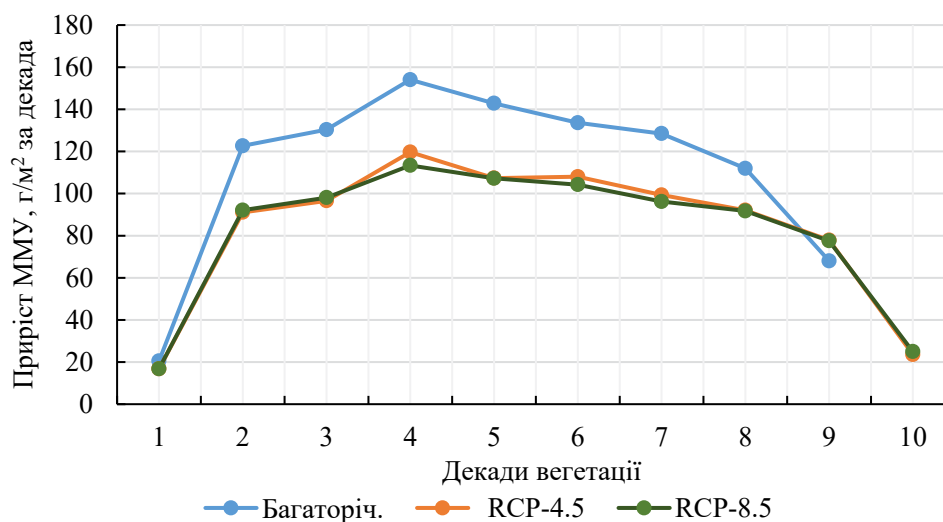


Рис. 3. Динаміка декадних приростів метеорологічно-можливої урожайності сочевиці за середніми багаторічними даними та кліматичними сценаріями RCP 4.5 та RCP 8.5

Підсумкові значення характеристик вегетаційного періоду та урожайності сумарної сухої біомаси сочевиці приведені в табл. 2.

За кліматичними сценаріями відбудеться зменшення сумарного приходу ФАР за вегетаційний період сочевиці: для сценарію RCP 4.5 на 11,47 кДж см⁻² за період, а для сценарію RCP 8.5 – на 12,30 кДж см⁻² за період. Це на фоні пониження середньої за період температури повітря (на 0,7–0,8 °C) призведе до збільшення періоду вегетації культури на 6 діб. Кількість опадів за кліматичними сценаріями зростає на 22–26 мм.

Такі агрокліматичні умови відповідним чином проявляться на рівнях урожайності: відбудеться зменшення потенційної урожайності всієї сухої маси

сочевиці за кліматичними сценаріями порівняно з потенційною урожайністю при середніх багаторічних умовах (на 180–190 г м⁻² за період). Відповідно знизиться рівень метеорологічно-можливої урожайності (на 190–200 г м⁻² за період), а також знизиться рівень дійсно-можливої урожайності (на 59–167 г м⁻² за період) та урожайності у виробництві (на 102–108 г м⁻² за період).

Урожай бобів сочевиці при середніх багаторічних умовах складає (при 14-% вологості бобів) 13,3 ц га⁻¹. При реалізації кліматичних сценаріїв урожай бобів знизиться на 2,6–2,7 ц га⁻¹.

Підвищення рівня урожайності сочевиці пов'язано з використанням дослідження дозволяє різноманітних засобів агротехніки, в тому числі, і з вирощу-

Таблиця 2

**Порівняння характеристик вегетаційного періоду і урожайності сочевиці
за середніми багаторічними даними та кліматичними сценаріями RCP 4.5 і RCP 8.5**

Період, роки	Сума ФАР, кДж/см ²	Трива- лість періоду, доба	Середня температура повітря, °С	Сума опадів, мм	Урожай всієї сухої біомаси, г м ⁻²				Урожай бобів, ц га ⁻¹
					ПУ	ММУ	ДМУ	УВ	
Багатор. 1991- 2020	66,15	81	11,1	217	1012	1000	891	573	13,3
RCP-4.5 2021- 2050	54,68	87	10,3	239	832	810	732	471	10,7
Різниця	-11,47	+6	-0,8	+22	-180	-190	-159	-102	-2,6
RCP-8.5 2021- 2050	53,85	87	10,4	243	822	800	724	465	10,6
Різниця	-12,30	+6	-0,7	+26	-190	-200	-167	-108	-2,7

ванням більш продуктивних сортів сочевиці. Модель формування урожаю як інструмент дослідження дозволяє оцінити використання такої практики.

В табл. 3 наводяться розрахунки урожаю у вирощуванні (УВ), розраховані за різних значень коефіцієнта корисної дії (ККД) збільшених на 10, 20, 30%. За даними Ничипоровича ККД максимальне при максимальній площі листа 27–30 тис. м² га⁻¹ [8].

Таблиця 3

**Потенційно можливий урожай (УВ) сочевиці
в Тернопільській області**

% збільшення ККД	Урожай, ц га ⁻¹
0% (база)	13,3
10%	14,6
20%	15,9
30%	17,3

В залежності від величини урожаю сухої маси рослин формується і різний врожай зерна сочевиці. Так при ККД (база) він становить 13,3 ц га⁻¹, 14,6 ц га⁻¹ при збільшенні ККД на 10%, 15,9 ц га⁻¹ при збільшенні ККД на 20%, 17,3 ц га⁻¹ при збільшенні ККД на 30%.

Головні висновки. За результатами дослідження можна зробити такі висновки:

1. Вперше виконана адаптація базової моделі оцінки агрокліматичних ресурсів формування

продуктивності сільськогосподарських культур Польового до біологічних особливостей культури сочевиці. Її використання дозволяє вивчати вплив різних агротехнічних прийомів вирощування культури та досліджувати наслідки кліматичних змін.

2. Виконано порівняння сучасних (1991–2020 рр.) агрокліматичних умов вирощування сочевиці з майбутніми (2021–2050 рр.) за кліматичними сценаріями клімату RCP 4.5 та RCP 8.5. Встановлено, що зменшення приходу сумарної ФАР (на 17–19%) та зниження температури повітря (на 0,7–0,8 °С) за вегетацію культури призведе до збільшення тривалості вегетаційного періоду.

3. Порівняння агроєкологічних рівнів урожайності в сучасних умовах та в умовах майбутніх змін клімату показало, що при реалізації сценарних кліматичних умов відбудеться зменшення рівнів урожайності (на 17,8%), а урожай бобів понизиться на 2,6–2,7 ц га⁻¹.

4. Використання більш продуктивних сортів сочевиці з більшим коефіцієнтом корисної дії дозволяє. Підвищити урожай сочевиці в умовах зміни клімату до 15–17 ц га⁻¹.

Перспективи використання результатів досліджень. Отримані дослідження можуть бути використані при розробці агротехніки вирощування сочевиці при зміні кліматичних умов в Західній Україні з метою заміни сучасних сортів більш продуктивними, які мають більш високий рівень ККД посівів.

Література

1. Зінченко О.І., Салатенко В.Н., Білоножко М.А. Рослинництво: Підручник. Київ: Аграрна освіта, 2001. 591 с.
2. Черенков А.В., Клиша А.І., Гирка А. Д., Кулініч О.О., Сидоренко Ю.Я., Бочевар О.В., Ільєнко О.В., Кулик А.О. Сучасна технологія вирощування сочевиці. Науково-виробниче видання. Дніпропетровськ. 2013. 46 с.
3. Qi Jing, Kenneth J. Boote et al., 2024. Simulating the development and growth of lentil using the CSM-CROPGRO model. *Agronomy Journal*, 14 August 2024. <https://doi.org/10.1002/agj2.21654>
4. Tefera A.T. et al., 2022. Identification of agro-physiological traits of lentil that reduce risks of drought. *Front Plant Sci.* 2022 Oct 24;13:1019491. doi: 10.3389/fpls.2022.1019491

5. Ghanem M. E. et al., 2015. Lentil Variation in Phenology and Yield Evaluated with a Model. *Agronomy Journal*, 107(6): 1–32. DOI:10.2134/agronj15.0061
6. Польовий А.М. Моделювання гідрометеорологічного режиму та продуктивності агроєкосистем. Київ: КНТ, 2007. 344 с.
7. Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах змін клімату / за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. Одеса : ТЕС, 2018. 546 с.
8. Польовий А.М. Сільськогосподарська метеорологія. Підручник. Одеса. «ТЕС», 2012. 612 с.

ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ

УДК 582.677

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.2-59.37>

СЕЗОННІ БІОРИТМИ ЛИСТОПАДНИХ ВИДІВ І ГІБРИДІВ РОДУ *MAGNOLIA* L. У КУЛЬТУРНИХ ЛАНДШАФТАХ МІСТА ЖИТОМИРА

Андрєєва О.Ю.¹, Буднік І.П.², Іванюк Т.М.¹, Швець М.В.¹, Курбет Т.В.³

¹Поліський національний університет
вул. Старий бульвар, 7, 10002, м. Житомир

²Малинський фаховий коледж
вул. М. Маклая, 1, 11643, с. Гамарня

³Державний університет «Житомирська політехніка»
вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир

andreeva-lena15@ukr.net, i.tanya1503@gmail.com, marina_lis@ukr.net

У роботі акцентовано, що ключовими факторами, які впливають на формування насіння у рослин магнолій є температурні умови протягом року, динаміка та кількість опадів, а також вологість повітря і ґрунту. Встановлено перспективність інтродукції магнолій шляхом візуальних спостережень за їхнім загальним і сезонним розвитком. Проведено морфометрію і визначено посівні якості насіння магнолій. Насіння магнолії Суланжа має більшу вагу 1000 штук насінин та вищу вологість, порівняно з магнолією Кобус, що пояснюється біологічними та морфологічними особливостями видів. Насіння магнолії Кобус має вищу (на 19%) посівну придатність, що може свідчити про його кращу пристосованість до природних умов Житомирського Полісся. Для прогнозування майбутнього врожаю та оцінки фактичної продуктивності репродуктивної системи рослин було проведено оцінку інтенсивності утворення репродуктивних органів магнолії Суланжа (*Magnolia x soulangiana*). Кожному з шести балів (цвітіння та плодоношення) відповідала певна кількість репродуктивних органів. За період наших досліджень рясність утворення генеративних органів рослин відповідала 5 балам і становила відповідно 81–100% покриття крони дерева. Здійснений порівняльний аналіз морфологічних та біологічних характеристик магнолій Кобус і Суланжа в умовах культурних ландшафтів м. Житомира. Встановлено, що цвітіння магнолії Суланжа в умовах Житомирського Полісся збігається з початком весни і часто припадає на 2 декаду або ж початок 3 декади квітня і триває до появи листків, закінчується до повного розпускання листків. Плодоношення магнолії Кобус і Суланжа припадає на початок жовтня і продовжується як правило до 2 декади жовтня, а інколи й до середини листопада. Магнолія Кобус раніше вступає в пору плодоношення в кінці вересня, тоді як магнолія Суланжа починає плодоносити з другої декади жовтня. Раніше зацвітає магнолія Кобус (18.04 ± 8 днів) і трохи пізніше Суланжа (28.04 ± 8). Високі декоративні якості досліджуваних магнолій, а також їх успішна адаптація у культурних ландшафтах м. Житомира підтверджують ефективність та доцільність їхнього культивування як цінних інтродукованих високодекоративних деревних видів. *Ключові слова:* декоративність, інтродукція, *Magnoliaceae*, перспективність, погодні умови, плодоношення.

Seasonal biorhythms of deciduous species and hybrids of the genus *Magnolia* L. in cultural landscapes of Zhytomyr. Andreieva O., Budnik I., Ivanyuk T., Shvets M., Kurbet T.

The work emphasizes that the main factors influencing the formation of magnolia seeds can be both temperature factors throughout the year and dynamics, the amount of precipitation, air, and soil humidity. The prospects for the introduction of magnolias were determined based on visual observations of the general and seasonal development of plants. Morphometry was carried out and the sowing qualities of magnolia seeds were determined. The seeds of the *Magnolia x soulangiana* have a higher weight of 1000 seeds and higher humidity compared to the *Magnolia Kobus* DC, which is explained by the biological and morphological characteristics of the species. The seeds of the *Magnolia Kobus* DC have a higher (by 19%) sowing suitability, which may indicate its better adaptability to the natural conditions of Zhytomyr Polissia. To predict the future harvest and assess the actual productivity of the reproductive system of plants, an assessment of the intensity of the formation of reproductive organs of the Soulangian magnolia (*Magnolia x soulangiana*) was carried out. Each of the six points (flowering and fruiting) corresponded to a certain number of reproductive organs. During our research, the abundance of the formation of generative organs of plants corresponded to 5 points and was, respectively, 81–100% of the tree crown coverage. A comparative analysis of the morphological and biological characteristics of *Magnolia Kobus* and *Magnolia x soulangiana* in the conditions of cultural landscapes of the city of Zhytomyr was carried out. It was established that the flowering of *Magnolia x soulangiana* in the conditions of Zhytomyr Polissia coincides with the beginning of spring and often falls on the 2nd decade or the beginning of the 3rd decade of April and lasts until the leaves appear, ending before the leaves fully bloom. Fruiting of *Magnolia Kobus* DC and *Magnolia x soulangiana* occurs at the beginning of October and continues, as a rule, until the 2nd decade of October, and sometimes until mid-November. *Magnolia Kobus* enters the fruiting season earlier, at the end of September, while *Magnolia x soulangiana* begins to bear fruit from the second decade of October. *Magnolia Kobus* blooms earlier

(18.04 ± 8 days) and *Magnolia x souloungiana* a little later (28.04 ± 8). The high decorative qualities of the studied magnolias, as well as their successful adaptation to the cultural landscapes of the city of Zhytomyr, confirm the effectiveness and feasibility of their cultivation as valuable introduced highly decorative tree species. **Key words:** decorativeness, introduction, Magnoliaceae, prospects, weather conditions, fruiting.

Постановка проблеми. В умовах посиленого антропогенного впливу на природні екосистеми шляхом збагачення місцевої флори інтродукованими видами, які більш стійкі до негативного впливу оточуючого середовища та мають високі декоративні властивості, набуває все більшої актуальності. Це дозволить формувати в містах культурні ландшафти високої декоративної якості.

Актуальність дослідження. Недостатнє вивчення еколого-біологічних властивостей магнолій в умовах інтродукції та обмежена кількість садивного матеріалу є основними причинами їхнього незначного поширення в парках, садах і скверах.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження в цій галузі є важливим завданням для ботаніків, дендрологів, лісівників та працівників садово-паркових господарств, оскільки існує велика потреба в садивному матеріалі магнолій та потенційні можливості її вирощування.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Серед декоративних дерев та чагарників види родини Магнолієві (*Magnoliaceae* Juss.) займають провідне місце. Рід Магнолія (*Magnolia* L.) є найбільш чисельним у родині, налічує близько 70 видів листопадних та вічнозелених дерев і кущів. Магнолієві належать до одних з найдавніших квіткових рослин, їхні викопні рештки датуються середнім крейдовим періодом. Сьогодні вони поширені переважно в Азії (особливо в Східних Гімалаях та Південно-Західному Китаї), Північній та Центральній Америці, а також у Вест-Індії. Лише деякі види трапляються в південній півкулі, зокрема на Малайському архіпелазі та в Бразилії [11]. У минулому магнолієві займали набагато більші території. У верхньокрейдovому та третинному періодах вони були широко розповсюджені в північній півкулі, про що свідчать викопні знахідки в Центральній Європі, Західній Канаді та Гренландії. Магнолієві представлені деревами або, рідше, кущами.

Листопадні магнолії давно відомі в Україні, їх почали вирощувати в західних регіонах і на Південному березі Криму. На той час видове різноманіття було невеликим і складало 7–9 видів.

У колекціях садів і парків України перші представники родини магнолієвих з'явилися у XVIII ст. – у Меженецькому парку Старосамборського району Львівської області була вперше висаджена магнолія зірчаста [1]. Родина *Magnoliaceae*, одна з найдавніших серед квіткових рослин, і досі залишається об'єктом активного дослідження. Магнолії цінуються за їхню вражаючу декоративність: красиві квіти, листя та плоди, що робить їх чудовим вибором для озеленення садів і парків [9].

Деякі види магнолій, які ростуть у природних умовах, через посилення антропогенного впливу і звуження ареалу знаходяться в критичному стані [11].

Тривалі дослідження українських парків, дендраріїв та ботанічних садів, проведені О. Л. Липою, підтвердили перспективність вирощування листопадних магнолій в Україні. У Києві перші кроки в цьому напрямку були зроблені ще в 1905 році. Результати багаторічного досвіду вирощування цих давніх екзотичних рослин описані в роботах О. В. Фоміна, К. І. Богомаз, Т. П. Коршук, Р. М. Палагечі, Н. Ф. Минченко та інших науковців [5; 9]. Сьогодні ботанічний сад імені академіка О. В. Фоміна в Києві володіє найбільшою колекцією магнолій в Україні, яка налічує 65 видів, гібридів і декоративних форм. Інформація про склад і кількість представників родини Магнолієвих, а також результати їх адаптації протягом історії у Кременецькому ботанічному саду, можна знайти в каталогах В. Бессера 1810–1830 років, публікаціях О. А. Мельничук, О. В. Байдюк, А. В. Гордійчук, В. М. Мануїлова та в каталогах рослин саду [3; 4].

Досвід інтродукції магнолій у Ботанічному саду Львівського університету загальнила К. П. Сліпушенко [7]. Вона зосередилася на вивченні фенологічних фаз, особливостей цвітіння та плодоношення, а також методів розмноження та вирощування дев'яти видів і форм магнолій. Результати її роботи підтвердили, що ці рослини добре пристосовуються до відкритого ґрунту, про що свідчить їхнє успішне цвітіння та плодоношення. Насіння місцевої репродукції є цінним фондом, який дає змогу не тільки широко впроваджувати магнолії в зелене будівництво, а й одержати стійкіше покоління для вирощування в північних районах України. Семенюк І. В. у своїх дослідженнях надав опис родини Магнолієвих, які культивуються в Ботанічному саду Львівського національного університету [10]. У 2001 році колекція ботанічного саду включала 12 таксонів *Magnoliaceae* Juss., а саме: 6 видів, 3 гібриди та 3 форми. Дана колекція створена К. П. Сліпушенко [10].

Переважна більшість магнолій віддає перевагу помірно вологим умовам. Лише невелика кількість видів, переважно з Америки, адаптована до більш вологих ґрунтів, як, наприклад, магнолія віргінська, яку також називають болотною. Ще менше видів магнолій здатні витримувати сухі ґрунти, і це, як правило, гібриди, такі як магнолія Суланжа [8].

Магнолії погано ростуть на заболочених, карбонатних і засолених ґрунтах. Високий вміст вапна в ґрунті є основною причиною, чому їх важко вирощувати на Південному березі Криму. Більшість магнолій потребують родючих ґрунтів.

Оптимальними умовами для них є багаті, свіжі ґрунти з нейтральною або слабнокислою реакцією, без надлишку карбонатів, солей і застою води [6]. Клімат, зокрема зимові та літні температури, кількість опадів, вологість повітря та ризик заморозків, є ключовими факторами, що визначають поширення магнолій [2].

Успішність вирощування рослин в нових місцях залежить від того, наскільки схожі кліматичні умови їхньої батьківщини та нового місця. В Україні магнолії найкраще приживаються в теплих і вологих регіонах, таких як Центральна та Західна Україна. Тут тривалий період росту рослин і відносно мало морозних днів. Важливу роль відіграють сприятливі умови мікроклімату, які створюються великими лісами та населеними пунктами. Н. Ф. Мінченко та Т. П. Коршук були одними з перших, хто спробував порівняти кліматичні умови в Україні з регіонами, де магнолії ростуть у природі [5–7].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Для того щоб оцінити, наскільки умови в місцях, де магнолії ростуть у природі, схожі з умовами, де їх планують вирощувати, порівнюють такі показники, як кількість днів на рік з температурою вище +5°C, суму середніх місячних температур вище нуля та найнижчі зимові температури. Магнолії кобус і верболиста відомі в Європі як одні з найбільш стійких до морозів серед азійських видів. Вони добре переносять холод і забруднене середовище, як ґрунт, так і повітря [2]. Однак їхня деревина досить крихка, що робить їх вразливими до пошкоджень від снігопадів та ожеледиці. Проте ці дерева мають здатність швидко відновлювати пошкоджену крону.

Новизна. Магнолія Суланжа є найпоширенішою магнолією в Україні. Її вирощують майже в кожному місті та багатьох селах західної та центральної частин країни. Вона була і залишається популярною в усіх ботанічних садах, парках та біля відомих палаців [8]. Магнолія Суланжа, гібридний вид, виявляє більшу стійкість до морозів порівняно з батьківськими видами. Кількість її сортів постійно збільшується, наразі зареєстровано 50 культиварів. Основні відмінності між ними полягають у кольорі та формі квітів, а також у термінах цвітіння. Менш значимими є відмінності в загальному вигляді крони, характері розгалуження та розмірах листків [4; 6].

Метою досліджень було вивчення еколого-біологічних особливостей листопадних видів магнолій, а саме *Magnolia Kobus DC* і *Magnolia x soulongiana* в культурних ландшафтах м. Житомира з детальним описом їхнього росту, розвитку, цвітіння, плодоношення, посівної придатності та декоративності.

Методологічне або загальнонаукове значення. Здатність магнолій приживатися в нових умовах оцінювали за допомогою інтегральної числової оцінки. Цей метод передбачав спостереження за їхнім загальним станом і розвитком протягом різних сезонів,

щоб визначити, наскільки добре вони адаптуються [5–7]. Таксономічний склад встановлювали методом маршрутних обстежень дендрологічних об'єктів та зелених насаджень м. Житомира. Зимостійкість магнолій оцінювали на основі пошкоджуваності пагонів (у відсотках). Посівну придатність насіння визначали як результат множення показників ґрунтової схожості та чистоти, виражених у відсотковому співвідношенні. У досліді із насінням магнолій, значення посівної придатності було еквівалентним значенню ґрунтової схожості. Систематичні фенологічні дослідження та фрагментарні спостереження за рослинами магнолій ми проводили протягом 2021–2023 рр. у парках та скверах м. Житомира і на території Ботанічного саду Поліського національного університету імені Героїв-десантників (м. Житомир) за відповідною методикою [2; 5; 8].

Об'єкт дослідження – листопадні види магнолій кобус (*Magnolia Kobus DC*) та магнолія суланжа (*Magnolia x soulongiana*) інтродуковані в дендрофлору м. Житомира.

Виклад основного матеріалу. *Об'єкт 1:* Магнолії кобус (*Magnolia Kobus DC*). Враховуючи, що магнолія Кобус є лідером за поширенням у культурі по всьому світу завдяки своїй високій стійкості до інтродукції, для проведення досліджень було відібрано дерева цього виду, які ростуть у ботанічному саду Поліського національного університету в місті Житомирі (рис. 1).

У цьому Ботсаду магнолія успішно росте і не пошкоджується морозами з 1963 року, де була посаджена ще 5 річними саджанцями, отриманими з Львівського ботанічного саду. Магнолія Кобус – найзимостійкіша та доволі посухостійка з усіх інтродукованих магнолій.

Об'єкт 2: Магнолія Суланжа (*Magnolia x soulongiana*) – дерево, що росте на території Лютеранської церкви (Кірхи) в місті Житомир (рис. 2). Великий листопадний кущ, або невелике деревце 4–6 м заввишки, до 8 м завширшки, з чашо- або келихоподібними великими до (25 см у діаметрі), рожевими, пурпуровими квітками. Листки біля 15 см довжиною. Один з найбільш культивованих видів магнолій у світі.

Надзвичайно стійка до впливу несприятливих погодних-кліматичних факторів і досить толерантна до різних типів ґрунтів. Морозостійкість сягає до -34 °C.

Порівняльний аналіз морфологічних та біологічних характеристик досліджуваних видів магнолій наведений у табл. 1.

Виклад основного матеріалу. Успішність інтродукції будь-якого виду визначається відповідністю екологічних особливостей інтродуктора до нових умов місцезростання. Відображенням пристосування до нових умов місцезростання є зовнішній вигляд рослини, терміни початку і кінця вегетації, успішність плодоношення.

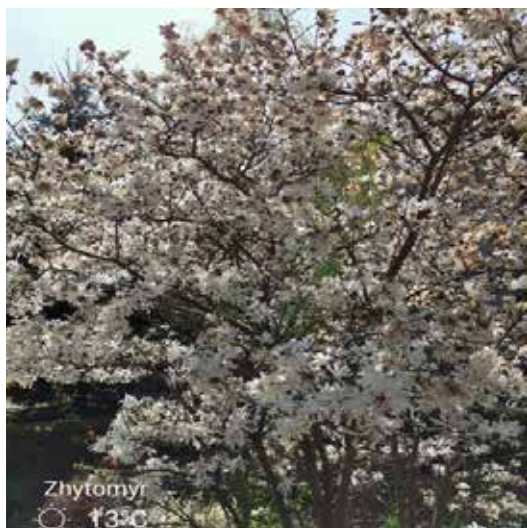


Рис. 1. *Magnolia Kobus* DC у ботанічному саду Поліського університету



Рис. 2. Магнолія Суланжа (*Magnolia x soulangiana*) на території Лютеранської церкви у м. Житомир

Таблиця 1

Порівняльний аналіз морфологічних та біологічних характеристик досліджуваних видів магнолій в умовах культурних ландшафтів м. Житомира

<i>Magnolia kobus</i>	<i>Magnolia × soulangiana</i>
Дерево заввишки до 20 м з широкою конічною кроною та темно-сірою корою.	Дерево висотою 10-12 м або великий кущ з округлою кроною та гладкою світло-сірою корою.
Обернено-яйцеподібні листки з загостреною верхівкою, розміром 10-12 см у довжину та 5-6 см у ширину, мають тонкі черешки до 2,5 см.	Обернено-яйцеподібні листки, до 15 см завдовжки та 5-7 см завширшки, ворсисті знизу, з черешками до 2 см.
Молочно-білі, широко розкриті квітки, діаметром до 12 см, зі слабким ароматом, цвітуть з середини квітня 10-15 днів до розпускання листків.	Квітки, до 15 см в діаметрі, рожевих відтінків, цвітуть в кінці квітня – на початку травня 20 днів одночасно із розпусканням листків.
Скручений циліндричний плід, 4-9 см завдовжки, малиново-червоного забарвлення, дозріває в середині вересня.	Плід має рожево-пурпурове забарвлення і циліндричну форму. Дозрівання плодів відбувається в кінці вересня – на початку жовтня.
Рослина відрізняється стійкістю до холоду та забруднення ґрунту і повітря.	Рослина здатна витримувати помірні морози та періоди посухи.

Генеративний розвиток рослин, тобто їхнє розмноження, тісно пов'язаний з їхньою стійкістю до негативних впливів навколишнього середовища. В умовах Житомирського Полісся України це насамперед зимостійкість. На якість насіння впливають різноманітні фактори, такі як річні температурні зміни, кількість і розподіл опадів, а також вологість повітря та ґрунту.

Сума активних температур за період із середньодобовими температурами понад 10 °С становить в середньому по регіону 2500 °С, гідротермічний-кофіцієнт дорівнює 1,5. Тривалість вегетаційного періоду з температурою понад 10 °С становить 156 днів (табл. 2). Протягом цього періоду випадає 370–600 мм опадів. Безморозний період триває 160–165 днів. Середні дати перших осінніх приморозків спостерігаються напочатку жовтня, а найбільш ранні – в другій декаді вересня, найпізніші – в третій декаді жовтня (в листопаді 2023 року). Весною приморозки закінчуються наприкінці квітня, а в окремі роки вони можуть бути в третій декаді травня і навіть в перших числах червня (весна 2023 року).

Ефективність насіннєвого розмноження можна оцінити за такими ознаками, як інтенсивність цвітіння, плодоношення та якість насіннєвого матеріалу, що відображають розвиток жіночих і чоловічих генеративних органів. У ході дослідження морфометричних показників насіння магнолій Кобус і Суланжа було проведено вимірювання насіння з точністю до 0,1 мм. Результати обчислень представлені в табл. 3. Насіння магнолії Суланжа виявилось більшим за довжиною, що може бути пов'язано з біологічними та морфологічними особливостями видів, а також впливом екологічних умов їхнього росту.

Насіння магнолії Суланжа має більшу вагу 1000 штук насінин та вищу вологість, порівняно з магнолією Кобус, що пояснюється біологічними

та морфологічними особливостями видів. Вологість насіння важливо контролювати при підготовці до посіву. Важливо, щоб вологість насіння не знижувалася під час зберігання, оскільки висихання призводить до втрати схожості. Чистота насіння магнолій становить 100% завдяки повному очищенню від домішок. Насіння магнолії Кобус має вищу (на 19%) посівну придатність, що може свідчити про його кращу пристосованість до природних умов Житомирського Полісся.

Для прогнозування майбутнього врожаю та оцінки фактичної продуктивності репродуктивної системи рослин було проведено оцінку інтенсивності утворення репродуктивних органів магнолії Суланжа (*Magnolia x soulangeana*). Кожному з шести балів (цвітіння та плодоношення) відповідала певна кількість репродуктивних органів. За період наших досліджень рясність утворення генеративних органів рослин відповідала 5 балам і становила відповідно 81–100% покриття крони дерева.

Встановлено, що період цвітіння магнолії Суланжа в умовах Житомирщини співпадає з початком весняного сезону, найчастіше припадаючи на другу декаду або початок третьої декади квітня, і триває до моменту, коли з'являються листки, завершуючись до повного їхнього розкриття. Тривалість цієї фази в середньому становить від 15 до 20 діб.

Плодоношення всіх досліджених видів припадає на початок жовтня і продовжується як правило до 2 декади жовтня (в цей час плодирозкриваються і вивільняють насіння (рис. 3 А), а інколи й до середини листопада (як правило, в цей період збирають вже опале насіння (рис. 3 Б).

Дослідження за період фенологічних спостережень вказали на те, що рівень цвітіння та плодоношення, був високим і відповідає 4–5 балам за даною шкалою. На прикладі фенологічних спостережень за даними видами рослин, було визначено дати серед-

Таблиця 2

Опади і температура повітря за час експериментальних досліджень
(2021–2023 рр., метеостанція Житомир)

№ п/п	Місяці												За рік
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1.	Середні багаторічні температури повітря, °С												6,9
	-5,5	-4,8	-0,4	6,7	14,3	16,9	18,6	17,6	13,2	7,6	1,4	-3,3	
2.	Середні багаторічні суми опадів, мм												568
	26	27	28	42	56	71	82	65	54	41	42	34	

Таблиця 3

Морфометрія та посівні якості насіння магнолій

Вид магнолії	Середня довжина насіння, мм	Вага 1000 шт. насінин, г	Вологість насіння, %	Посівна насіннєва придатність, %
<i>Magnolia kobus</i> DC	6,4±0,6	198±2,4	33	67
<i>Magnolia x soulangeana</i>	8,7±0,3	213±1,9	45	48



Рис. 3. Дозрівання плодів *Magnolia x soulangeana* – 2 декада жовтня (зліва) та 2 декада листопада (справа)

Таблиця 4

Середні показники біоритмів листопадних магнолій в умовах м. Житомир (2021–2023 рр.)

Вид магнолії	Фази розвитку рослин						Тривалість вегетації
	Початок розвитку	Бутонізація	Цвітіння	Кінець росту	Плодоношення	Листопад	
<i>Magnolia kobus</i> DC	15.04 ± 5	22.04 ± 5	18.04 ± 8	18.07 ± 3	26.09 ± 5	27.10 ± 12	194
<i>Magnolia x soulangeana</i>	18.04 ± 5	24.04 ± 5	28.04 ± 8	18.07 ± 3	17.10 ± 5	30.10 ± 12	192

ніх показників біоритмів листопадних магнолій в умовах м. Житомир (табл. 4).

У кліматичних умовах Житомирського Полісся період вегетації триває з весни до пізньої осені, а початок періоду вегетації визначається моментом розпускання бруньок, тоді як кінець вегетації – періодом опаданням листків. Якщо перші дві фенофази в магнолій Кобус та Суланжа майже проходять ідентично (в середньому припадають на початок 2-ї декади квітня), то фаза цвітіння проходить з різницею майже в 10 днів. Раніше зацвітає магнолія Кобус (18.04 ± 8 днів) і трохи пізніше Суланжа (28.04 ± 8). У липні дорослі рослини припиняють ріст і на своїх кінцях пагонів закладають квіткові бруньки. До осені вони добре розвиваються та вкриваються густоопушеними лусочками. Обернено пропорційна ситуація із плодоношенням та фенофазою листопаду. Магнолія Кобус раніше вступає в пору плодоношення (як правило, це кінець вересня), тоді як магнолія Суланжа починає плодоносити з другої декади жовтня (період коли вже шишки розтріскуються і можна збирати плоди).

У досліджуваних видів рослин пошкоджень шкідниками і збудниками хвороб не виявлено.

Головні висновки. Основними факторами, які впливають на формування насіння магнолій у Житомирському Поліссі є температурні чинники впродовж року, динаміка, сума опадів, вологість

повітря і ґрунту. Насіння магнолії Кобус має вищу (на 19%) посівну придатність, що може свідчити про його кращу пристосованість до природних умов Житомирського Полісся. Цвітіння магнолії Суланжа в умовах Житомирського Полісся збігається з початком весни і часто припадає на 2 декаду або ж початок 3 декади квітня і триває до появи листків, закінчується до повного розпускання листків. Плодоношення досліджуваних видів припадає на початок жовтня і продовжується як правило до 2 декади жовтня, а інколи й до середини листопада. Магнолія Кобус раніше вступає в пору плодоношення (як правило, це кінець вересня), тоді як магнолія Суланжа починає плодоносити з другої декади жовтня. Раніше зацвітає магнолія Кобус (18.04 ± 8 днів) і трохи пізніше Суланжа (28.04 ± 8). У липні дорослі рослини припиняють ріст і на своїх кінцях пагонів закладають квіткові бруньки.

Перспективи використання результатів дослідження. Високі декоративні якості магнолій Кобус і Суланжа, а також їх успішна адаптація у культурних ландшафтах м. Житомира підтверджують ефективність та доцільність їхнього культивування як цінних інтродукованих високодекоративних деревних видів. Найбільш ефектні магнолії під час квітучості, що морфологічно відрізняє їх серед інших видів і спонукає до ширшого використання в ландшафтній архітектурі.

Література

1. Бреус Н. Ю. Декоративність гарноквітухих кущів ранньовесняного періоду в колекційних фондах ботанічних садів Києва. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*. 2014. Вип. 24.10. С. 40–45.
2. Бреус Н. Ю. Зимостійкість гарноквітухих кущів в озелененні м. Києва. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*. 2014. Вип. 24.11. С. 38–41.
3. Гордійчук А. В. Представники родини *Magnoliaceae* Juss. в колекції Кременецького ботанічного саду. *Теоретичні та прикладні аспекти видового різноманіття* : матеріали наук. конф. молодих дослідників. Умань, 2013. С. 29–30.
3. Гордійчук А., Кубінська Л., Євсікова С. Інтродукція *Magnolia kobus* DC. та *Magnolia x loebneri* Kache в умовах Кременецького ботанічного саду. *Ботаніка*. Вип. 7. 2017. С. 4–7.
4. Коршук Т. П. Створення колекції листопадних магнолій. *Інтродукція та збереження рослинного різноманіття*. 2001. Вип. 1. С. 68–69.
5. Коршук Т. П. Листопадні магнолії. Київ : Дім, сад, город. 2004. 108 с.
6. Коршук Т. П., Палагеча Р. М. Магнолії (*Magnolia*) : монографія. Київ : Київський університет, 2007. 207 с.
7. Мельничук О. А. Інтродукція та перспективи використання *Magnolia kobus* DC в озелененні на Кременеччині. *Інтродукція та захист рослин у ботанічних садах та дендропарках* : матеріали наук. конф. 2006. С. 91–93.
8. Палагеча Р. М., Таран Н. Ю., Бацманова Л. М. Фізіологія зимостійкості та інтродукції деяких видів роду магнолій (*Magnolia* L.) в умовах Київського Полісся. Київ : Фітосоціоцентр, 2009. 167 с.
9. Семенюк І. В., Черняк В. М. Підсумки інтродукції родини Магнолієвих у Ботанічному саду Львівського університету ім. І. Франка за 1956-2001 рр. *Вісник УДЛУ*. Вип. 11.5. 2001. С. 168–172.
10. Grimshaw J., Bayton R. *New Trees: Recent Introductions to Cultivation*. The Board of Trustees of the Royal Botanic Gardens, Kew and The International Dendrology Society, 2009, 976 p.

ВИДОВИЙ СКЛАД ФЛОРИ СУДИННИХ РОСЛИН ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Вишнеvsька А.О., Пацюк М.К., Поліщук А.С.

Житомирський державний університет імені Івана Франка

вул. В. Бердичівська, 40, 10008, м. Житомир

kostivna@ukr.net

У флорі Житомирської області зареєстровані такі види рослин: *Centaurea cyanus*, *Leucanthemum vulgare*, *Taraxacum officinale*, *Bellis perennis*, *Pilosella officinarum*, *Cichorium intybus*, *Tussilago farfara*, *Achillea millefolium*, *Matricaria chamomilla*, *Malus domestica*, *Prunus domestica*, *Alchemilla vulgaris*, *Potentilla argentea*, *Rosa majalis*, *Rosa canina*, *Fragaria vesca*, *Sorbus aucuparia*, *Prunus padus*, *Ficaria verna*, *Anemone nemorosa*, *Ranunculus acris*, *Caltha palustris*, *Ranunculus repens*, *Veronica chamaedrys*, *Plantago major*, *Plantago lanceolata*, *Thymus serpyllum*, *Lamium album*, *Origanum vulgare*, *Trifolium pratense*, *Trifolium repens*, *Robinia pseudoacacia*, *Pulmonaria obscura*, *Cynoglossum officinale*, *Corydalis solida*, *Chelidonium majus*, *Muscari neglectum*, *Convallaria majalis*, *Crocus vernus*, *Crocus chrysanthus*, *Urtica dioica*, *Urtica urens*, *Chenopodium album*, *Chenopodium glaucum*, *Betula pendula*, *Corylus avellana*, *Acer platanoides*, *Acer negundo*, *Vaccinium myrtillus*, *Chrysosplenium alternifolium*, *Gagea lutea*, *Galanthus nivalis*, *Salix discolor*, *Syringa vulgaris*, *Philadelphus coronarius*, *Erodium cicutarium*, *Aegopodium podagraria*, *Equisetum arvense*, *Pteridium aquilinum*, *Pinus sylvestris*, *Asarum europaeum*, *Nuphar lutea*, *Portulaca oleracea*, *Stellaria media*, *Quercus robur*, *Juglans nigra*, *Hypericum perforatum*, *Capsella bursa-pastoris*, *Tilia cordata*, *Solanum nigrum*, *Sagittaria sagittifolia*, *Elymus repens*, *Lemna minor*, *Elodea*.

Виділені екологічні групи видів рослин до факторів середовища: по відношенню до води – мезофіти (66 видів), гідрофіти (5 видів), аерогідратофіти (2 види), гідратофіти (1 вид); по відношенню до вмісту поживних речовин у ґрунті – мезотрофи (63 види), еутрофи (11 видів); за вимогливістю до освітлення – геліофіти (41 вид), факультативні геліофіти (28 видів), сціофіти (4 види). **Ключові слова:** рослини, флора, екологічні групи, Житомирська область.

The species composition of the flora of vascular plants of Zhytomyr region. Vyshnevskaya A., Patsyuk M., Polishchuk A.

In the flora of the Zhytomyr region, we registered the following species of plants: *Centaurea cyanus*, *Leucanthemum vulgare*, *Taraxacum officinale*, *Bellis perennis*, *Pilosella officinarum*, *Cichorium intybus*, *Tussilago farfara*, *Achillea millefolium*, *Matricaria chamomilla*, *Malus domestica*, *Prunus domestica*, *Alchemilla vulgaris*, *Potentilla argentea*, *Rosa majalis*, *Rosa canina*, *Fragaria vesca*, *Sorbus aucuparia*, *Prunus padus*, *Ficaria verna*, *Anemone nemorosa*, *Ranunculus acris*, *Caltha palustris*, *Ranunculus repens*, *Veronica chamaedrys*, *Plantago major*, *Plantago lanceolata*, *Thymus serpyllum*, *Lamium album*, *Origanum vulgare*, *Trifolium pratense*, *Trifolium repens*, *Robinia pseudoacacia*, *Pulmonaria obscura*, *Cynoglossum officinale*, *Corydalis solida*, *Chelidonium majus*, *Muscari neglectum*, *Convallaria majalis*, *Crocus vernus*, *Crocus chrysanthus*, *Urtica dioica*, *Urtica urens*, *Chenopodium album*, *Chenopodium glaucum*, *Betula pendula*, *Corylus avellana*, *Acer platanoides*, *Acer negundo*, *Vaccinium myrtillus*, *Chrysosplenium alternifolium*, *Gagea lutea*, *Galanthus nivalis*, *Salix discolor*, *Syringa vulgaris*, *Philadelphus coronarius*, *Erodium cicutarium*, *Aegopodium podagraria*, *Equisetum arvense*, *Pteridium aquilinum*, *Pinus sylvestris*, *Asarum europaeum*, *Nuphar lutea*, *Portulaca oleracea*, *Stellaria media*, *Quercus robur*, *Juglans nigra*, *Hypericum perforatum*, *Capsella bursa-pastoris*, *Tilia cordata*, *Solanum nigrum*, *Sagittaria sagittifolia*, *Elymus repens*, *Lemna minor*, *Elodea*.

Ecological groups of plant species are selected to environmental factors: in relation to water – mesophytes (66 species), hydrophytes (5 species), airhydatophytes (2 species), hydatophytes (1 species); in relation to the content of nutrients in the soil – mesotrophs (63 species), eutrophs (11 species); by demand for lighting – heliophytes (41 species), optional heliophytes (28 species), sciophytes (4 species). **Key words:** plants, flora, ecological groups, Zhytomyr region.

Постановка проблеми та актуальність дослідження. Рослини – основний та значний компонент екосистем, відіграють роль продуцентів та зв'язуючої ланки між ґрунтом, повітрям, водними ресурсами, тваринним світом та мікрофлорою. Рослини можуть слугувати основою при проведенні експрес-оцінки стану територій, оскільки є чутливими до змін оточуючого середовища та антропогенний вплив. Ускладнює узагальнення зібраних даних в єдину систему, класифікація рослин за систематичними групами, яка являє собою різні варіанти, що значно відрізняються між собою.

Під час флористичних досліджень об'єктом вивчення є флора – комплекс рослин невеликої території, яка є відносно однорідною з точки зору кліма-

тичних умов. Такі дослідження дозволяють порівняти вивчаєму флору з флорами інших територій за таксономічним складом, географією, біоморфологією та екологією. Окрім того, склад рослин є одним із показників, який використовують для моніторингу наземних екосистем. Цей процес включає вивчення видового складу та різноманітності рослин, встановлення їх частоти трапляння, розподіл та ріст впродовж тривалого часу. Інформація, яка зібрана таким чином, використовується для прослідковування змін рослинного покриву, оцінки впливу діяльності людини, для розробки заходів щодо охорони та збереження рослинності певної території.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Сучасній флорі України присвячена серія праць

М. М. Федорончука [13-18]. Автором описані таксономічний склад й номенклатура (чеклист) видів судинних рослин основних родин губоцвітих (Lamiales), бобових (Fabaceae), зонтичних (Umbelliferae), аралієвих (Araliaceae), розових (Rosaceae), чистових (Cistaceae), мальвових (Malvaceae), вовчеликових (Thymelaeaceae). Особливу увагу приділяє класифікаціям рослин, які побудовані на основі молекулярно-генетичного аналізу [13]. Гончаренко В. І. проводив цілеспрямовані дослідження щодо вивчення флори Західної України, зокрема Шацького національного природного парку [3-6]. Лікарські рослини України зазначені в працях Кречківської В. Г. [10]. Відомості про судинні рослини Парку «Залісся» Київської та Чернігівської областей зафіксовані в публікації Коломійчука В. зі співавторами [8]. У флористичному, історичному та созологічному аспектах природна флора судинних рослин м. Києва проаналізована Гречишкіною Ю. й встановлено, що флора дослідженої території представлена 926 видами рослин [7].

Флора та рослинність Житомирської області практично не вивчена, хоча вони відіграють значну роль у побудові повноцінної екологічної мережі області. Відповідно, метою нашого дослідження є вивчити флору Житомирської області та з'ясувати поширення видів рослин у залежності від екологічних умов.

Матеріал та методи дослідження. Дослідження проводили в 2024 році маршрутным методом в межах Житомирської області. Всього закладено 50 облікових площ та 150 облікових ділянок. У вибраних точках здійснювали опис рослинності, на основі чого був складений флористичний конспект найбільш цікавих та поширених видів рослин. Визначали рослини за [1, 2, 9, 19]. Проаналізовано також зразки гербарію судинних рослин Житомирського державного університету імені Івана Франка. Складання списку видів рослин проводився таким чином: порядковий номер ділянки або маршруту; дата проведення дослідження; видова назва рослини; кількість представників окремого виду. Для встановлення частоти трапляння видів рослин використовували матеріали наведені в Червоній книзі України. Життєві форми та екологічні групи рослин визначали за [11, 12].

Усі матеріали занесені до інформаційних таблиць, які створені в форматах MS Excel та MS Word.

Виклад основного матеріалу. У флорі м. Житомира нами зареєстровано 74 види рослин. Родина Айстрові (Asteraceae) представлена 9 видами рослин (волошка синя (*Centaurea cyanus*), королиця звичайна (*Leucanthemum vulgare*), кульбаба лікарська (*Taraxacum officinale*), стокротки багаторічні (*Bellis perennis*), нечуйвітер звичайний (*Pilosella officinarum*), цикорій звичайний (*Cichorium intybus*), підбіл звичайний (*Tussilago farfara*), деревій звичайний (*Achillea millefolium*), ромашка лікарська (*Matricaria chamomilla*)); родина Розові (Rosaceae) –

9 видами (яблуня домашня (*Malus domestica*), слива домашня (*Prunus domestica*), приворотень звичайний (*Alchemilla vulgaris*), перстач сріблястий (*Potentilla argentea*), шипшина травнева (*Rosa majalis*), шипшина собача (*Rosa canina*), суниця лісова (*Fragaria vesca*), горобина звичайна (*Sorbus aucuparia*), черемха звичайна (*Prunus padus*)); родина Жовтецеві (Ranunculaceae) – 5 видами (пшінка весняна (*Ficaria verna*), анемона дібровна (*Anemone nemorosa*), жовтець їдкий (*Ranunculus acris*), калюжниця болотна (*Caltha palustris*), жовтець повзучий (*Ranunculus repens*)). По три види рослин ідентифіковано в складі родин Подорожникові (Plantaginaceae) (вероніка дібровна (*Veronica chamaedrys*), подорожник великий (*Plantago major*), подорожник ланцетоподібний (*Plantago lanceolata*)); Глухокропівові (Lamiaceae) (чебрець повзучий (*Thymus serpyllum*), глуха кропива біла (*Lamium album*), материнка звичайна (*Origanum vulgare*)); Бобові (Fabaceae) (конюшина лучна (*Trifolium pratense*), конюшина повзуча, або біла (*Trifolium repens*), робінія звичайна (*Robinia pseudoacacia*)). Двома видами рослин представлені родини Шорстколисті (Boraginaceae) (медунка темна (*Pulmonaria obscura*), чорнокорінь лікарський (*Cynoglossum officinale*)); Макові (Papaveraceae) (ряст щільний (*Corydalis solida*), чистотіл звичайний (*Chelidonium majus*)); Холодкові (Asparagaceae) (гадюча цибулька занедбана (*Muscari neglectum*), конвалія звичайна (травнева) (*Convallaria majalis*)); Півникові (Iridaceae) (шафран весняний (*Crocus vernus*), шафран золотавий (*Crocus chrysanthus*)); Кропівові (Urticaceae) (кропива дводомна (*Urtica dioica*), кропива жалка (*Urtica urens*)), Ширицеві (Amaranthaceae) (лобода біла (*Chenopodium album*), лобода сиза (*Chenopodium glaucum*)); Березові (Betulaceae) (береза повисла (*Betula pendula*), ліщина звичайна (*Corylus avellana*)); Сапіндові (Sapindaceae) (клен звичайний (*Acer platanoides*), клен ясенелистий (*Acer negundo*)). Усі інші родини представлені одним видом рослин: Вересові (Ericaceae) (чорниця звичайна (*Vaccinium myrtillus*)); Ломикаменеві (Saxifragaceae) (жовтяниця черволиста (*Chrysosplenium alternifolium*)); Лілієві (Liliaceae) (зірочки жовті (*Gagea lutea*)); Амарилісові (Amaryllidaceae) (підсніжник білосніжний (*Galanthus nivalis*)); Вербові (Salicaceae) (верба біла (*Salix discolor*)); Маслинові (Oleaceae) (бузок звичайний (*Syringa vulgaris*)); Гортензіїв (Hydrangeaceae) (чубушник вінцевий (*Philadelphus coronarius*)); Журавцеві (Geraniaceae) (грабельки звичайні (*Erodium cicutarium*)); Окружкові (Ariaceae) (яглиця звичайна (*Aegopodium podagraria*)); Хвоцеві (Equisetaceae) (хвощ польовий (*Equisetum arvense*)); Багатоніжкові (Polypodiales) (орляк звичайний (*Pteridium aquilinum*)); Соснові (Pinaceae) (сосна звичайна (*Pinus sylvestris*)); Хвилівникові (Aristolochiaceae) (копитняк європейський (*Asarum europaeum*)); Лататтєві (Nymphaeaceae) (гלечики

жовті (*Nuphar lutea*)); Портулакові (Portulacaceae) (портулак городній (*Portulaca oleracea*)); Гвоздикові (Caryophyllaceae) (зірочник середній (*Stellaria media*)); Букові (Fagaceae) (дуб звичайний (*Quercus robur*)); Горіхові (Juglandaceae) (горіх чорний (*Juglans nigra*)); Звіробоеві (Hypericaceae) (звіробій звичайний (*Hypericum perforatum*)); Капустяні (Brassicaceae) (грицики звичайні (*Capsella bursa-pastoris*)); Мальвові (Malvaceae) (липа серцелиста (*Tilia cordata*)); Пасльонові (Solanaceae) (паслін чорний (*Solanum nigrum*)); Частухові (Alismataceae) (стрілолист звичайний (*Sagittaria sagittifolia*)); Злакові (Poaceae) (пирій повзучий (*Elymus repens*)); Кліщинцеві (Araceae) (ряска мала (*Lemna minor*)); Жабурникові (Hydrocharitaceae) (водяна чума, або елодея (*Elodea*)).

За частотою трапляння дуже часто трапляється 18 видів рослин (24,3 %), часто – 24 види (32,4 %), досить часто – 9 видів (12,2 %), зрідка – 13 видів (17,6 %), поодинокі – 10 видів (13,5 %) (табл. 1).

57 видів рослин у флорі Житомирської області представлені травами, 12 видів – деревами, 4 види – кущами, один вид – кущиком (рис. 1).

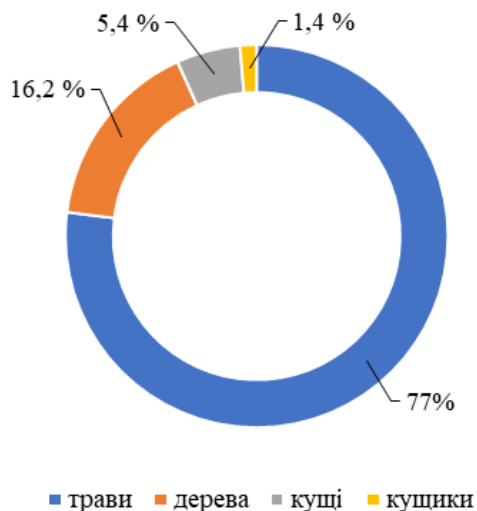


Рис. 1. Життєві форми рослин у флорі Житомирської області

За біоморфологічною характеристикою всі знайдені рослини розподілилися так: багаторічні – 65 видів, дворічні – 1 вид та однорічні – 8 видів (табл. 1).

Основну роль у житті рослин відіграє вода. Ми виділили такі екологічні групи рослин до цього фактору середовища: мезофіти (рослини помірно зволожені місцезростань) – 66 видів (89,1 %), гідрофіти (рослини, які частково занурені в воду та зростають по берегах водойм) – 5 видів (6,8 %), аерогідатофіти (рослини, у яких частина або всі листки занурені в воду) – 2 види (2,7 %), гідатофіти (водні рослини, які повністю занурені в воду) – 1 вид (1,4 %).

За класифікацією життєвих форм Х. Рауінкера [12] виділені такі групи рослин, спектри яких відображають екологічні умови, в яких сформувалась флора дослідженої місцевості.

До гемікриптофітів належать медунка темна, королиця звичайна, кульбаба лікарська, вероніка дібровна, пшінка весняна, жовтяниця черговолиста, ряст щільний, анемона дібровна, стокротки багаторічні, зірочки жовті, гадюча цибулька, кропива дводомна, конюшина лучна, чистотіл звичайний, конюшина повзуча, нечуйвітер звичайний, яглиця звичайна, приворотень звичайний, чорнокорінь лікарський, жовтець їдкий, хвощ польовий, орляк звичайний, копитняк європейський, зірочник середній, звіробій звичайний, перстач сріблястий, суніці лісові, подорожник великий, подорожник ланцето-подібний, глуха кропива біла, материнка звичайна, цикорій звичайний, підбіл звичайний, деревій звичайний, пирій повзучий; до фанерофітів – яблуня домашня, слива домашня, верба біла, бузок звичайний, чубушник вінцевий, сосна звичайна, дуб звичайний, береза повисла, ліщина звичайна, горіх чорний, липа серцелиста, шипшина травнева, шипшина собача, горобина звичайна, черемха звичайна, робінія звичайна, клен звичайний, клен ясенелистий; до хамефітів – чорниця звичайна, чебрець повзучий; до криптофітів – шафран весняний, підсніжник білосніжний, шафран золотавий, глечики жовті, калужниця болотна, жовтець повзучий, стрілолист звичайний, конвалія звичайна, ряска мала, водяна чума; до терофітів – волошка синя, грабельки звичайні, портулак городній, лобода біла, лобода сиза, грицики звичайні, кропива жалка, паслін чорний, ромашка лікарська.

За вимогливістю до освітлення 41 вид рослин (56,1 %) належить до геліофітів (світлолюбні рослини), 28 видів (38,4 %) – до факультативних геліофітів (тіневитривалі рослини), 4 види (5,5 %) – до сціофітів (тіньолілюбні рослини) (табл. 1).

По відношенню до вмісту поживних речовин у ґрунті знайдені рослини належать до мезотрофів (63 види) й евтрофів (11 видів) (табл. 1).

Висновки. У флорі Житомирської області нами зареєстровано 74 види рослин, які належать до 67 родів та 40 родин. У складі флори переважають трави, дерева, кущі та кущики. Дуже часто трапляється 18 видів рослин, часто – 24 види, досить часто – 9 видів, зрідка – 13 видів, поодинокі – 10 видів. Життєві форми рослин представлені гемікриптофітами, фанерофітами, криптофітами, хамефітами та терофітами. Виділені екологічні групи рослин за вимогливістю до води (мезофіти, гідрофіти, аерогідатофіти, гідатофіти); освітлення (геліофіти, факультативні геліофіти, сціофіти); вмісту поживних речовин у ґрунті (мезотрофи, евтрофи).

Перспективи використання результатів дослідження. Флора Житомирської області не обмежується вивченням 74 видів рослин. Необхідно аналі-

Таблиця 1

Екологічна характеристика рослин Житомирської області

№	Назва рослини	Частота трапляння, %	Життєва форма	Біо-морфологічна характеристика	Вимоги до води	Вимоги до світлового режиму	Вимоги до вмісту солей у ґрунті
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Волошка синя	зрідка	трава	однорічна	мезофіт	геліофіт	мезотроф
2	Королиця звичайна	зрідка	трава	багаторічна	мезофіт	геліофіт	мезотроф
3	Кульбаба лікарська	дуже часто	трава	багаторічна	мезофіт	геліофіт	мезотроф
4	Стокротки багаторічні	часто	трава	багаторічна	мезофіт	геліофіт	мезотроф
5	Нечуйвітер звичайний	часто	трава	багаторічна	мезофіт	геліофіт	мезотроф
6	Цикорій звичайний	часто	трава	багаторічна	мезофіт	геліофіт	евтроф
7	Підбіл звичайний	досить часто	трава	багаторічна	мезофіт	факультативний геліофіт	мезотроф
8	Деревій звичайний	часто	трава	багаторічна	мезофіт	геліофіт	мезотроф
9	Ромашка лікарська	часто	трава	однорічна	мезофіт	геліофіт	мезотроф
10	Яблуня домашня	зрідка	трава	багаторічна	мезофіт	геліофіт	мезотроф
11	Слива домашня	досить часто	дерево	багаторічна	мезофіт	геліофіт	мезотроф
12	Приворотень звичайний	досить часто	трава	багаторічна	мезофіт	геліофіт	мезотроф
13	Перстач сріблястий	поодинокі	трава	багаторічна	гідрофіт	геліофіт	мезотроф
14	Шипшина травнева	досить часто	кущ	багаторічна	мезофіт	факультативний геліофіт	мезотроф
15	Шипшина собача	досить часто	кущ	багаторічна	мезофіт	факультативний геліофіт	мезотроф
16	Суніці лісові	зрідка	трава	багаторічна	мезофіт	факультативний геліофіт	мезотроф
17	Горобина звичайна	дуже часто	дерево	багаторічна	мезофіт	факультативний геліофіт	мезотроф
18	Черемха звичайна	поодинокі	дерево	багаторічна	мезофіт	геліофіт	мезотроф
19	Пшінка весняна	досить часто	трава	багаторічна	мезофіт	факультативний геліофіт	мезотроф
20	Анемона дібровна	часто	трава	багаторічна	мезофіт	сціофіт	мезотроф
21	Жовтець їдкий	часто	трава	багаторічна	мезофіт	геліофіт	мезотроф
22	Калюжниця болотна	зрідка	трава	багаторічна	гідрофіт	геліофіт	евтроф
23	Жовтець повзучий	часто	трава	багаторічна	гідрофіт	факультативний геліофіт	мезотроф
24	Вероніка дібровна	часто	трава	багаторічна	мезофіт	геліофіт	мезотроф
25	Подорожник великий	дуже часто	трава	багаторічна	мезофіт	факультативний геліофіт	евтроф
26	Подорожник ланцетоподібний	поодинокі	трава	багаторічна	мезофіт	факультативний геліофіт	евтроф
27	Чебрець повзучий	зрідка	трава	багаторічна	мезофіт	геліофіт	мезотроф
28	Глуха кропива біла	часто	трава	багаторічна	мезофіт	факультативний геліофіт	мезотроф
29	Материнка звичайна	поодинокі	трава	багаторічна	мезофіт	факультативний геліофіт	мезотроф
30	Конюшина лучна	дуже часто	трава	багаторічна	мезофіт	геліофіт	мезотроф

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
31	Конюшина повзуча, або біла	дуже часто	трава	багаторічна	мезофіт	геліофіт	мезотроф
32	Робінія звичайна	часто	дерево	багаторічна	мезофіт	геліофіт	мезотроф
33	Медунка темна	часто	трава	багаторічна	мезофіт	факультативний геліофіт	евтроф
34	Чорнокорінь лікарський	зрідка	трава	дворічна	мезофіт	факультативний геліофіт	мезотроф
35	Ряст щільний	поодинокі	трава	багаторічна	мезофіт	факультативний геліофіт	мезотроф
36	Чистотіл звичайний	дуже часто	трава	багаторічна	мезофіт	факультативний геліофіт	мезотроф
37	Гадюча цибулька занедбана	поодинокі	трава	багаторічна	мезофіт	геліофіт	мезотроф
38	Конвалія звичайна (травнева)	зрідка	трава	багаторічна	мезофіт	факультативний геліофіт	мезотроф
39	Шафран весняний	поодинокі	трава	багаторічна	мезофіт	геліофіт	мезотроф
40	Шафран золотавий	поодинокі	трава	багаторічна	мезофіт	геліофіт	мезотроф
41	Кропива дводомна	дуже часто	трава	багаторічна	мезофіт	факультативний геліофіт	мезотроф
42	Кропива жалка	часто	трава	однорічна	мезофіт	факультативний геліофіт	мезотроф
43	Лобода біла	часто	трава	однорічна	мезофіт	геліофіт	мезотроф
44	Лобода сиза	часто	трава	однорічна	гідрофіт	геліофіт	мезотроф
45	Береза повисла	часто	дерево	багаторічна	мезофіт	геліофіт	мезотроф
46	Ліщина звичайна	досить часто	дерево	багаторічна	мезофіт	факультативний геліофіт	мезотроф
47	Клен звичайний	досить часто	дерево	багаторічна	мезофіт	факультативний геліофіт	мезотроф
48	Клен ясенелистий	часто	дерево	багаторічна	мезофіт	геліофіт	мезотроф
49	Чорниця звичайна	часто	кущик	багаторічна	мезофіт	геліофіт	мезотроф
50	Жовтяниця черговоліста	зрідка	трава	багаторічна	мезофіт	сціофіт	мезотроф
51	Зірочки жовті	зрідка	трава	багаторічна	мезофіт	факультативний геліофіт	мезотроф
52	Підсніжник білосніжний	поодинокі	трава	багаторічна	мезофіт	факультативний геліофіт	мезотроф
53	Вербка біла	дуже часто	трава	багаторічна	мезофіт	геліофіт	мезотроф
54	Бузок звичайний	часто	кущ	багаторічна	мезофіт	геліофіт	мезотроф
55	Чубушник вінцевий	часто	кущ	багаторічна	мезофіт	геліофіт	мезотроф
56	Грабельки звичайні	зрідка	трава	однорічна	мезофіт	геліофіт	мезотроф
57	Яглиця звичайна	досить часто	трава	багаторічна	мезофіт	сціофіт	евтроф
58	Хвощ польовий	дуже часто	трава	багаторічна	мезофіт	геліофіт	мезотроф
59	Орляк звичайний	дуже часто	трава	багаторічна	мезофіт	факультативний геліофіт	мезотроф
60	Сосна звичайна	дуже часто	дерево	багаторічна	мезофіт	геліофіт	мезотроф
61	Копитняк європейський	дуже часто	трава	багаторічна	мезофіт	сціофіт	мезотроф
62	Глечики жовті	поодинокі	трава	багаторічна	аеро-гі- датофіт	геліофіт	евтрофні водойми
63	Портулак городній	часто	трава	однорічна	мезофіт	геліофіт	мезотроф

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
64	Зірочник середній	часто	трава	багаторічна	мезофіт	геліофіт	мезотроф
65	Дуб звичайний	дуже часто	дерево	багаторічна	мезофіт	геліофіт	евтроф
66	Горіх чорний	часто	дерево	багаторічна	мезофіт	геліофіт	мезотроф
67	Звіробій звичайний	дуже часто	трава	багаторічна	мезофіт	факультативний геліофіт	мезотроф
68	Грицики звичайні	дуже часто	трава	багаторічна	мезофіт	факультативний геліофіт	мезотроф
69	Липа серцелиста	дуже часто	дерево	багаторічна	мезофіт	факультативний геліофіт	мезотроф
70	Паслін чорний	зрідка	трава	однорічна	мезофіт	факультативний геліофіт	мезотроф
71	Стрілолист звичайний	зрідка	трава	багаторічна	гідрофіт	факультативний геліофіт	мезотроф
72	Пирій повзучий	дуже часто	трава	багаторічна	мезофіт	геліофіт	евтроф
73	Ряска мала	часто	трава	багаторічна	аеро-гідато-фіт	геліофіт	евтрофні водойми
74	Водяна чума, або елодея	дуже часто	трава	багаторічна	гідато-фіт	—	евтрофні водойми

зувати склад видів рослин різних областей України, встановлювати співвідношення видів у роді, родині та кількості родів у складі родини, що дасть змогу зрозуміти ступінь видової різноманітності досліджуваної флори та динаміку структур за дії різних факторів середовища. Окрім того, повні списки

видів дадуть змогу розробити рекомендації щодо охорони, збереження та раціонального використання представників основних родин рослин в Україні. Розробка чеклистів рослин окремих родин надасть інформацію щодо наукових назв та можливих місцезростань видів.

Література

1. Атлас рослин-індикаторів і типів лісорослинних умов Українського Полісся : [монографія] / В. П. Краснов, О. О. Орлов, М. М. Ведмідь ; [під ред. В. П. Краснова]; НАН України, Держ. ком. ліс. госп-ва України, Поліс. філ. Укр. НДІ ліс. госп-ва та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького. Новоград-Волинський: [НОВОГрад]. 2009. 487 с.
2. Визначник рослин України : учбовий посібник. Інститут ботаніки ім. М. Г. Холодного АН УРСР, А. І. Барбарич, Є. М. Брадїс, О. Д. Вісюлін, М. І. Котов та ін.; Редкол.: Відп. ред. д. К. Зеров. вид. друге, виправлене і доповнене. Київ : Урожай. 1965. 875 с.
3. Гончаренко В. І. Доповнення до флори Шацького національного природного парку. Вісник Луганського національного педагогічного університету ім. Тараса Шевченка. Біологічні науки. 2007. № 7(124). с. 39-43.
4. Гончаренко В. І., Бузунова І. О. *Rosa mollis Smith (Rosaceae Juss.)* – новий вид у флорі України. Науковий вісник Чернівецького університету. Біологія. 2007. № 343. с. 30-33.
5. Гончаренко В. І., Калінович Н. О. Флора судинних рослин Шацького національного природного парку. Науковий вісник Волинського університету імені Лесі Українки. Розділ І. Рослинний світ. 2009. № 2. с. 5-17.
6. Гончаренко В., Кузьмішина І., Коцун Л. Родина Rosaceae Juss. у природній флорі та культурі Шацького поозер'я. Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. 2017. № 13. с. 75-80.
7. Гречишкіна Ю. В. Природна флора судинних рослин м. Києва: дис... к.б.н. 03.00.05 – ботаніка. Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного. 2010.
8. Коломійчук В., Шиндер О., Баранський О., Шевера М. Флора судинних рослин Національного природного парку «Залісся» (Київська і Чернігівська області). Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. 2024. № 96 (1). С. 24-31. <https://doi.org/10.17721/1728.2748.2024.96.24-31>
9. Костильов О. В. Рудеральна рослинність України. Український ботанічний журнал. 1990. № 1. с. 70-73.
10. Кречківська Г. В., Монастирська С. С., Волошанська С. Я. Видовий склад та ресурсна характеристика деяких видів лікарських рослин гірської місцевості Дрогобицького району. Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М.П. Драгоманова. Серія 20. Біологія. 2013. С. 10-20.
11. Морозюк С. С., Протопопова В. В. Трав'янисті рослини України: Навчальний посібник. Тернопіль: Навчальна книга. Богдан. 2007. 216 с.
12. Мусієнко М. М. Екологія рослин. Підручник. Київ: Либідь. 2006. 432 с.
13. Федорончук М. М. Таксони Rosaceae флори України: положення в новій системі родини, побудованій за даними молекулярно-філогенетичного аналізу. Український ботанічний журнал. 2017. № 74(1). С. 3-15. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj74.01.003>

14. Федорончук М. М. Чекліст флори України. 1: родина Lamiaceae (Lamiales, Angiosperms). Чорноморський ботанічний журнал. 2019. № 18(1). С. 5-27. <https://doi.org/10.32999/ksu1990-553X/2022-18-1-1>
15. Федорончук М. М. Чекліст флори України. 2: родина Fabaceae (Fabales, Angiosperms). Чорноморський ботанічний журнал. 2022. № 18(2). С. 97-138. <https://doi.org/10.32999/ksu1990-553X/2022-18-2-1>
16. Федорончук М. Чекліст флори України. 3: родини Apiaceae (=Umbelliferae), Araliaceae (Apiales, Angiosperms). Чорноморський ботанічний журнал. 2022. № 18(3). С. 203-221. <https://doi.org/10.32999/ksu1990-553X/2022-18-3-1>
17. Федорончук М. М. Чекліст флори України. 4: родина Rosaceae (Rosales, Angiosperms). Чорноморський ботанічний журнал. 2022. № 18(4). С. 305-349. <https://doi.org/10.32999/ksu1990-553X/2022-18-4-1>
18. Федорончук М. Чекліст флори України. 9: родини Cistaceae, Malvaceae (incl. Tiliaceae) та Thymelaeaceae (Malvales, Angiosperms). Чорноморський ботанічний журнал. 2024. № 20(1). С. 5-18. <https://doi.org/10.32999/ksu1990-553X/2024-20-1-1>
19. Червона книга України. Рослинний світ / за ред. Я.П. Дідуха. К.: Глобалконсалтинг. 2009. 900 с.

УДК 581.526.45 (477.52)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.2-59.39>

РОЗМІРНА СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦІЙ *SANGUISORBA OFFICINALIS* L. У ЛУЧНИХ ФІТОЦЕНОЗАХ КРОЛЕВЕЦЬКО-ГЛУХІВСЬКОГО ГЕОБОТАНІЧНОГО РАЙОНУ

Зубцова І.В.

Сумський національний аграрний університет
вул. Герасима Кондратьєва, 160, 40021, м. Суми
i_zubtsova@ukr.net

У роботі показано представлено результати дослідження розмірної структури популяцій *Sanguisorba officinalis*, сформованих у різних місцезростаннях лучних фітоценозів Кролевецько-Глухівського геоботанічного району. Досліджено п'ять популяцій *S. officinalis*, які входять до складу різних угруповань. У процесі роботи використано морфометричний аналіз та комплекс методів статистично-математичного опрацювання даних.

У межах дослідження застосовано методи популяційної екології Ю.А. Злобіним. Оцінено онтогенетичну та розмірну структуру популяцій, розраховано щільність, ступінь мозаїчності, варіаційні параметри, здійснено статистичну обробку та порівняльний аналіз отриманих даних.

За результатами дослідження онтогенетичної структури, встановлено, що усі досліджувані популяції мають неповні онтогенетичні спектри: в яких репрезентовано рослини 6–7 онтогенетичних станів. В усіх популяціях не зареєстровані проростки та ювенільні рослини.

Результати дослідження розмірних ознак рослин та популяцій засвідчили, що в них, залежно від умов місцезростання, мають місце статистично достовірні зміни абсолютного розміру та архітектури рослин.

Для абсолютної більшості розмірних величин зареєстровані відмінності у величинах морфопараметрів у рослин із різних угруповань є статистично достовірними. У складі популяцій представлені рослини, величини морфопараметрів яких відповідають декільком (від 3 до 5) розмірним класам, що здебільшого формують континуальний ряд.

У ході дослідження були отримані нові емпіричні дані щодо кількісного складу, розмірного спектра особин та їхнього просторового розподілу в умовах лучних фітоценозів досліджуваного регіону. Визначено показники, що свідчать про рівень стабільності популяцій та їхній потенціал до самовідновлення. Отримані результати розширюють сучасні уявлення про популяційно-екологічну динаміку лікарських видів у природних умовах.

Загалом у популяцій *S. officinalis* зареєстровано високі величини індексу різноманітності розмірної структури (IDSS).
Ключові слова: розмірна структура, лучні фітоценози, лікарські рослини, популяційний аналіз, *Sanguisorba officinalis*, популяційна структура.

Size structure of populations of *Sanguisorba officinalis* L. in meadow phytocenoses of the Krolevets-Glukhiv geobotanical region. Zubtsova I.

The paper presents the results of the study of the size structure of *Sanguisorba officinalis* populations formed in different habitats of meadow phytocenoses of the Krolevets-Glukhiv geobotanical region. Five populations of *S. officinalis* belonging to different communities were studied. Morphometric analysis and a number of methods of statistical and mathematical data processing were used in the study.

The methods of population ecology by Yu.A. Zlobin were used to assess the ontogenetic and size structure of the populations, to calculate the density, degree of mosaicism and variation parameters, and to perform statistical processing and comparative analysis of the data.

According to the results of the study of ontogenetic structure, it was found that all the populations studied have incomplete ontogenetic spectra: plants of 6–7 ontogenetic states are represented in them. No seedlings and juveniles were recorded in all populations.

The results of the study of the dimensional characteristics of plants and populations showed that there are statistically significant changes in the absolute size and architecture of plants depending on habitat conditions.

For the vast majority of size values, the differences in morphological parameters between plants from different communities are statistically significant. The populations include plants whose morphological parameters correspond to several (3 to 5) size classes, which mostly form a continuum.

The study provided new empirical data on the quantitative composition, size spectrum of individuals and their spatial distribution in the conditions of meadow phytocenoses of the studied region. Indicators of the degree of stability of populations and their potential for self-renewal were determined. The results obtained extend the current understanding of the population-ecological dynamics of medicinal plants under natural conditions.

In general, high values of the index of size structure diversity (IDSS) were found in *S. officinalis* populations. **Key words:** size structure, meadow phytocenoses, medicinal plants, population analysis, *Sanguisorba officinalis*, population structure.

Постановка проблеми. Збереження біорізноманіття природних екосистем, зокрема лучних фітоценозів, є одним із ключових завдань сучасної ботаніки та екології [1]. Лучні фітоценози відіграють важливу

роль у підтриманні екологічного балансу, забезпечуючи умови для існування багатьох видів рослин, серед яких рідкісні, так лікарські. Одним із таких видів є *Sanguisorba officinalis* L., яка має не лише

екологічне, а й фармакологічне значення. У контексті змін природного середовища, інтенсифікації сільськогосподарського використання земель, осушення боліт і зменшення площі природних лук особливої актуальності набуває вивчення структурно-динамічних характеристик популяцій *S. officinalis*. Зокрема, важливим є аналіз розмірної структури як показника стану популяції, її стабільності, відновлюваності та адаптативних можливостей у різних екологічних умовах.

На сьогодні бракує ґрунтовних досліджень, що висвітлюють особливості розмірної структури популяцій *S. officinalis* у межах конкретних геоботанічних районів, зокрема Кролевецько-Глухівського, який відзначається своєрідністю флористичного складу та мозаїчністю рослинного покриву. Це зумовлює потребу у проведенні комплексного аналізу розмірної структури популяцій як основи для оцінки їх екологічного стану та формування заходів щодо збереження біорізноманіття лучних екосистем [7].

Актуальність дослідження. У сучасних умовах підвищеного інтересу до фітотерапії та використання природних ресурсів для підтримки здоров'я людини зростає значення лікарських рослин як джерела біологічно активних речовин. Однією з таких перспективних лікарських рослин є *S. officinalis*, яка має широкий спектр фармакологічної дії – в'яжучу, кровоспинну, протизапальну та антибактеріальну. Сировинні ресурси даного виду використовують в офіційній та народній медицині, зокрема для лікування кровотеч, захворювань шлунково-кишкового тракту, шкіри та ротової порожнини [6].

Разом із тим, масове збирання лікарських рослин без врахування стану їхніх популяцій часто призводить до виснаження природних ресурсів. Особливо це стосується видів, що зростають у вразливих та поступово зникаючих екосистемах, таких як лучні фітоценози. У цьому контексті важливо не лише знати біологічні властивості виду, але й розуміти його екологічні потреби, здатність до відновлення та стійкість до зовнішніх впливів.

Аналіз розмірної структури популяцій *S. officinalis* у Кролевецько-Глухівському геоботанічному районі дозволяє отримати об'єктивну інформацію про життєвий стан виду, рівень його оновлення, перспективи виживання в умовах природного середовища.

Таким чином, дослідження має як екологічну, так і практичну цінність, оскільки сприяє збереженню біорізноманіття та сталому використанню природних популяцій лікарських рослин.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження є складовою актуального напрямку сучасної ботаніки та екології – вивчення структурної організації популяцій лікарських видів рослин у природних екосистемах з метою їх збереження та сталого використання.

У науковому аспекті результати дослідження сприяють кращому розумінню особливостей структурної організації популяцій *S. officinalis*, зокрема розмірної структури, що дозволяє уточнити екологічну характеристику виду та розширити уявлення про його адаптивні стратегії в межах природного ареалу.

Отримані дані можуть слугувати науковим підґрунтям для екологічного моніторингу та оцінки впливу господарської діяльності на лучні фітоценози, де трапляється *S. officinalis*.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З розвитком популяційних досліджень, коло інтересів науковців розширювалося, а популяційна біологія та екологія рослин як цілісний науковий напрямок почала включати у себе різні аспекти популяційного життя, а саме: вивчення популяційних структур видів рослин (генетичної, гендерної, вікової, онтогенетичної, розмірної, віталітетної), аналіз екологічних ніш, фітоценотичних ареалів, фітогенних полів, еколого-фітоценотичних стратегій, стану особин як елементів популяцій, внутрішньо- та міжпопуляційних взаємодій, стійкості та динаміки популяцій [2, 19].

Розвиток комплексного підходу до вивчення фітопопуляцій, зокрема, пов'язано із становленням, існуванням та розвитком Сумської наукової школи популяційної екології рослин під керівництвом д. б. н., професора Ю.А. Злобіна [4, 5]. Складовими комплексного вивчення популяцій у межах досліджень, які здійснювалися представниками зазначеної наукової школи, здебільшого є розмір популяційного поля, значень популяційної щільності, розмірних та морфологічних ознак особин, які формують популяції, майже усіх видів структур (окрім генетичної), а також екологічних зв'язків популяцій. Зазначені підходи комплексного популяційного аналізу успішно апробовані та довели високий ступінь своєї інформативності за результатами вивчення лучних, лісових, водних рослин, а також тих, що зростають в агрофітоценозах. На основі результатів комплексного аналізу вже розкрито низку важливих закономірностей функціонування популяцій [5, 8, 11–14].

Необхідності охорони, *S. officinalis* як компоненту фіторізноманіття відзначається у «Переліку видів рослин, що підлягають особливій охороні на території...» Дніпропетровської, Запорізької та Полтавської областей [10].

У науковій літературі представлено окремі дослідження, присвячені вивченню *S. officinalis* – її фармакологічних властивостей, хімічного складу, а також перспектив культивування [17, 22].

Таким чином, актуальним є поглиблений аналіз розмірної структури *S. officinalis* в умовах лучних фітоценозів Кролевецько-Глухівського геоботанічного району, що дозволить заповнити існуючі наукові прогалини та створити основу для практичних

рекомендацій щодо охорони й раціонального використання цього виду.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Незважаючи на значну кількість досліджень, присвячених біоекологічним особливостям лікарських рослин, зокрема *S. officinalis* більшість із них зосереджена на вивченні хімічного складу, фармакологічної активності, агротехніки культивування та загальних аспектів поширення виду [23]. Водночас залишаються недостатньо дослідженими популяційні характеристики, зокрема розмірна структура популяцій у межах окремих геоботанічних районів України.

Значна частина наявних даних стосується або модельних популяцій в умовах дослідних ділянок, або не дає уявлення про структурну організацію виду в різнотипних лучних фітоценозах, що зазнають антропогенного впливу [20]. Крелевецько-Глухівський геоботанічний район, який вирізняється флористичним багатством та мозаїчністю природних угруповань, досі залишається недостатньо вивченим з точки зору популяційної екології.

Новизна. Здійснено комплексне дослідження розмірної структури популяцій *S. officinalis* у межах лучних фітоценозів Крелевецько-Глухівського геоботанічного району, що належить до Лівобережного Лісостепу України. Отримані нові емпіричні дані щодо кількісного складу, розмірного спектра особин та їхнього просторового розподілу в умовах лучних фітоценозів досліджуваного регіону. Визначено показники, що свідчать про рівень стабільності популяцій та їхній потенціал до самовідновлення. Отримані результати розширюють сучасні уявлення про популяційно-екологічну динаміку лікарських видів у природних умовах.

Методологічне або загальнонаукове значення. В основу представленої роботи покладені матеріали польових досліджень, проведених на території Крелевецько-Глухівського геоботанічного району [9].

З метою встановлення стану, структури рослинних угруповань були використані загальноприйняті геоботанічні підходи, насамперед метод пробних ділянок [15, 16]. З метою отримання репрезентативного матеріалу у фітоценозах закладали декілька облікових ділянок на яких здійснювали повний геоботанічний опис [3, 4].

З метою визначення розмірних параметрів рослин, було застосовано морфометричний аналіз [5].

Прийняття рослин до різних умов місцезростання безпосередньо пов'язано із реалізацією ними морфологічної мінливості (варіювання абсолютних значень морфопараметрів навкруги середнього арифметичного) та пластичності (зміна середніх значень морфопараметрів за популяціями). Для їх кількісної оцінки у лікарських рослин була використана спеціальна методика [11, 21], яка базується

на порівнянні ступеня варіювання (здебільшого з опорою на значення коефіцієнта варіації) величин морфопараметрів рослин за різними угрупованнями (місцезростаннями) та у межах однієї популяції.

Розмірна структура популяцій у всіх досліджуваних видів була встановлена з опорою на два морфопараметри (загальну площу листової поверхні (A) та висоту (H)). Для популяції визначено величину IDSS за В.Г. Скляр:

$$IDSS = (Nf / Nt) * 100 \%$$

де Nf – кількість сполучень різних розмірних класів A та H , що виявлені у рослині певної популяції;

Nt – теоретично розрахована кількості можливих сполучень у рослин розмірних класів A та H .

Виявлені за результатами морфометричних досліджень характерні ознаки габітусу рослин кожної популяції досліджуваних видів було проілюстровано на основі морфограм [18].

При опрацюванні результатів досліджень були задіяні пакети прикладних статистичних програм STATISTICA 13,0 та PAST. Для оцінки статистичної достовірності отриманих кількісних даних та їх узагальнення використовували точкове, інтервальне оцінювання, кореляційний, дисперсійний, регресійний, факторний аналізи.

Викладення основного матеріалу. Аналізом було охоплено п'ять популяцій *S. officinalis*. Вони сформувалися в угрупованнях із домінуванням та співдомінуванням таких видів як *Festuca valesiaca* Gaud., *Poa angustifolia* L., *Alopecurus pratensis* L., *Dactylis glomerata* L., *Festuca pratensis* Huds., *Poa pratensis* L., *Lysimachia vulgaris* L.

У популяцій, охоплених вивченням, площа популяційного поля варіює від 14 до 59 м². При цьому середні показники популяційної щільності змінюються у межах 4,53–12,09 рослин/м² (табл. 1). Найвищі показники популяційної щільності зареєстровані у найвологішому місцезростанні, яке відповідає угрупованню *Lysimachietum (vulgaris) variaherbosum*.

За результатами дослідження онтогенетичної структури, встановлено, що усі досліджувані популяції мають неповні онтогенетичні спектри: в яких репрезентовано рослини 6–7 онтогенетичних станів. В усіх популяціях не зареєстровані проростки та ювенільні рослини. У одній із популяцій (із угруповання *Lysimachietum (vulgaris) variaherbosum*) відсутні ще й сенільні рослини. Результати перевірки однорідності онтогенетичних спектрів субвибірок *S. officinalis* на основі теста χ^2 , довели, що онтогенетичні спектри всіх популяцій у межах популяційних полів є сталими та не проявляють внутрішньопопуляційного варіювання.

Важливою ознакою популяцій є не тільки розмірні ознаки рослин, які входять до їхнього складу, а й особливості розмірної структури, яка свідчить про співвідношення у складі популяції рослин різ-

Таблиця 1

Популяційна щільність *Sanguisorba officinalis*

№ популяції	Угрупування	Популяційна щільність, рослин/м ²
1	<i>Poetum (angustifoliae) festucosum (valesiaca)</i>	4,85±1,08
2	<i>Poetum (angustifoliae) alopecuroides (pratensis)</i>	6,14±1,02
3	<i>Festucetum (pratensis) poosum (pratensis)</i>	5,57±1,01
4	<i>Festucetum (pratensis) dactylosum (glomeratae)</i>	4,53±0,95
5	<i>Lysimachietum (vulgaris) variaherbosum</i>	12,09±2,47

Таблиця 2

Представленість рослин *Sanguisorba officinalis* різних класів розмірності за досліджуваними угрупованнями

Морфометричні параметри				Частка особин різного розміру у складі популяцій (нумерація популяцій відповідає табл. 1)				
висота стебла		площа листової поверхні						
клас	ампл. абсол. значень, см	клас	ампл. абсол. значень, см	1	2	3	4	5
I	114,0 – 130,0	I	434,0 – 500,0		6,67		6,67	20,0
I	114,0 – 130,0	II	368,0 – 434,0				13,33	6,67
I	114,0 – 130,0	III	302,0 – 368,0				13,33	6,67
I	114,0 – 130,0	IV	236,0 – 302,0					
I	114,0 – 130,0	V	170,0 – 236,0				6,67	
II	98,0 – 114,0	I	434,0 – 500,0		13,32		20,0	13,33
II	98,0 – 114,0	II	368,0 – 434,0		6,67		13,33	20,0
II	98,0 – 114,0	III	302,0 – 368,0		6,67		6,67	13,33
II	98,0 – 114,0	IV	236,0 – 302,0				13,33	
II	98,0 – 114,0	V	170,0 – 236,0					
III	82,0 – 98,0	I	434,0 – 500,0		20,0		6,67	13,33
III	82,0 – 98,0	II	368,0 – 434,0	13,33	6,67			6,67
III	82,0 – 98,0	III	302,0 – 368,0	13,33	13,33			
III	82,0 – 98,0	IV	236,0 – 302,0	13,33	13,33			
III	82,0 – 98,0	V	170,0 – 236,0	6,67	6,67			
IV	66,0 – 82,0	I	434,0 – 500,0		6,67			
IV	66,0 – 82,0	II	368,0 – 434,0			6,67		
IV	66,0 – 82,0	III	302,0 – 368,0	6,68		6,67		
IV	66,0 – 82,0	IV	236,0 – 302,0	20,0		13,33		
IV	66,0 – 82,0	V	170,0 – 236,0	13,33		13,33		
V	50,0 – 66,0	I	434,0 – 500,0			6,67		
V	50,0 – 66,0	II	368,0 – 434,0			6,67		
V	50,0 – 66,0	III	302,0 – 368,0			13,33		
V	50,0 – 66,0	IV	236,0 – 302,0	13,33		20,0		
V	50,0 – 66,0	V	170,0 – 236,0			13,33		
Індекс різноманітності розмірної структури (IDSS), %				32,0	40,0	36,0	36,0	32,0

ного розміру. Оцінка розмірної структури популяцій досліджуваних видів лікарських рослин була здійснена з опорою два морфопараметри: висота стебла та площа листової поверхні. Розмірні показники кожного з цих морфопараметрів розподілялися на п'ять розмірних класів, у сукупності формуючи 25 їх теоретично можливих сполучень. За співвідно-

шенням кількості фактично виявлених у популяції сполучень розмірних класів та їхньої теоретично можливої кількості визначалася величина індексу різноманітності розмірної структури (IDSS).

У популяції *S. officinalis*, показники IDSS варіюють у діапазоні 32,0–40,0% (табл. 2). Тобто у складі популяцій репрезентовано рослини розмірні вели-

чини яких відповідають 8–10 варіантам сполучення розмірних класів висоти та площі листової поверхні.

Найвищим рівнем IDSS (40% – 10 варіантів сполучення розмірних класів) вирізняється популяція із угруповання *Poetum (angustifoliae) alopecuroidesum (pratensis)* (рис. 1). Вона сформована із рослин I–IV класів за висотою та I–V класів за площею листків. Найбільшу частку (20,0%) складають рослини III класу за висотою та II класу за площею листків.

Високі значення IDSS (36,0% – дев'ять варіантів сполучення класів) зареєстровані в популяціях із угруповань *Festucetum (pratensis) poosum (pratensis)* та *Festucetum (pratensis) dactylosum (glomeratae)*. У першій із них наявні рослини IV–V, а у другій – I–III класів висоти. За величинами площі листової поверхні рослини обох популяцій відповідають I–V класам. В обох популяціях найбільша частка рослин певних сполучень розмірних класів досягає 20%. Однак, в популяції із першого угруповання переважають рослини висота яких відповідає V класу, а площа листової поверхні – IV, а у популяції із другого угруповання найбільшою є частка рослин II класу за висотою та I за площею (рис. 2).

У популяції *Sanguisorba officinalis* найменші показники IDSS (32,0% – 8 варіантів сполучення розмірних класів) притаманні популяціям із угруповань *Poetum (angustifoliae) festucosum (valesiaca)* та *Lysimachietum (vulgaris) variaherbosum alopecuroidesum (pratensis)*.

Тобто популяціям, які, відповідно, сформувалися у найсухіших та найвологіших місцезростаннях серед досліджених.

У першій із популяцій наявні рослини III–V класів висоти та II–V класів площі листової поверхні.

Найбільшою (20,0%) є частка рослин розмір яких відповідає IV класу як за висотою, так і за площею листків. Популяція із другого угруповання сформована із рослин I–III класів висоти та I–III класів площі листової поверхні. Найбільшою (по 20,0%) є частка рослин таких сполучень класів висоти та площі: I–I, II–II.

Отже, різноманітність розмірної структури (IDSS) популяцій *Sanguisorba officinalis* збільшується у наступній послідовності угруповань: *Poetum (angustifoliae) festucosum (valesiaca)*, *Lysimachietum (vulgaris) variaherbosum* (32,0%) → *Festucetum (pratensis) poosum (pratensis)*, *Festucetum (pratensis) dactylosum (glomeratae)* (36,0%) → *Poetum (angustifoliae) alopecuroidesum (pratensis)* (40,0%).

Головні висновки. Установлено, що розмірна структура популяцій *S. officinalis* є варіабельною та залежить від типу фітоценозу й інтенсивності антропогенного впливу. У складі популяцій *S. officinalis* представлені рослини, величини яких відповідають декільком (від 2 до 5) розмірним класам, що здебільшого формують континуальний ряд. Особливості розмірної структури популяцій проявляються через: а) відмінності у розподілі рослин за класами розмірності; б) відмінності у розподілі рослин за сполученнями різних пар класів; в) абсолютні величини індексу різноманітності розмірної структури (IDSS); г) розмах варіювання значень IDSS. Популяції досліджуваних видів чітко диференціюються за величинами абсолютних значень IDSS, за показниками їх варіювання, та, певною мірою, за сполученням цих показників.

Структурно-аналітичний підхід до оцінки розмірної структури є ефективним інструментом моніторингу стану популяцій лікарських рослин та може

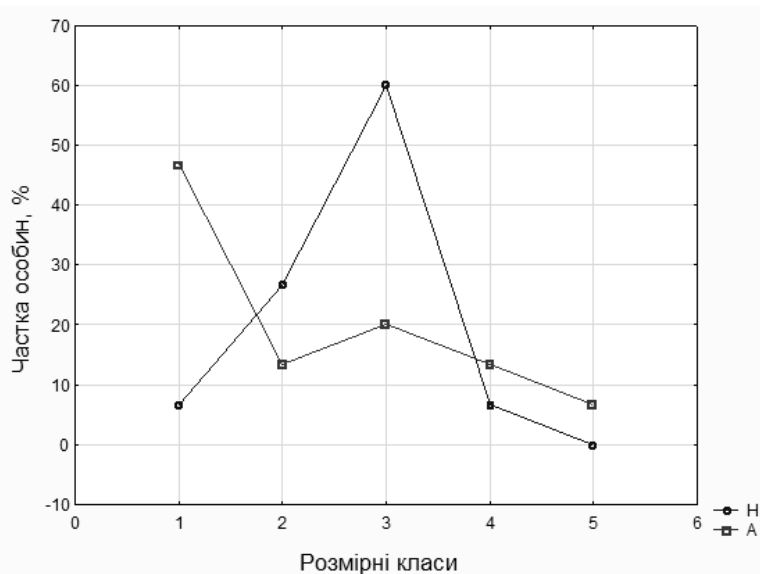


Рис. 1. Розмірні спектри популяції *Sanguisorba officinalis* в угрупованні *Poetum (angustifoliae) alopecuroidesum (pratensis)*

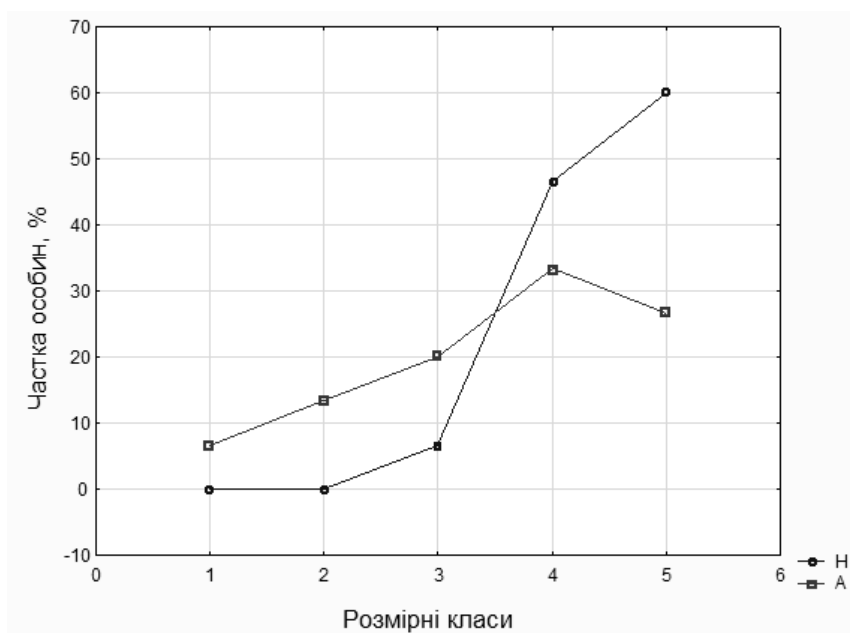


Рис. 2. Розмірні спектри популяції *Sanguisorba officinalis* в угрупованні *Festucetum (pratensis) poosum (pratensis)*

бути використаний для планування заходів із їх охорони.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення методів моніторингу стану популяцій лікарських рослин на лучних фітоценозах, зокрема через оцінку розмірної структури як діагностичного індикатора. Дані дослідження слугують основою для прогно-

зування динаміки популяцій *S. officinalis* за умов змін довкілля та господарського навантаження. Практичне значення роботи полягає у можливості розроблення науково обґрунтованих заходів щодо збереження і раціонального використання природних ресурсів виду. Результати дослідження мають міждисциплінарну цінність і можуть бути інтегровані у природоохоронні, ресурсознавчі та геоботанічні дослідження.

Література

1. Голубець М. А. Екосистемологія. Львів, 2000. 316 с.
2. Дубина Д. В., Дзюба Т. П., Ємельянова С. М. та ін. Рослинний світ України: різноманіття, збереження, охорона. Київ: Наукова думка, 2019. 784 с.
3. Заповідні скарби Сумщини / за ред. Т. Л. Андрієнко. Суми: Джерело, 2001. 208 с.
4. Злобін Ю. А., Скляр В. Г., Клименко Г. О. Біологія та екологія фітопопуляцій: монографія. Суми: Університетська книга, 2022. 512 с.
5. Злобін Ю. А., Скляр В. Г., Бондарева Л. М., Кирильчук К. С. Концепція морфометрії у сучасній ботаніці. *Чорноморський ботанічний журнал*. 2009. Т. 5, № 1. С. 5–22.
6. Зубцова І. В. Популяційний аналіз лікарських рослин заплавл річок Кролевецько-Глухівського геоботанічного району: дис. ... канд. біол. наук : 03.00.05. Київ, 2020. 485 с.
7. Зубцова І. В. Морфометричні показники популяцій *Saponaria officinalis* L. в умовах регіонального ландшафтного парку «Сеймський» (Сумська область, Україна). *Екологічні науки*. 2023. № 1 (46). С. 119–124.
8. Зубцова І. В., Скляр В. Г. Онтогенетична структура ценопопуляцій *Sanguisorba officinalis* L. *Вісник Запорізького національного університету*. 2016. № 2. С. 7–16.
9. Маринич О. М. та ін. Удосконалена схема фізико-географічного районування України. *Український географічний журнал*. 2003. № 1. С. 16–20.
10. Офіційні переліки регіонально рідкісних рослин адміністративних територій України / уклад.: Т. Л. Андрієнко, М. М. Перегрим. Київ: Альтерпрес, 2012. 148 с.
11. Скляр В. Г., Злобін Ю. А. Внутрішньопопуляційна структура та методика її вивчення у деревних лісоутворюючих видів. *Чорноморський ботанічний журнал*. 2013. Т. 9, № 3. С. 316–329.
12. Скляр В. Г. Розмірна структура підросту *Acer platanoides* L. у лісових фітоценозах Лівобережного Полісся України. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2015. Вип. 70. С. 138–143.
13. Скляр В. Г. Розмірні параметри та розмірна структура деревостанів дуба звичайного в лісах Новгород-Сіверського Полісся. *Популяційна екологія рослин: сучасний стан, точки росту: зб. матеріалів міжнар. інтернет-симпозіуму*. 2012. С. 219–229.

14. Шерстюк М. Ю., Попович С. Ю. Заповідні дендросоавтохтони Українського Полісся: монографія. Київ: ЦП Компрінт, 2018. 272 с.
15. Якубенко Б. Є., Григора І. М. Популяція і фітоценоз. Методи вивчення популяцій. Київ: НАУ, 2003. 35 с.
16. Якубенко Б. Є. та ін. Геоботаніка: методичні аспекти досліджень. Київ: Ліра-К, 2017. 368 с.
17. Gawron-Gzella A., Witkowska-Banaszczak E., Bylka W., Dudek-Makuch M., Odwrot A., Skrodzka N. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of *Sanguisorba officinalis* L. extracts. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2016. Vol. 50, № 4. P. 244–249.
18. Gaucherand S., Lavorel S. New method for assessment of the functional composition of herbaceous plant communities. *Austral Ecology*. 2007. Vol. 32. P. 927–936.
19. Harper J. L. Population Biology of Plants. London: Academic Press, 1977. 892 p.
20. Skliar V., Sherstuk M. Size structure of phytopopulations and its quantitative evaluation. *Eureka: Life Sciences*. 2016. No. 1. P. 9–15.
21. Skliar V. G. The dimensional characteristics of the middle undergrowth *Quercus robur* in forests of Novgorod-Sivers'k Polissia (Ukraine). *European Applied Sciences*. 2013. No. 7. P. 19–20.
22. Sun W., Zhang Z.-L., Liu X., та ін. Terpene glycosides from the roots of *Sanguisorba officinalis* L. and their hemostatic activities. *Molecules*. 2012. Vol. 17. P. 7629–7636.
23. Zubtsova I., Penkovska L., Skliar V. Dimensional features population of some species medicinal plants in conditions of northern Eastern Ukraine. *AgroLife Journal*. 2019. Vol. 8(2). P. 191–201.

ДИНАМІКА ЧИСЕЛЬНОСТІ ТА УПРАВЛІННЯ ПОПУЛЯЦІЄЮ ЛИСИЦІ ЗВИЧАЙНОЇ (*VULPES VULPES* L.) НА ТЕРИТОРІЇ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Кратюк О.Л., Климчук О.О., Весельський М.Ф.

Поліський національний університет

бульв. Старий, 7, 10008, м. Житомир

deneshi_ks@ukr.net

Розглянуто динаміку чисельності та основні підходи до управління популяцією лисиці звичайної (*Vulpes vulpes*) на території Житомирської області впродовж 1980-2023 рр. Вид є важливою складовою лісових біогеоценозів та агроландшафтів регіону, виконуючи значну екологічну функцію як хижака середнього трофічного рівня. Аналіз динаміки та показників регулювання чисельності популяції лисиці звичайної у розрізі основних користувачів мисливських угідь Житомирської області здійснено на основі державної статистичної звітності II-тп «Мисливство», архівних матеріалів та літературних джерел. Встановлено, що коливання чисельності популяції мають циклічний характер і залежать від комплексу природних і антропогенних чинників. За останні п'ятдесят років виділено два періоди в динаміці чисельності лисиці звичайної. Тривалість першого періоду становила 14 років (1980-1993 рр.). Від мінімального значення у 1980 р. (2400 ос.) за 5 років чисельність виду зросла майже у 2,0 рази до 4486 ос. (1985 р.), а наступне падіння тривало 8 років до 2960 ос. у 1993 р. Максимальний річний приріст чисельності становив +26,7%, а падіння – -14,0%. Друга хвиля тривала 22 роки (1994-2016 рр.). Чисельність зросла у 2,8 рази від мінімального значення 3068 ос. у 1995 р. до максимального – 8580 ос. у 2002 р. відбувся за 7 років, а падіння тривало 14 років до 3214 ос. у 2016 р. З 2017 року (3245 ос.) розпочався черговий ріст чисельності популяції лисиці звичайної, який значно пришвидшився з початком воєнного стану. Упродовж 1991-2021 рр. прослідковується тенденція щодо поступового збільшення частки добування лисиці звичайної, а у мисливські сезони 2014-2019 рр. обсяги добування виду перевищили облікову чисельність на 10-15%. Визначено, що ефективне управління популяцією повинно базуватися на екологічному моніторингу, адаптивному менеджменті та міжвідомчій співпраці державних установ, наукових організацій та користувачів мисливських угідь. Отримані результати можуть бути використані для розробки регіональних програм з охорони біорізноманіття та формування збалансованої екосистемної політики в умовах змін довкілля та соціально-економічної ситуації в країні. *Ключові слова:* лисиця звичайна, чисельність, динаміка популяції, управління популяцією, Житомирська область, *Vulpes vulpes*.

Number dynamics and population management of the red fox (*Vulpes vulpes* L.) on the territory of Zhytomyr region.
Kratyuk O., Klymchuk O., Veselskyi M.

The dynamics of population size and main approaches to management of the Red fox (*Vulpes vulpes*) population in Zhytomyr region from 1980 to 2023 have been considered. The species is an important component of forest biogeocenoses and agrolandscapes of the region, serving a significant ecological role as a medium trophic level predator. Analysis of population dynamics and regulation indicators has been conducted based on state statistical reports from the II-tp "Hunting" sector, archival materials, and literary sources. It has been established that population fluctuations exhibit cyclical patterns and depend on a complex of natural and anthropogenic factors. Over the last fifty years, two periods in the dynamics of Red fox population have been identified. The first period lasted 14 years (1980-1993). From its minimum value in 1980 (2,400 individuals), the population increased nearly 2.0 times to 4,486 individuals by 1985, followed by a decline over 8 years to 2,960 individuals in 1993. The maximum annual growth rate was +26.7%, and the decline was -14.0%. The second wave lasted 22 years (1994-2016). The population increased 2.8 times from a minimum of 3,068 individuals in 1995 to a maximum of 8,580 individuals in 2002 over 7 years, followed by a decline over 14 years to 3,214 individuals in 2016. Since 2017 (3,245 individuals), the population has been increasing again, significantly accelerated by the onset of military conflict. From 1991 to 2021, there has been a trend towards gradual increase in Red fox hunting rates, and during the hunting seasons of 2014-2019, hunting volumes exceeded the accounted population by 10-15%. Effective population management should be based on ecological monitoring, adaptive management, and interagency cooperation among governmental institutions, scientific organizations, and hunting land users. The results obtained can be used to develop regional biodiversity conservation programs and formulate balanced ecosystem policies in the face of environmental and socio-economic changes in the country. *Key words:* Red fox, number, population dynamics, population management, Zhytomyr region, *Vulpes vulpes*.

Постановка проблеми. Популяція лисиці звичайної (*Vulpes vulpes* Linnaeus, 1758) відіграє складну роль в біогеоценозах, демонструючи стійку здатність до процвітання, незважаючи на значні антропогенні зміни її середовища існування [1, 2]. Сільськогосподарська експансія, інтенсифікація лісового господарства та урбанізація ландшафтів не призвели до значного скорочення чисельності виду та фрагментації ареалу, навпаки, ці зміни

завдяки винятковій екологічній пластичності. Популяція регулюється поєднанням низки чинників, таких як доступність їжі, рівень хижацтва, епізоотичною ситуацією, а також внутрішніми механізмами, включаючи репродуктивні стратегії, зміну популяційної структури та територіальної поведінки виду. Взаємодія між цими чинниками сприяє мінливості чисельності та структури попу-

ляції у часі та просторі. Більше того, адаптивна поведінка виду, зокрема його еврибіонтні харчові звички та високий репродуктивний потенціал, дозволяє лисиці звичайній одній з перших освоювати широкий спектр екологічних ніш, що часто призводить до збільшення щільності популяції у зміненому людиною природному середовищі [3]. Стало очевидним, що проста відміна лімітів на добування тварин є недостатнім заходом для стабілізації ситуації [4], а пошук моделей управління популяцією лисиці звичайної наразі стає ключовим завданням сучасного мисливського господарства та менеджменту природних оселищ.

Актуальність досліджень. Повномасштабна агресія рф проти України залишає пособи катастрофічні зміни природного середовища, ступінь яких нам ще доведеться належним чином оцінити [5-7]. Мисливське господарство у повній мірі відчуло наслідки воєнного стану. Заборона полювання, як вимушений крок, неоднозначно вплинула на мисливські ресурси. Значно зросла чисельність не тільки мисливської фауни, а і хижаків. Уже стало звичним повідомлення про блукаючих лисів у великих містах – Києві, Львові, Дніпрі. Неможливість управління популяціями шляхом регулювання чисельності, як основних мисливських видів (кабана дикого (*Sus scrofa* Linnaeus, 1758), козулі європейської (*Capreolus capreolus* Linnaeus, 1758), оленя лісового (*Cervus elaphus* Linnaeus, 1758), так і небажаних в угіддях вовка (*Canis lupus* Linnaeus, 1758), шакал азійський (*Canis aureus* Linnaeus, 1758), лисиці звичайної призвело до катастрофічного погіршення санітарно-епізоотичної ситуації в країні [8].

Згідно інформації Держпродспоживслужби, кількість випадків діагностування сказу (*Rabies virus*) серед тварин від початку повномасштабної агресії росії продовжує неухильно збільшуватися. На підконтрольній Україні території кількість зафіксованих випадків сказу зросла з 469 у 2022 році до 1214 у 2024, а кількість звернень до закладів охорони здоров'я через покуси чи обсілення тваринами хворими на сказ за аналогічний період збільшилася з 850 осіб до 2507. Фахівці вважають, що це стало можливим через різке зростання кількості хижаків, особливо лисиці звичайної, регулювання якої було заборонено більшістю ОВА з 2022 року.

З огляду на суперечливість мисливсько-господарського та екологічного поглядів, щодо значення популяції лисиці звичайної в біогеоценозах вона виступає цінним об'єктом для комплексного вивчення, як у природоохоронній сфері, так і в мисливському господарстві [9]. Таким чином, поєднуючи екологічне моделювання динаміки чисельності з реальними даними про демографію виду, темпи розмноження та смертності, ми прагнемо поглибити наше розуміння адаптивних реакцій виду та сприяти розробці більш точних, екологічно обґрунтованих та мисливсько виважених стратегій управління популяції.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Наші дослідження пов'язані безпосередньо із проблемою регулювання чисельності популяції лисиці звичайної на території нашої держави, яка особливо гостро постала у 2022 році, тобто від початку повномасштабної агресії росії проти України. Інтегруючи екологічні знання з емпіричними даними стосовно просторово-часової структури популяції, ми прагнемо поглибити наше розуміння адаптивних реакцій виду та сприяти розробці більш точних, екологічно обґрунтованих та соціально прийнятних стратегій управління. Дослідження проводили на базі факультету лісового господарства та екології Поліського національного університету. Основну частину матеріалу зібрано у рамках НДР кафедри експлуатації лісових ресурсів «Мисливствознавство, захист лісу та вирощування стійких насаджень в умовах Житомирщини з використанням засобів механізації лісгосподарських робіт» упродовж 2016-2022 рр. (№ держреєстрації: 0115U006735).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Унікальність популяції лисиці звичайної зумовлює, що науковий інтерес навколо цього виду не вщухає, а, навпаки, – поглиблюються традиційні та відкриваються все нові напрямки для дослідження. Огляд вітчизняної літератури показує зосередженість науковців на наступних питаннях функціонування популяції лисиці звичайної, таких як: регіональні огляди динаміки чисельності та стану популяції [4, 10-13], характеристики екологічної ніші виду та її взаємодія з іншими компонентами біоценозів, особливо у системі «хижак-жертва» [14-18]; особливостям раціону [19-21]; впливу антропогенної діяльності та трансформації середовища на популяцію [22-24]; місці і значенні лисиці у поширенні епізоотій [25-31].

Одним з наріжних каменів дискусій у науковій літературі є питання господарського значення, просторово-часової динаміки та механізмів регулювання та прогнозування чисельності лисиці звичайної, погляд на які постійно змінювався упродовж останніх ста років. Так, Мигулін О.О. [32] у 30-х роках ХХ століття вважав, що ріст поголів'я лисиці залежить передусім від умов зимівлі та харчування мишоподібними гризунами у осінньо-зимовий період. Збільшення чисельності лисиці звичайної зафіксовано після масових розмножень гризунів у 2023 та 2024 рр. Він зазначав, що саме захворювання є тим негативним чинником, який при наявності інших сприятливих умов сповільнює збільшення чисельності виду на певній території. Визнаючи, що лисиця звичайна може завдавати значної шкоди мисливському господарству, яке орієнтується на розведені куріпки сірої (*Perdix perdix* Linnaeus, 1758), фазана (*Phasianus colchicus* Linnaeus, 1758) чи зайця сірого (*Lepus europeus* Pallas, 1778), робить загальний висновок, що лисицю ні в якому разі не можна вважати за шкідника, оскільки таких спе-

ціалізованих мисливських господарств в Україні небагато. Згодом, на початку 60-х років, подібної думки дотримувався і Сокур І.Т. [33]. Він вважав, що не можна не враховувати позитивної ролі популяції лисиці, як винищувача шкідливих гризунів, так і не вбачав доцільності у повсюдному знищенні виду, окрім мисливських господарств, зелених зон, околиць птахоферм. Оцінити загальну чисельність лисиці звичайної на території України упродовж 1924-1941 та 1944-1958 рр. можна за об'ємами заготовів шкурок. У довоєнний період показники коливалися від 22,3 до 108,6 тис. шт., у післявоєнний – від 46,0 до 134,9 тис. шт. [34]. Для порівняння – упродовж 1983-2008 рр. обсяги добування лисиці становили від 8,3 тис. ос. (1983 р.) до 74,3 тис. ос. (2007 р.). У середньому це становило 37,0 тис. ос. на рік. Чисельність популяції лисиці звичайної у цей період змінювалася хвилюподібно. Мінімальні показники чисельності зафіксовані у 1985 р. (66,7 тис. ос.), а максимальні – у 1999 р. (126,9 тис. ос.), що в середньому становило 96,8 тис. ос. [35]. З 2000 року (116,3 тис. ос.) починається поступове скорочення популяції лисиці звичайної, яка уже у 2020 році складала лише 48,5 тис. ос. [36]. Слід також визнати, що за винятком окремих публікацій [37, 38], які значно розірвані у часі та просторі, цілеспрямованого аналізу динаміки чисельності, величини добування та управління популяціями лисиці звичайної на території Житомирської області наразі не здійснено, а тим більше у контексті наслідків дії режиму воєнного стану в Україні.

Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Незважаючи на екологічну важливість та широкий палеоарктичний ареал лисиці звичайної [39], деякі критичні аспекти функціонування її популяції в мисливських угіддях залишаються недостатньо вивченими. Ці прогалини в знаннях перешкоджають розробці ефективних екологічних моделей управління адаптованих до трансформованих природних оселищ. Хоча загальні закономірності зростання та скорочення чисельності лисиці задокументовані досить чітко, конкретні механізми, за допомогою яких мінливість навколишнього середовища, антропогенне навантаження та міжвидові взаємодії регулюють чисельність популяції в мисливських угіддях, залишаються незрозумілими. Також не у повній мірі охарактеризована просторова поведінка виду у фрагментованих біотопах. Ці чинники суттєво впливають на щільність елементарних популяцій популяції, проте не часто беруться до уваги в сучасних популяційних моделях, що використовуються в управлінні мисливськими територіями. Крім того, у багатьох мисливських господарствах відсутні довгострокові стандартизовані програми моніторингу, що призводить до непослідовності та фрагментарності даних. Це перешкоджає порівнянню інформації, оцінці ефективності управління та вияв-

ленню екологічних порогів або критичних точок. Зазначений перелік питань, завдяки використанню детальних даних про стан елементарних популяцій лисиці звичайної та їхніх екологічних функцій в природних оселищах виглядає перспективним для формування стратегії регулювання чисельності виду. Майбутні дослідження мають бути спрямовані на заповнення цих прогалин для розробки більш адаптивних та екологічно обґрунтованих стратегій управління популяцією лисиці звичайної.

Новизна. Для території Житомирської області вперше проведено аналіз динаміки чисельності, стану та особливостей управління популяції лисиці звичайної за останні пів століття. Наголошено на доцільності регулювання чисельності популяції виду в мисливських угіддях.

Метою роботи є вивчення чинників просторово-часової динаміки та особливостей управління популяції лисиці звичайної на території Житомирської області загалом та окремих користувачів мисливських угідь зокрема.

Методологічне або загальнонаукове значення. Результати нашого дослідження є основою для оцінки біологічного та ресурсного потенціалу популяції лисиці звичайної на території Житомирської області. Отримані дані допоможуть сформулювати науково обґрунтовані рекомендації щодо раннього виявлення екологічних наслідків, які виникають внаслідок діяльності виду. Такі діагностичні інструменти особливо цінні для пом'якшення потенційних конфліктів, де діяльність лисиці може призвести до соціальної напруги, економічних втрат або екосистемного дисбалансу. Екосистемний підхід до управління буде важливим для вирішення проблем, пов'язаних зі зростанням популяції лисиці звичайної у регіонах, що зазнають швидких екологічних та соціально-економічних змін, особливо в умовах воєнного стану.

Окрім безпосереднього застосування в управлінні, ці результати підкреслюють значно ширшу потребу в розумінні функціональної ролі мезохижаків у трансформованих людиною екосистемах. Це також стосується інтеграції біологічного виду з чинниками довкілля, які складають його специфічне середовище існування, що призводить до створення особливого екологічного контексту, сформованого особливими когнітивними та перцептивними характеристиками виду [40]. Як пластичний та, зазвичай, синантропний вид, елементарні популяції лисиці звичайної все частіше є рушіями формування місцевих трофічних мереж та безпосередньо впливають на структуру біорізноманіття. Визнання їхньої комплексної ролі має вирішальне значення для розробки стратегії сталого розвитку територій, які підтримують як збереження біорізноманіття, так і стале використання мисливських ресурсів.

Викладення основного матеріалу. Об'єкт дослідження – процес зміни чисельності та особливості управління популяції лисиці звичайної на території

Житомирської області. *Предмет дослідження* – закономірності просторово-часової динаміки популяції лисиці звичайної на території Житомирської області.

Аналіз динаміки та показників регулювання чисельності популяції лисиці звичайної у розрізі основних користувачів мисливських угідь Житомирської області здійснено на основі матеріалів державної статистичної звітності II-тп «Мисливство» за 1999-2024 роки, проектів організації і розвитку мисливських господарств регіону, а також архівних матеріалів та літературних джерел.

На території Житомирської області зосереджено у середньому 6,0% української популяції лисиці звичайної. Динаміка чисельності виду в мисливських угіддях регіону відображає загальні тенденції функціонування виду в Україні, що є результатом складних взаємодій соціально-політичних, економічних, екологічних та природних чинників.

З початку 80-х років XX століття можна виокремити дві чітко виражені хвилі в динаміці чисельності лисиці звичайної на території Житомирської області: перша – 1980-1993 рр., друга – 1994-2016 рр. та початок третьої – 2017-2024 рр. (табл. 1). Перша хвиля тривала 14 років. Ріст чисельності майже у 2,0 рази від мінімального значення (2400 ос. у 1980 р.) до максимального (4486 ос. у 1985 р.) відбувся за 5 років, а падіння тривало 8 років до 2960 ос. у 1993 р. Максимальний приріст чисельності за один рік становив +26,7%, а падіння – -14,0%. Друга хвиля тривала 22 роки. Ріст чисельності у 2,8 рази від мінімального значення (3068 ос. у 1995 р.) до максимального (8580 ос. у 2002 р.) відбувся за 7 років, а падіння тривало 14 років до 3214 ос. у 2016 р. Період скорочення популяції характеризується, як мінімум, ще двома різкими стрибками чисельності виду з піками у 2008 р. (7470 ос.) та 2011 р. (6222 ос.) та мінімальними значеннями у 2004 р. (5508 ос.) та 2009 р. (5239 ос.), де максимальний приріст чисельності за один рік міг становити +36,9%, а падіння – -29,9%. З 2017 року (3245 ос.) розпочався черговий ріст чисельності популяції лисиці звичайної, який значно пришвидшився з початком воєнного стану. За свідченнями лісової охорони, у 2024 році її чисельність на територіях Житомирської області значно зросла і становила щонайменше 4500 ос. і це за умови, що обліками були охоплені далеко не всі мисливські угіддя регіону.

На території мисливських угідь полювання виступає як ключовий механізм контролю популяцій лисиці звичайної, який підтримує чисельність виду в економічно обґрунтованих межах і водночас зменшує ризик передачі зоонозів, серед яких найбільше занепокоєння наразі викликає збільшення випадків захворювання на сказ. Упродовж 1991-2021 рр. прослідковується тенденція щодо поступового збільшення частки добування лисиці від загальної її чисельності у області. Якщо у 1991 р. добуто 978 ос., або 28,6% чисельності популяції, то у 2012 р. добуто

уже 96,9% облікованої кількості тварин. Ба більше, протягом мисливських сезонів 2014-2019 рр. обсяги добування лисиці перевищили облікову чисельність на 10-15%. Це може свідчити про значний недооблік чисельності популяції.

Упродовж останніх 20 років кількість мисливських господарств (користувачів мисливських угідь) на території Житомирської області зросла з 46 у 2004 році до 98 у 2024 році, головним чином за рахунок приватних структур (76 підприємств і організацій, переважно ТОВ та ГО). Загалом збільшення загальної кількості користувачів мисливських угідь за рахунок приватних мисливських господарств ускладнило моніторинг популяції лисиці звичайної у регіоні. Така «мозаїчність» мисливських підприємств погіршила якість проведення облікових робіт. З однієї сторони став характерним недооблік певної чисельності популяції. Про це опосередковано може свідчити той факт, що починаючи з 2008 року, періоду початку активного створення нових приватних мисливських господарств (у 2008 р. їх існувало 13; у 2009 р. – 31; у 2010 р. – 45; у 2012 р. – 53), відсоток добування лисиці звичайної, став неухильно зростати діставшись позначки у 115,2%!!! у 2019 році. Створення нових мисливських господарств відбувалося в основному за рахунок мисливських угідь УТМР. У період 2008-2010 рр. площа наданих у користування УТМР мисливських угідь скоротилася з 1478,9 тис. га до 1043,7 тис. га (у 2009 р. площа становила 612,6 тис. га), а відповідно впала і чисельність облікованої популяції лисиці звичайної з 6059 ос. (2008 р.) до 3189 ос. (2009 р.), проте це практично не відобразилося на рості чисельності виду у приватних господарствах, де ріст склав лише 554 ос.: з 444 ос. до 998 ос. (рис. 1). Отже, тренди зміни чисельності частково залежать не лише від комплексу природних чинників, а є наслідком банального перерозподілу площі мисливських угідь між користувачами, що відображається на статистичних даних інших представників мисливської фауни [44]. З іншої сторони, зважаючи на мобільність популяції лисиці під час обліків притаманним став подвійний, а то і потрійний облік тварин. Найбільш проблемними у цьому сенсі, на нашу думку, є господарства площею до 5000 га, яких станом на тепер є 34.

Наразі основними користувачами мисливських угідь є надлісництва Філії «Столичний лісовий офіс» ДП «Ліси України» (295704,1 га), Житомирська УТМР (1081520,0 га) та інші підприємства (765331,0 га), які різняться між собою особливостями організації ведення мисливського господарства. У розрізі цих груп користувачів зміна чисельності лисиці звичайної у період 2004-2023 рр. має характерні особливості. Спостерігається поступове скорочення популяції лисиці звичайної на території лісів державного фонду з одночасним незначним ростом кількості тварин у межах приватних мисливських структур. За період спостереження (2004-2023 рр.)

Таблиця 1

Динаміка чисельності та показники добування популяції лисиці звичайної на території
Житомирської області (Довідник ... [41], Еколого-економічні ... [42],
ІІ-ти «Мисливство» (1999-2023), Мисливствознавство [43])

Рік	Чисельність, ос	Приріст популяції ($\pm$), %	Частка від української популяції, %	Добування, ос	% добування
1980	2400	...			
1981	2912	21,3			
1982	3300	13,3			
1983	3294	-0,2	4,4		
1984	4172	26,7	6,1		
1985	4486	7,5	6,7		
1986	3856	-14,0	5,6		
1987	3888	0,8	5,3		
1988	3601	-7,4	4,7		
1989	3290	-8,6	4,2		
1990	3130	-4,9	4,0		
1991	3422	9,3	4,1	978	28,6
1992	3423	0,0	4,4		
1993	2960	-13,5	3,8		
1994	3438	16,1	4,3		
1995	3068	-10,8	3,5		
1996	3803	24,0	4,0		
1997	3857	1,4	3,7		
1998	4678	21,3	3,9		
1999	6403	36,9	5,0	2996	46,8
2000	6528	2,0	5,6	2903	44,5
2001	6537	0,1	6,1	2992	45,8
2002	8580	31,3	8,2	3028	35,3
2003	6504	-24,2	7,4	2910	44,7
2004	5508	-15,3	6,5	2993	54,3
2005	6033	9,5	6,9	3642	60,4
2006	7044	16,8	8,2	4564	64,8
2007	6832	-3,0	8,5	3721	54,5
2008	7470	9,3	9,6	4105	55,0
2009	5239	-29,9	7,0	2193	41,9
2010	6181	18,0	7,8	5507	89,1
2011	6222	0,7	8,1	4981	80,1
2012	4968	-20,2	6,6	4813	96,9
2013	5066	2,0	7,4	4195	82,8
2014	4015	-20,7	6,7	4055	101,0
2015	3830	-4,6	6,7	4287	111,9
2016	3214	-16,1	6,0	3612	112,4
2017	3245	1,0	5,8	3605	111,1
2018	3416	5,3	6,8	3902	114,2
2019	3505	2,6	7,2	4039	115,2
2020	3518	0,4	7,1	3225	91,7
2021	3337	-5,1		2931	87,8
2022	3358	0,6		1258	37,5
2023	3756	11,9		386	10,3

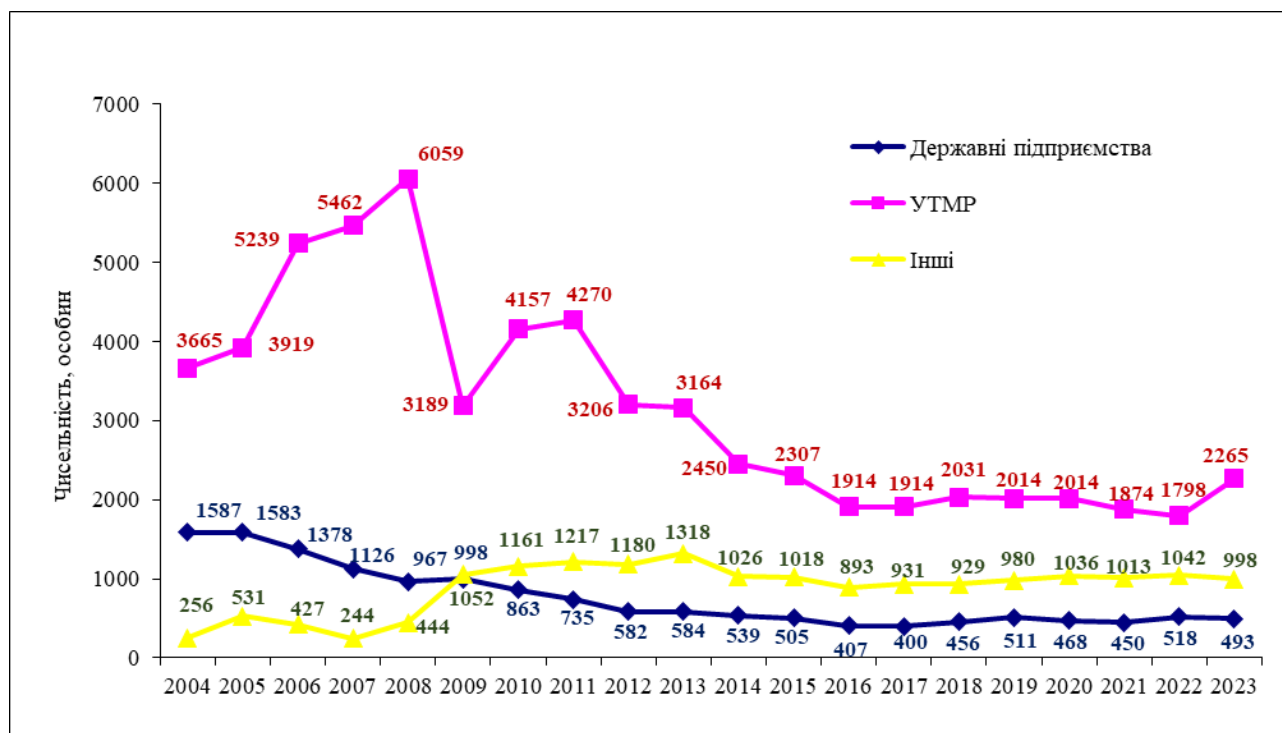


Рис. 1. Динаміка чисельності лисиці звичайної на території основних користувачів мисливських угідь Житомирської області

чисельність популяції у межах мисливських угідь ДП «Ліси України» скоротилася з 1587 ос. до 493 ос. Натомість, спостерігається незначний ріст чисельності популяції на території приватних мисливських господарств: з 256 ос. до 998 ос. за аналогічний період, хоча з 2009 року вона знаходиться на рівні 1000 ос. Загальна тенденція до скорочення чисельності лисиці звичайної притаманна і для території мисливських угідь УТМР, незважаючи на швидкі темпи росту популяції у 2004-2008 рр. (з 3665 ос. до 6059 ос.), у наступні роки вона лише скорочувалася. Що цікаво, під час воєнного стану, результати обліків 2023 та 2024 років, засвідчили не зростання чисельності виду, а навпаки його скорочення у межах як приватних, так і державних мисливських господарств на протигагу мисливським організаціям УТМР (див. рис. 1).

Щодо популяції лисиці звичайної важливо володіти інформацією не лише про динаміку чисельності виду, а і володіти даними про частку щорічного вилучення особин. Як із чисельністю, частка вилучення популяції у груп користувачів мисливських угідь різна. Розглянемо особливості кожної з них окремо. Характерною особливістю ведення мисливського господарства в угіддях УТМР є високий відсоток добутої дичини (лисиці звичайної) у порівнянні з загальною чисельністю по господарствах, середнє значення якого за 2004-2021 рр. становить 98,0%. Упродовж 2014-2021 рр. добування лисиці перевищувало облікові дані чисельності популяції (макси-

мальний показник становив 152,8%!!! у 2019 році). Це пояснюється тим, що мисливські угіддя організацій УТМР найбільш придатними для функціонування популяції лисиці звичайної. Тут концентрується значна частка популяції лисиці, оскільки найбільш вдало поєднані лісові та польові біотопи, а також селітебні території. Останні два роки добування лисиці проводили на обмеженій території за спеціальними дозволами ОВА, тому показники впали до 105 особин у 2023 році (рис. 2). У січні-лютому 2025 року за дозволами на проведення регулювання чисельності хижих тварин на території мисливських угідь Житомирської обласної організації УТМР було добуто 155 особин лисиці.

Ріст абсолютних показників добування лисиці звичайної у приватних мисливських господарствах Житомирської області до 2012 року пов'язаний з ростом кількості самих господарств та зростанні площі мисливських угідь переданих у користування. У наступні роки показники добування лисиці потроху падають, за умови, що чисельність виду знаходиться на стабільному рівні у межах 1000 особин.

Не беручи до уваги останні роки (2022-2023 рр.), чисельність добутої лисиці впала з 1077 ос. у 2012 р. (1180 ос. обліковано) до 630 ос. у 2021 році (обліковано 1013 ос.), а середній відсоток вилучення становить 75,3% (рис. 3).

Державні підприємства філії «Столичний лісовий офіс» щорічно вилучають з популяції 40-60% облікованої популяції лисиці (середнє значення 53,3%).

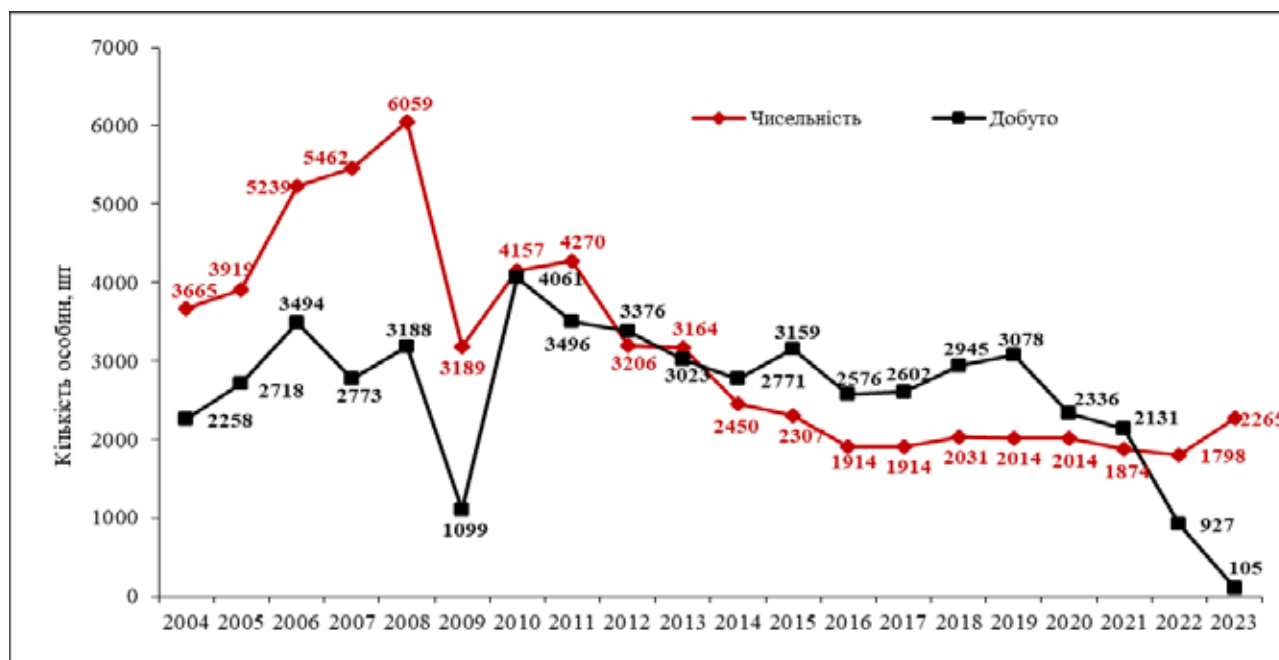


Рис. 2. Динаміка чисельності та показники добування популяції лисиці звичайної на території мисливських угідь Житомирської обласної організації УТМР

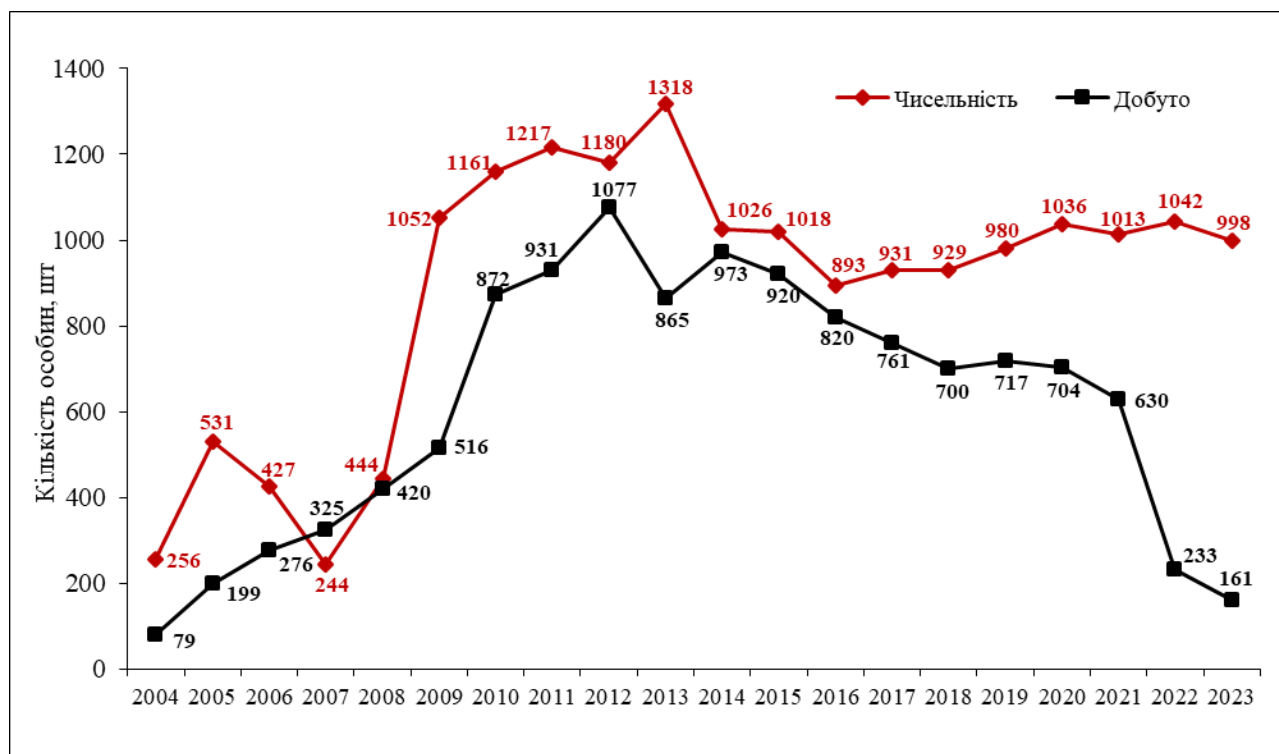


Рис. 3. Динаміка чисельності та показники добування популяції лисиці звичайної на території приватних мисливських господарств Житомирської області

Чисельність добутої лисиці впала з 794 ос. у 2006 р. (1378 ос. обліковано) до 170 ос. у 2021 році (обліковано 450 ос.) (рис. 4).

Підсумовуючи, можна констатувати, що чисельність популяції лисиці звичайної у мисливських

угіддях користувачів різної форми власності знаходиться під різним ступенем мисливсько-господарського тиску. Наразі полювання виступає ключовим інструментом управління популяціями лисиці, особливо коли воно інтегроване в комплексний план

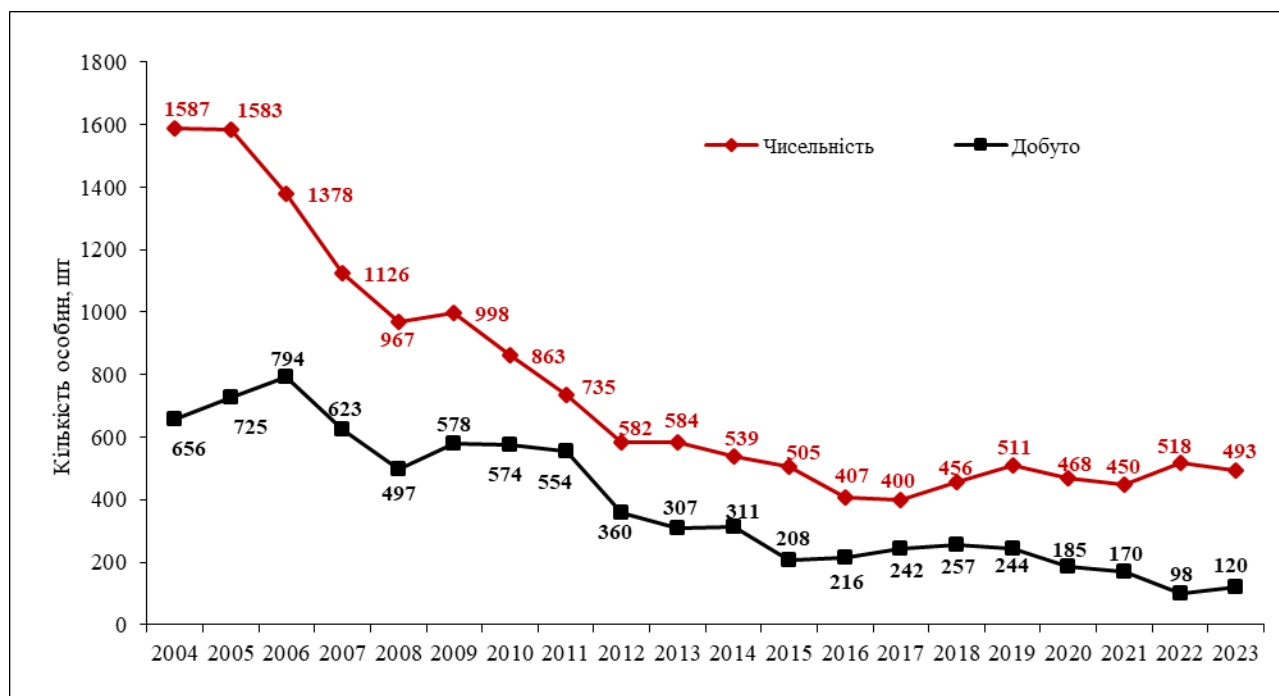


Рис. 4. Динаміка чисельності та показники добування популяції лисиці звичайної на території мисливських угідь філії «Столичний лісовий офіс» у межах Житомирської області

управління дикою природою. За умови відповідального підходу до полювання та у поєднанні з іншими методами управління, воно може допомогти досягти ефективного контролю над популяцією.

Головні висновки. Популяція лисиці звичайної у Житомирській області демонструє високу екологічну пластичність, що дозволяє їй адаптуватися до різноманітних умов існування, включно з антропогенно зміненими ландшафтами. Аналіз динаміки чисельності виду за період 1980-2023 рр. виявив нерівномірний характер просторово-часового розподілу популяцій серед мисливських господарств з різним рівнем організації ведення мисливського господарства. Особливої уваги потребує управління популяцією виду, з огляду на його важливу екосистемну роль, як регулятора чисельності дрібних гризунів та як носія зоонозів, зокрема сказу. У сучасному інформаційному просторі необхідно формувати об'єктивну думку про стратегії співіснування з елементарними популяціями лисиці звичайної, сприяти розумінню екологічної ролі виду та зменшити негативне ставлення до проблеми регулювання чисельності популяції. Необхідно готувати підґрунтя у свідомості громадськості про необхідність застосування контрольованих методів управління популяцією, у першу чергу полювання, як найбільш дієвого способу контролю за популяцією лисиці звичайної, підкреслюючи, що такі заходи проводяться з дотри-

манням етичних норм та ґрунтуються на надійних наукових даних.

Перспективи використання результатів дослідження. Подальші дослідження популяції лисиці звичайної у Житомирській області можуть бути спрямовані на поглиблений аналіз впливу конкретних екологічних і антропогенних чинників на чисельність та просторову структуру виду. Зокрема, доцільним є проведення систематичного моніторингу популяції із застосуванням сучасних методів дистанційного спостереження, ГС-технологій та фотопасток, що дозволить отримати більш точні та актуальні дані про поширення, динаміку та щільність популяції.

Окрему увагу варто приділити міжвидовим взаємодіям та впливу лисиці на популяції інших представників фауни, особливо мисливських видів і дрібних ссавців, що мають важливе екологічне та господарське значення. Перспективним є також міждисциплінарний підхід із залученням фахівців ветеринарної медицини для оцінки ролі виду як резервуара зоонозних захворювань у контексті епідеміологічної безпеки регіону в умовах воєнного стану. Отримані результати можуть лягти в основу науково обґрунтованих стратегій управління популяцією, що враховують як екологічні, так і соціальні аспекти сталого використання природних ресурсів регіону.

Література

1. Лебедева Н.І. Лисиця звичайна (*Vulpes vulpes* L., 1758) в умовах Нижнього Подніпров'я (морфологія, екологія, практичне значення): автор. дис... канд. біол. наук: 03.00.08. Запоріжжя, 2003. 20 с.
2. Лушак М.М., Делеган І.І., Делеган І.В. Оцінка біоценотичного значення лиса звичайного в Карпатах. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2011. Вип. 21.4. С. 68–77.
3. Новицький В.П. Мисливські ресурси агроландшафтів України: стан та проблематика управління (на прикладі лісостепо-вої зони): монографія. Київ: УкрДГРІ, 2020. 221 с.
4. Новицький В.П., Маціборук П.В., Міняйло А.А., Грищенко С.М. Динаміка чисельності та стан ресурсів лисиці звичайної (*Vulpes vulpes* L.) у Лісостепу України. *Збалансоване природокористування*. 2017. № 1. С. 75–78.
5. Ковтун Д. Концепція екосистемних послуг та формування правових засад монетизації послуг, що надаються лісовими екосистемами, в умовах збройної агресії російської федерації проти України. *Юридичний вісник*. 2024. № 4. С. 225–234.
6. Методика визначення шкоди та збитків, заподіяних лісовому фонду внаслідок збройної агресії Російської Федерації. Затверджено наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 5 жовтня 2022 року № 414. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1308-22#Text>
7. Порядок визначення шкоди та збитків, завданих Україні внаслідок збройної агресії Російської Федерації. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 20 березня 2022 року № 326. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/326-2022-%D0%BF/print>
8. Громяк І. Дикі тварини йдуть в українські міста. Як це пов'язано з війною і полюванням? BBC NEWS Україна. URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/articles/c973p944g7eo>
9. Роженко М.В. Хижі ссавці Північно-Західного Причорномор'я (фауна, динаміка чисельності, морфологія). Автореф. дисер. канд. біол. наук. Ін-т зоології НАН України. Київ. 2006. 22 с.
10. Лушак М.М., Делеган І.В., Гунчак М.С. Лис звичайний (*Vulpes vulpes* Linnaeus, 1758) в Карпатах. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2006. Вип. 16.5. С. 38–41.
11. Лушак М.М., Делеган І.В. Динаміка чисельності лиса у Карпатах і основні чинники, що її визначають. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2006. Вип. 16.6. С. 8–11.
12. Роженко М.В. Деякі результати дослідження екології лисиці звичайної у Причорномор'ї. *Вісник Львівського національного університету. Серія біологічна*. 2002. № 30. С. 84–89.
13. Томах О.О. Лебедева, Н.І. Динаміка чисельності лисиці звичайної (*Vulpes vulpes* L., 1758) Запорізької області та фактори, що її зумовлюють. *Вісник Запорізького національного університету. Біологічні науки*. 2016. Вип. 2. С. 52–57.
14. Домніч В.І., Делеган І.В., Вязовська А.Г., Домніч А.В., Вовченко В.Ю. Динаміка зміни чисельності лисиці та зайця в системі «хижак–жертва». *Наук. Вісник Ужгородського університету. Серія біологічна*. 2011. Вип. 30. С. 64–81.
15. Новицький В.П., Ландін В.П., Маціборук П.В. Вплив лисиці звичайної на чисельність мисливської фауни агроландшафтів Лісостепу України. *Агроекологічний журнал*. 2015. № 3. С. 119–123.
16. Новицький В.П., Міняйло А.А., Грищенко С.М., Дражевський В.В. Лисиця звичайна (*Vulpes vulpes* L.): Екологічні аспекти існування виду в Лісостепу України. *Збалансоване природокористування*. 2017. № 2. С. 68–72.
17. Павленко А.В. Динаміка чисельності популяцій диких тварин економічно цінних видів у відносинах «хижак–жертва» (на прикладі Чернігівської області). *Біоресурси і природокористування*. 2016. Вип. 8(1-2). С. 101–108.
18. Роженко М.В. Конкурентні взаємовідносини єнотового собаки і лисиці у пониззі Дністра. *Вісник Луганського педагогічного університету. Біологічні науки*. 2002. № 1 (45). С. 184–186.
19. Лебедева Н.І. Трофічні зв'язки лисиці звичайної (*Vulpes vulpes*) Нижнього Подніпров'я. *Питання біоіндикації та екології*. 2000. Вип. 5. № 2. С. 120–129.
20. Martsiv M., Syrota Y., Dykyu I. Diet composition of the red fox, *Vulpes vulpes* Linnaeus, 1758 (Canidae, Carnivora) in Western Ukraine. *Acta Biologica Universitatis Daugavpiliensis*. 2021. 21 (1). P. 71–81.
21. Martsiv M., Dykyu I. Seasonal features of the diet of predatory mammals in the western regions of Ukraine. *Theriologia Ukrainica*. 2023. Vol. 25. P. 203–212.
22. Лебедева Н.І., Домніч В.І. Фактори, які обумовлюють динаміку чисельності лисиці звичайної (*Vulpes vulpes* L., 1758) у Нижньому Подніпров'ї. *Вісник Запорізького державного університету*. 2001. № 1. С. 178–186.
23. Лебедева Н.І. Залежність біотопічного розподілу лисиці звичайної (*Vulpes vulpes* L., 1758) у нижньому Подніпров'ї від ступеню антропогенного тиску. *Вісник Запорізького державного університету*. 2007. № 1. С. 117–121.
24. Марців М.В. Живлення хижих ссавців в умовах антропогенно трансформованого середовища Заходу України. Дисер. доктора філософії. Львівський національний університет. Львів. 2023. 181 с.
25. Авраменко Н.О., Омельченко Г.О., Петренко М.О. Динамічні тенденції стану популяції вовка та лисиці й випадків сказу на території Полтавської і Сумської областей України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2020. № 2. С. 216–224.
26. Голік М.О., Недосеков В.В., Полупан І.М. Роль червоної лисиці в епізоотії сказу на території Чернігівської області. *Ветеринарна біотехнологія*. 2016. Вип. 29. С. 83–92.
27. Лебедева Н.І. Лисиця звичайна (*Vulpes vulpes* L., 1758) як джерело сказу в Запорізькій області. *Питання біоіндикації та екології*. 2001. Вип. 6. № 1. С. 97–103.
28. Люлін П.В., Федорова Е.В. Епізоотична ситуація щодо аляріозу лисиць (*Vulpes vulpes*) у Харківській області. *Проблеми зооінженерії та ветеринарної медицини*. 2017. Вип. 2 (2). С. 68–71.
29. Маковська І.Ф. Новітні підходи до аналізу епізоотичної ситуації зі сказу в Україні. *Біологія тварин*. 2020. Т. 22. № 1. С. 31–35.
30. Makovska I.F., Nedosekov V.V., Kornienko L.Ye., Novokhatny Yu.O., Nebogatkin I.V., Yustyniuk V.Ye. Retrospective study of rabies epidemiology in Ukraine (1950–2019). *Theoretical and Applied Veterinary Medicine*. 2020. T.8. № 1. P. 36–49.

31. Мартиненко Г.А. Сказ та його проблематика на Дніпропетровщині (Україна, 2023 рік). *Ветеринарна медицина*. 2024. Вип. 110. С. 100–107.
32. Мигулін О.О. Звірі УРСР. Київ: АН УРСР, 1938. 426 с.
33. Сокур І.Т. Історичні зміни та використання фауни ссавців України. Київ: АН УРСР, 1961. 86 с.
34. Сокур І.Т. Ссавці фауни України і їх господарське значення. Київ: Радянська школа, 1960. 212 с.
35. Домніч В.І., В'язовська А.Г., Домніч А.В., Делеган І.В. Динаміка чисельності популяції лисиці в Україні. *Науковий вісник УкрДЛТУ України*. 2010. Вип. 20.14. С. 22–32.
36. Статистичний щорічник України за 2021 рік. Київ: Державна служба статистики України, 2022. 446 с.
37. Гузій А.І., Власюк В.П., Захожий Ю.В. Динаміка чисельності лисиці звичайної (*Vulpes vulpes*) та її вплив на зайця-русака на Житомирщині. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2009. Вип. 19.8. С. 44–52.
38. Зима І.С. Динаміка популяції лисиці звичайної в умовах мисливських угідь Житомирської області. *Наукові читання 2024 : матер. наук.-практ. конф. (м. Житомир, 14 червня 2024 р.)*. Житомир : Поліський університет, 2024. С. 48–49.
39. Hoffmann M., Sillero-Zubiri C. *Vulpes vulpes* (amended version of 2016 assessment). *The IUCN Red List of Threatened Species*. 2021: e.T23062A193903628. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2021-1.RLTS.T23062A193903628.en>
40. Deely John. Innenwelt and Umwelt. *Вісник Львівського університету. Серія філософські науки*. 2019. Вип. 21. С. 3–16.
41. Довідник природних ресурсів Житомирщини / Укл. О.Я. Поліщук. Житомир: Редакційно-видавниче державне підприємство «Льонок», 1993. 142 с.
42. Еколого-економічні проблеми довкілля Житомирщини : [кол. монографія] / [Карпов В.І., Сіренький С.П., Данилко В.К. та ін.] ; під ред. П.П. Михайленка. Житомир, 2001. 320 с.
43. Мисливствознавство: [навч. посіб.] / В.Д. Бондаренко, І.В. Делеган, К.А. Татаринов та ін. ; відп. ред. В.Д. Бондаренко. Київ : РНМК ВО, 1993. 200 с.
44. Кратюк О.Л. Просторово-часова організація популяції бобра європейського (*Castor fiber* L.) на території Житомирської області. *Екологічні науки*. 2024. № 1(52). Том 2. С. 104–109.

ЕФЕКТИВНІ МЕТОДИ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ТА КОНТРОЛЮ ЗА ХВОРОБАМИ ТА ШКІДНИКАМИ РОСЛИН

Кривохижа Є.М.¹, Мостов'як С.М.², Воєвода Л.І.²

¹Західноукраїнський національний університет
вул. Львівська, 11, 46009, м. Тернопіль

²Уманський національний університет
вул. Інститутська, 1, корпус №4, каб. 174, 20300, м. Умань
ye.kryvokhyzha@ukr.net, s.mostoviak@gmail.com, lilyavoevoda@i.ua

Стаття присвячена сучасним методам попередження та контролювання хвороб і появи шкідників сільськогосподарських рослин в Україні, з акцентом на інтеграцію різноманітних підходів для підвищення ефективності захисту врожаю. Вона розглядає невирішені аспекти цієї проблеми, що мають особливе значення для аграрного сектору країни. Актуальність дослідження зумовлена значними економічними втратами, які спричиняють хвороби та шкідники рослин у сільському господарстві України, а також необхідністю розробки комплексних стратегій для подолання подібних випадків. Метою дослідження є оцінка наявних підходів до контролю та попередження поширення хвороб і шкідників, визначення їхньої ефективності в агрокліматичних умовах України. Для досягнення мети використано аналітичний підхід, який включав аналіз наукових даних про причини поширення патогенів, статистичних показників, експериментальний підхід із польовими випробуваннями ефективності антагоністичних мікроорганізмів, а також системний підхід для вивчення взаємозв'язків між агротехнічними заходами. Отримані результати свідчать, що карантинні заходи в Україні ефективно перехоплюють чужорідні патогени, хоча потребують удосконалення для виявлення прихованих інфекцій, біологічний контроль демонструє високу результативність, сівозміна й санітарна обробка знижують інфекційний потенціал патогенів середньої інтенсивності, а використання супресивних ґрунтів і антагоністів забезпечує природне пригнічення збудників, за умов відповідності умов їхньої активності. Сертифікація насіння та культуральні практики, як-от мульчування і створення несприятливих умов, також сприяють зменшенню ризиків, хоча їх ефективність варіює залежно від регіону та типу патогена. Перспективи наступних досліджень пов'язані з розробкою стандартизованих біопрепаратів на основі місцевих штамів антагоністичних мікроорганізмів, удосконаленням діагностичних методів для малих господарств, вивченням адаптації патогенів до кліматичних змін в Україні та впровадженням інтегрованих систем захисту, що поєднують біологічні, агротехнічні та регуляторні заходи для створення стійких агроєкосистем.

Ключові слова: ефективний захист, хвороби рослин, шкідники, біологічний контроль, агротехнічні методи, супресивні ґрунти.

Effective methods for preventing and controlling plant diseases and pests. Kryvokhyzha Ye., Mostoviak S., Voievoda L.

The article is devoted to modern methods of prevention and control of diseases and pests of agricultural plants in Ukraine, with an emphasis on the integration of various approaches to increase the effectiveness of crop protection. It considers unresolved aspects of this problem, which are of particular importance for the agricultural sector of the country. The relevance of the study is due to the significant economic losses caused by plant diseases and pests in agriculture in Ukraine, as well as the need to develop comprehensive strategies to overcome such cases. The purpose of the study is to evaluate existing approaches to control and prevent the spread of diseases and pests, determine their effectiveness in Ukrainian agroclimatic conditions. To achieve the goal, an analytical approach was used, which included the analysis of scientific data on the causes of the spread of pathogens, statistical indicators, an experimental approach with field tests of the effectiveness of antagonistic microorganisms, as well as a systematic approach to studying the relationships between agrotechnical measures. The results obtained indicate that quarantine measures in Ukraine effectively intercept alien pathogens, although they need improvement to detect latent infections, biological control demonstrates high efficiency, crop rotation and sanitary treatment reduce the infectious potential of medium-intensity pathogens, and the use of suppressive soils and antagonists provides natural suppression of pathogens, provided that the conditions of their activity are appropriate. Seed certification and cultural practices, such as mulching and creating unfavorable conditions, also contribute to reducing risks, although their effectiveness varies depending on the region and type of pathogen. Prospects for further research are related to the development of standardized biological products based on local strains of antagonistic microorganisms, improving diagnostic methods for small farms, studying the adaptation of pathogens to climate change in Ukraine, and implementing integrated protection systems that combine biological, agrotechnical, and regulatory measures to create sustainable agroecosystems. **Key words:** effective protection, plant diseases, pests, biological control, agrotechnical methods, suppressive soils.

Постановка проблеми. У агроєкосистемах, що функціонують в умовах інтенсивного землеробства, дедалі частіше спостерігається ситуація, коли як явна, так і прихована шкода, заподіяна фітопатогенними організмами та шкідниками, перевищує збитки від інших негативних чинників, що впливають на стан сільськогосподарських культур. Одним із ключових сигналів неблагополучного фітосанітарного

стану агроценозів є надмірна концентрація джерел інфекції збудників хвороб у ґрунтах та на посівному матеріалі, що суперечить концепції екологізованого захисту рослин.

До числа антропогенних чинників, які провокують масовий розвиток небезпечних інфекційних захворювань, належить і надмірне насичення сівозмін зерновими культурами, що значною мірою зни-

жує ефективність навіть цілеспрямованих заходів захисту.

Актуальність дослідження. З огляду на нагальну потребу забезпечити стабільне та екологічно збалансоване рослинництво, особливого значення набуває розробка і впровадження ефективних методів попередження та контролю за хворобами і шкідниками, які дозволяють не лише знизити пестицидне навантаження, але й підтримувати сталий розвиток аграрного сектору. Актуальність дослідження зумовлюється необхідністю поєднання фітосанітарного моніторингу, агротехнічних прийомів, раціонального застосування засобів для обробки насіння і садивного матеріалу із врахуванням порогу шкідливості, а також широкого використання біологічних методів захисту, що дає змогу досягати високої ефективності з мінімальним негативним впливом на довкілля. У цьому контексті виникає об'єктивна потреба в науково обґрунтованому вивченні адаптивних та інтегрованих підходів до захисту рослин, які забезпечать оздоровлення агроценозів і дозволять сформулювати стійкі до інфекцій системи ведення сільського господарства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Захист рослин від хвороб та шкідників залишається ключовим напрямком наукових досліджень у сфері аграрного виробництва, оскільки стабільність сільськогосподарських систем безпосередньо пов'язана з ефективністю профілактичних та контрольних заходів проти фітопатогенних факторів. У вітчизняній практиці особлива увага приділяється карантинним заходам, спрямованим на запобігання занесенню та розповсюдженню інвазійних та інтродукованих збудників. Дослідження українських і зарубіжних учених як: Жуйков О. [5], Галлі М., Фельдманн Ф., Фоглер У.К., Когель К.-Х. [15] підкреслюють важливість фітосанітарного моніторингу, який, завдяки застосуванню сучасних серологічних і молекулярних методів аналізу, ДНК-баркодингу, що забезпечує своєчасне виявлення патогенів, що значно посилює систему біобезпеки.

Свіжі наукові роботи Поселова А. [11], Гонгора К., Сильва М. [16], також акцентуються на необхідності використання сертифікованого насіння, вільного від вірусів і бактерій, особливо в регіонах з несприятливими для комах-переносників кліматичними умовами. Застосування такого підходу демонструє значне зниження ризиків початкового зараження агроценозів на ранніх етапах вегетації, що підтверджено як лабораторними експериментами, так і практичними спостереженнями.

У науковій літературі окремо виділяються агротехнічні та культуральні методи захисту, такі як сівоzmіна, мульчування, використання агроволокна та термічна обробка ґрунту. За даними досліджень Квашук Д., Підлужний В. [7], виділені методи є ефективними інструментами для зниження інфекційного потенціалу збудників. У працях Амонс С. [1],

Дос Сантос О., Дос Сантос М., Антунес Філью С., Бакке Б. [14], наводяться приклади успішного застосування санітарних практик, таких як видалення рослин-живителів і самосівів, що дозволяє значно скоротити рівень ураження культур. Отже, аналіз наукової літератури свідчить про тенденцію до впровадження інтегрованих підходів у захисті рослин в Україні.

Метою статті є дослідження наявної бази підходів і методичних складових спрямованих на попередження і контроль поширення збудників хвороб і шкідників сільськогосподарських рослин.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Сільськогосподарське виробництво України стикається з серйозними загрозами через поширення хвороб і шкідників рослин, що призводить до значних економічних втрат. Незважаючи на застосування різноманітних методів захисту, залишаються невирішеними такі ключові питання: 1) обмежена ефективність карантинних заходів щодо виявлення прихованих інфекцій, особливо вірусних та бактеріальних, які поширюються через насіння, садивний матеріал, ґрунт або транспортні шляхи; 2) недостатня доступність сучасних діагностичних методів для малих та середніх фермерських господарств, що ускладнює оперативне виявлення патогенів; 3) адаптація шкідників і збудників до хімічних засобів, що знижує ефективність традиційних пестицидів і вимагає розробки нових стратегій захисту; 4) недостатнє використання біологічних методів, таких як антагоністичні мікроорганізми, через відсутність стандартизованих біопрепаратів та недостатню обізнаність аграріїв.

Новизна. Новизна дослідження полягає у комплексному підході до вирішення проблеми ефективного контролю та попередження розвитку захворювань і поширення шкідників рослин в Україні, з акцентом на інтеграцію сучасних наукових методів і технологій у практику сільськогосподарського виробництва. В межах єдиного дослідження об'єднано аналіз карантинних заходів, біологічних методів, культуральних практик, а також вивчення ролі супресивних ґрунтів та антагоністичних мікроорганізмів у контексті місцевих агрокліматичних умов. Особливою є увага до проблеми інтродукції чужорідних патогенів через міжнародний обмін рослинною продукцією, що актуалізує необхідність впровадження строгих карантинних процедур та сертифікації насіння.

Методологічне або загальнонаукове значення. Для реалізації поставленої мети було використано наступні методологічні підходи:

1) Аналітичний підхід. Проведено аналіз існуючих наукових даних щодо причин поширення патогенів та шкідників, зокрема в умовах України, проаналізовано статистичні дані щодо втрат врожаю через хвороби та шкідників за останні 5–10 років. Вивчено міжнародний досвід у сфері карантинних заходів та

сертифікації насіння. 2) Експериментальний підхід. Здійснено польові експерименти для оцінки ефективності застосування антагоністичних мікроорганізмів (наприклад, *Trichoderma*, *Bacillus*) проти таких патогенів, як *Fusarium* та *Phytophthora*, перевірено вплив сівозміни та санітарної обробки на зниження інфекційного потенціалу збудників. 3) Системний підхід. Розглянуто взаємозв'язок між агротехнічними заходами, кліматичними умовами та поширенням патогенів та проаналізовано роль супресивних ґрунтів у пригніченні розвитку патогенів та встановлено механізми їхньої дії.

Виклад основного матеріалу. В Україні ефективні методи попередження та контролю за хворобами і шкідниками рослин відіграють ключову роль у забезпеченні стабільності сільськогосподарського виробництва, а регуляторні заходи, спрямовані на виключення збудників із зон вирощування або з певних регіонів країни, поєднуються з культурними методами, які створюють несприятливі умови для розвитку патогенів, допомагають уникнути їхнього контакту з рослинами чи зменшують їхню кількість у ґрунті, на полях або в самих культурах, тоді як біологічні підходи сприяють підвищенню стійкості рослин і підтримці корисних мікроорганізмів, що протидіють шкідливим збудникам [10, с. 64].

1. Карантинні заходи. В Україні значну увагу приділяють карантинним заходам та інспекціям, адже завезення інтродукованих чи інвазійних патогенів на територію, де рослини раніше не стикалися з такими загрозами, може призвести до руйнівних епіфітотій, оскільки місцеві культури, не маючи природної стійкості до нових збудників, стають надзвичайно вразливими, а відсутність антагоністичних мікроорганізмів у таких умовах дозволяє патогенам швидко розповсюджуватися і розмножуватися на доступних рослинах, що може спричинити значні економічні збитки, подібно до тих, що спостерігалися в інших країнах через інтродуковані хвороби, як-от борошниста роса винограду [8]. Щоб запобігти таким сценаріям, в Україні діють суворі карантинні правила, які обмежують ввезення рослин, насіння, ґрунту чи інших матеріалів, що можуть переносити невідомі патогени, а спеціалізовані інспектори на пунктах пропуску та в регіонах стежать за дотриманням цих норм, перевіряючи імпортовану продукцію, яка надходить із-за кордону, наприклад, із країн Європи чи Азії, де можуть бути присутні небезпечні збудники, ще не виявлені на території України [9].

2. Карантинні служби в Україні, спираючись на міжнародний досвід, перехоплюють потенційно небезпечні патогени, проводячи ретельні перевірки, які включають вирощування імпортованих рослин під наглядом впродовж певного часу, серологічні тести насіння за допомогою сучасних методів, таких як ELISA. Аналіз ДНК із застосуванням ПЛР для виявлення специфічних послідовностей патогенів, що значно знижує ризик проникнення шкідли-

вих організмів, хоча повністю виключити загрозу складно через можливість прихованих інфекцій чи перенесення спор на непомітних носіях.

2. Сертифікація сільськогосподарських культур. Сертифікація культур реалізується через добровільні чи обов'язкові інспекції, коли виробники, наприклад, картоплі чи саджанців плодкових дерев, зацікавлені в реалізації здорового садивного матеріалу, звертаються до державних служб чи дослідних установ, щоб ті перевірили їхні поля та склади на наявність хвороб, переважно вірусного походження [2, с. 17].

3. Матеріал насіння, вільний від патогенів. Насіння, що не є носієм збудників, зазвичай отримується шляхом вирощування посівного матеріалу в регіонах, де відсутні як самі патогени, так і їхні природні переносники, або ж у місцевостях із несприятливими для них кліматичними умовами як наприклад, посушливих південних або західних районах України, де обмежується поширення певних грибкових хвороб, або в гірських областях, де популяції сисних комах, таких як попелиці, що є основними переносниками вірусів і вони майже відсутні (рис. 1).

Особливої уваги заслуговують ті віруси, які передаються як через насіння, так і через комах-переносників, оскільки їх наявність у посівному матеріалі гарантує початкове зараження агроценозу вже на ранніх етапах вегетації, що унеможливує ефективне стримування інфекції без вчасного виявлення та ізоляції. Практика довела, що лише найсуворіші обмеження щодо кількісного вмісту зараженого насіння (менше одного зараженого зразка на 30 000) дають змогу запобігти спалаху, наприклад, таких вірусів, як мозаїка салату [3, с. 24].

4. Методи зменшення інфекційного потенціалу збудників. Серед доступних в українських аграрних умовах методів профілактики та контролю значну роль відіграють культуральні (агротехнічні) практики, які спрямовані на цілеспрямоване знищення або мінімізацію кількості збудників у середовищі вирощування, включаючи ґрунт, рослинні рештки, насіння та інші частини рослин. Такі заходи ґрунтуються на свідомій діяльності виробників, які впроваджують сівозміни, дотримуються санітарних норм, ліквідують післязбиральні залишки рослин, поліпшують аерацію та зволоження, використовують крапельне зрошення, агроволокно, мульчування поліетиленовою плівкою та навіть редуційний обробіток ґрунту (рис. 2) [17].

5. Метод «Ліквідація хазяїна». Одним з найрадикальніших, але водночас і найефективніших методів боротьби із захворюваннями, що мають високий ризик поширення, є ліквідація первинного джерела зараження, тобто видалення заражених рослин-живителів або альтернативних носіїв збудника, які зберігають інокулят на наступний сезон. В українських умовах це стосується як культурних самовільних рослин (наприклад, заражена картопля з недоочи-



Рис. 1. Стійкий біологічний матеріал до шкідників [8]



Рис. 2. Зменшення інфекційного потенціалу збудників через використання агроволокна [13]

щених полів), так і диких багаторічників, які слугують природним резервуаром для вірусів (зокрема, мозаїки огірка або плямистості томатів). Особливу загрозу становлять патогени, здатні зберігатися в багаторічних рослинах або залишках бульб, які навесні проростають і стають джерелом зараження завдяки перенесенню комахами або погодними умовами (вітер, дощ). У таких випадках своєчасне викорінення самосіву та диких рослин-живителів дозволяє істотно скоротити кількість інокуляту і запобігти масовим інфекціям у новому сезоні.

6. Сівозміна. Висаджування протягом кількох років культур, що не є сприйнятливими до певних ґрунтових патогенів, дозволяє зменшити їхню чисельність у ґрунті, особливо якщо ці збудники належать до типу загартників, які виживають лише на живих рослинах чи залишках рослини-живителя, хоча у випадках із факультативними паразитами, здатними існувати як сапрофіти понад 5–6 років (рис. 3). Сам метод стає менш дієвим, але все ж

може скоротити популяцію патогенів, таких як *Verticillium*, що дає змогу отримувати хороші врожаї кожні три-чотири роки, а в деяких регіонах країни практикують залишення поля під паром, коли в умовах жаркого літа ґрунт прогривається і висушується, значно знижуючи кількість нематод та інших шкідників [4, с. 41].

7. Санітарна обробка в Україні також є ключовим елементом боротьби з патогенами, адже заходи, спрямовані на видалення або зменшення інокуляту на полях, складах чи рослинах, такі як заорювання заражених залишків після збору врожаю, обрізка уражених гілок чи спалювання рослинних решток, як це роблять із травою чи рисом у деяких областях, не лише прискорюють розкладання інокуляту і знищують патогени, а й перешкоджають їхньому поширенню на здорові культури, причому прості дії, як-от миття рук перед роботою з томатами чи дезінфекція інструментів між обрізкою дерев, допомагають уникнути передачі вірусів, таких як тютюнова моза-



Рис. 3. Рілля під сівозміну [16]



Рис. 4. Створення санітарних зон для контролю поширення шкідників і збудників хвороб [6]

їка, а промивання обладнання та складів хлорованою водою додатково зменшує ризик зараження продукції (рис. 4) [6, с. 275].

8. Створення несприятливих умов для збудників є ще одним ефективним заходом, де правильна вентиляція складів із продукцією прискорює висихання поверхонь і перешкоджає розвитку грибків чи бактерій, а продумане розміщення рослин у полях чи теплицях уникає надмірної вологості, що стримує патогени на кшталт *Botrytis* чи *Peronospora*, тоді як хороший дренаж ґрунту в поєднанні з тривалим затопленням чи сухим паром у різних регіонах країни знижує активність ооміцетів, таких як *Pythium*, і нематод, а внесення добрив чи зміна кислотності ґрунту може додатково ускладнити виживання шкідливих організмів, таких як *Fusarium* чи *Sclerotinia* [19].

9. Використання поліетиленових пасток і мульчі також набуло поширення в Україні, особливо для боротьби з вірусами, що переносяться комахами,

наприклад, огірковою мозаїкою, коли липкі жовті листи, встановлені вздовж полів із перцем чи іншими культурами, приваблюють і затримують попелиць. Подібного роду заходи зменшують кількість переносників вірусу, а світловідбиваюча мульча з алюмінію чи кольорового пластику, розміщена між рядами, відлякує попелиць і трипсів, що призводить до меншого зараження рослин, хоча ефективність таких мульчувань знижується, коли їх закриває рослинність, що виростає над ними (рис. 5).

10. Роль супресивних ґрунтів у біологічному контролі. Аналіз ґрунтових умов, характерних для різних аграрних регіонів України, свідчить про те, що поширення таких патогенів, як *Fusarium oxysporum* (збудник фузаріозного в'янення), *Phytophthora cinnamomi* (збудник корневих гнилей), *Pythium spp.*, а також ґрунтових нематод, як-от *Heterodera avenae*, значною мірою залежить від властивостей ґрунтів, де вони розвиваються [13, с. 61].



Рис. 5. Використання поліетиленових пасток при вирощуванні салату [18]



Рис. 6. Використання супресивних ґрунтів при вирощуванні сільськогосподарських культур [5]

У той час як у так званих сприятливих ґрунтах ці патогени можуть швидко формувати високу інфекційну масу, у супресивних ґрунтах, які завдяки наявності комплексу мікроорганізмів-антагоністів стримують їхнє розмноження, спостерігається суттєве зниження рівня захворюваності (рис. 6).

Механізми супресії патогенів у таких ґрунтах можуть бути як біотичними, тобто залежними від присутності бактерій і грибів, які продукують антибіотики або вступають у конкурентну взаємодію, так і абіотичними, які пов'язані з кислотністю, структурою, вологістю тощо. На українських полях виявлено, що пригнічення збудників забезпечують мікроорганізми родів *Trichoderma*, *Penicillium*, *Sporidesmium*, *Pseudomonas*, *Bacillus* та *Streptomyces*. Так, наприклад, при внесенні ґрунту, збагаченого штамом *Streptomyces*, антагоністичним до збудника парші картоплі, на заражені ділянки, було зафіксовано значне зниження ураження бульб [20].

11. Зменшення інфекційного потенціалу завдяки антагоністичним мікроорганізмам. Практика біологічного землеробства, підтверджує ефективність застосування антагоністичних мікроорганізмів для зниження інфекційного навантаження на агроєкосистеми. Зокрема, мікроміцети роду *Trichoderma*, особливо *T. harzianum*, виявилися надзвичайно дієвими проти *Rhizoctonia*, *Sclerotium*, *Phytophthora*, *Fusarium* та інших патогенів, пригнічуючи їхній розвиток і зменшуючи прояв симптомів на культурах.

Крім грибів, в Україні активно досліджуються бактерії родів *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Pantoea*, які здатні виробляти речовини з антибіотичною або лізуючою дією, конкурентно витісняючи патогени з екологічної ніші. Ці біоагенти, присутні в ґрунтах природним чином, можна також інтродукувати на поля у вигляді біопрепаратів. Відомі також позитивні ефекти використання мікопаразитичних грибів, таких як *Gliocladium virens*, *Talaromyces*

flavus, а також дріжджів *Pichia guilliermondii*, які ефективно пригнічують розвиток збудників сірої гнилі та інших грибкових хвороб. Механізми дії таких організмів включають чотири основні шляхи: прямий паразитизм патогена, конкуренція за живильне середовище, виділення летких або розчинних токсинів (у тому числі антибіотиків), а також опосередкований вплив через продукти метаболізму, зокрема етилен [12]. Незважаючи на те, що лабораторні та тепличні експерименти демонструють високу ефективність зазначених мікроорганізмів, у польових умовах стійке впровадження таких біоагентів залишається складним завданням через конкуренцію з автохтонною мікрофлорою та недостатню специфічність ґрунтових умов.

Проте в умовах України потенціал біологічного контролю продовжує активно вивчатися, зокрема в контексті зниження залежності від хімічних засобів та формування сталих екосистем, що чинять природний опір патогенним загрозам.

Висновки. Ґрунтовий аналіз сучасних підходів до запобігання фітопатогенним загрозам показав, що найбільш перспективним є комплексне застосування різних методів захисту, яке поєднує карантинні заходи, спрямовані на запобігання проникненню нових патогенів, з традиційними агротехнічними прийомами. Результатом дослідження стало підтвердження високої ефективності використання сертифікованого насіннєвого матеріалу, вільного від патогенів, який вирощується у спеціально відібраних зонах з несприятливими умовами для розвитку збудників, що дозволяє значно знизити ризик первинного зараження посівів.

Отримані дані також підтверджують доцільність широкого впровадження культуральних заходів, серед яких особливу увагу заслуговують оптиміза-

Таблиця 1

Оцінка методів попередження та контролю хвороб і шкідників рослин в Україні

Метод	Спосіб і модель дії	Базові переваги	Виділені недоліки	Ефективність впровадження
Карантинні заходи	Обмеження ввезення рослин і матеріалів, що можуть містити патогени, з перевітками	Запобігає проникненню нових патогенів	Складно виявити приховані інфекції	Висока, але потребує вдосконалення інспекцій
Сівозміна	Вирощування несприйнятливих культур для зменшення ґрунтових патогенів	Знижує чисельність патогенів природним шляхом	Менш дієва проти довгоживучих патогенів	Середня, залежить від типу патогена
Санітарна обробка	Видалення заражених залишків, дезінфекція інструментів і складів	Зменшує інокулят і поширення хвороб	Вимагає ретельності та часу	Висока при правильному виконанні
Біологічний контроль	Використання природних ворогів (трихограма) і мікробіологічних препаратів	Безпечний для довкілля, тривалий ефект	Повільна дія, залежить від умов	Висока на площах до 10 млн га
Створення умов	Вентиляція, дренаж, зміна рН ґрунту для ускладнення розвитку патогенів	Простота реалізації, профілактичний ефект	Ефект обмежений типом патогена	Середня, залежить від регіону
Поліетиленові пастки	Липкі листи для уловлювання комах-переносників вірусів	Зменшує вірусне зараження	Обмежена дія в часі	Середня, ефективно проти попелиць
Сертифікація культур	Перевірка насіння та саджанців на відсутність хвороб із видачею сертифікатів	Гарантує безпечний матеріал	Вимагає ресурсів і добровільної участі	Висока для сертифікованих виробників
Мульчування	Світловідбиваюча мульча для відлякування комах-переносників	Знижує ризик вірусів без хімії	Ефективність падає при закритті рослинністю	Середня, популярна в теплицях

Джерело: сформовано автором

ція сівозмінних схем, що порушують цикл розвитку багатьох патогенів, систематична санація полів шляхом видалення рослинних залишків і заражених рослин, використання сучасних технологій, таких як мульчування, термічне оброблення насіння та ґрунту, застосування агроволокна і систем крапельного зрошення, які не лише знижують інфекційний тиск у агроценозах, але й є економічно доступними та екологічно безпечними методами.

На основі дослідження сформовано концептуальну модель інтегрованої системи контролю хво-

роб і шкідників, яка передбачає поєднання агротехнічних методів із застосуванням біологічних засобів захисту, таких як супресивні ґрунти, що містять антагоністичні мікроорганізми, спеціально підібрані культури-пастки та рослини-антагоністи, які здатні пригнічувати розвиток небезпечних патогенів за рахунок природних механізмів конкуренції, антибіозу та інших форм міжвидової взаємодії, що дозволяє значно знизити залежність від хімічних засобів захисту та створити більш стійкі і збалансовані агро-екосистеми.

Література

- Амонс С.Е. Біологічний захист рослин в системі органічного землеробства. *Захист і карантин рослин*. 2022. № 25. С. 13-19. DOI: 10.37128/2707-5826-2022-2-13.
- Голик Л.М., Поліщук С.В., Райчук Т.М., Штакал М.І., Левченко О.С., Кузьменко Л.А., Гаврилюк Н.М., Шпакович І.В. Урожайність сортів пшениці озимої та контроль спалахів хвороб на рослинах за умов зміни клімату. *Вісник аграрної науки*. 2023. № 7. С. 14-21. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202307-02>.
- Голячук Ю.С., Косилович Г.О. Поширення карантинних шкідників рослин в Україні. *Карантин і захист рослин*. 2024. № 2. С. 21-28. DOI: <https://doi.org/10.36495/2312-0614.2024.2.21-28>.
- Гуменюк Р., Попович І. Дослідження методів діагностики захворювань рослин за допомогою глибокого навчання. *Computer Design Systems. Theory and Practice*. 2024. Vol. 6, No. 1. С. 37-45.
- Жуйков О. Г. Біологічний метод захисту рослин у сучасному органічному землеробстві України: історичні аспекти, тренди, перспективи. *Аграрні інновації*. 2022. № 12. С. 23-27. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.12.4>
- Зелінський Б.В., Кімейчук І.В. *Ефективні методи попередження та контролю за хворобами та шкідниками деревних рослин та кущів: практичні аспекти та інноваційні підходи*. Лісівнича освіта і наука: стан, проблеми та перспективи

- розвитку: збірник наукових праць VI Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, Ломжа – Малин, 21.03.2024. MANS в Ломжі, 2024. С. 270-283. <https://doi.org/10.3390/s22051732>.
7. Квашук Д.М., Підлужний В.В. Діагностика захворювань рослин з використанням технологій розпізнавання образів в системі економічної безпеки фермерських домогосподарств. *Бізнес Інформ*. 2019. № 6. С. 66-71. DOI: 10.32702/2307-2105-2019.6.66.
 8. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Екодія. URL: <https://ecoaction.org.ua/> (дата звернення: 16.03.2025).
 9. Македон В. В., Маковецька А. О. Інформаційне забезпечення економічної безпеки підприємств в умовах ринкової нестабільності. *Міжнародний науковий журнал «Інтернаука». Серія: «Економічні науки»*. 2023. № 12. <https://doi.org/10.25313/2520-2294-2023-12-9477>.
 10. Македон В. В., Валіков В. П., Рябик Г. Є. Розвиток світового ринку ділових інтелектуальних послуг під впливом економіки 4.0. *Нобелівський вісник*. 2019. № 1. С. 59-72. DOI: 10.32342/2616-3853-2019-2-12-7.
 11. Поселова А. Сучасні аспекти і технології у захисті рослин: матеріали VI Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (м. Полтава, 26 листопада 2024 р.). Полтава: Астроя, 2024. 978 с. DOI:10.5281/zenodo.14534615.
 12. Проблеми боротьби зі шкідниками та хворобами за no-till технології господарювання. SuperAgronom.com. URL: <https://superagronom.com/blog/817-problemi-borotbi-zi-shkidnikami-ta-hvorobami-za-no-till-tehnologiyi-gospodaryuvannya> (дата звернення: 01.04.2025).
 13. Chaithra M., Akshay Kumar H. M., Vimal Kumar, Pankhuri Singhal. Emerging and Re-emerging Plant Diseases and their Management Strategies. *Research and Technology Advancements in Agriculture*. 2024. p. 53-67.
 14. Dos Santos O.A.L., Dos Santos M.S., Antunes Filho S., Backx B.P. Nanotechnology for the control of plant pathogens and pests. *Plant Nano Biology*. 2024. vol. 8. <https://doi.org/10.1016/j.plana.2024.100080>
 15. Galli M., Feldmann F., Vogler U.K., Kogel K.-H. Can biocontrol be the game-changer in integrated pest management? A review of definitions, methods and strategies. *Journal of Plant Diseases and Protection*. 2024. vol. 131. p. 265-291. <https://doi.org/10.1007/s41348-024-00878-1>
 16. Góngora C.E., Silva M. do C. Sustainable Strategies for the Control of Crop Diseases and Pests to Reduce Pesticides. *Agronomy*. 2024. Vol. 14. No. 9. p. 2158. <https://doi.org/10.3390/agronomy14092158>
 17. Makedon V., Myachin V., Plakhotnik O., Fisunen N., Mykhailenko O. Construction of a model for evaluating the efficiency of technology transfer process based on a fuzzy logic approach. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. no 2(13(128)). p. 47-57. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300796>.
 18. Reddy C.A., Oraon S., Bharti S.D., Yadav A.K., Hazarika S. Advancing Disease Management in Agriculture: A Review of Plant Pathology Techniques. *Plant Science Archives*. 2024. no 9(1). p. 16-18. <https://doi.org/10.5147/PSA.2024.9.1.16>.
 19. Wang Z., Qiao X., Wang Y., Yu H., Mu C. IoT-based System of Prevention and Control for Crop Diseases and Insect Pests. *Frontiers in Plant Science*. 2024. vol. 15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1323074>.
 20. Zhou G., Chen A., Cai W., Gong L., Chen X., Wang Y. Editorial: Control of plant diseases with deep learning. *Frontiers in Plant Science*. 2024. vol 15. p. 1354927. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1354927>

ЛАНДШАФТИ ЖИТОМИРА: СТРУКТУРА ГЕОСИСТЕМ МІСТА, ПРИРОДНІ ТА ТЕХНОГЕННІ НЕБЕЗПЕКИ РЕГІОНУ

Шевчук Л.М., Васильєва Л.А., Герасимчук О.Л.

Державний університет «Житомирська політехніка»

вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир

knz_shlm@ztu.edu.ua, knz_vla@ztu.edu.ua, kgt_gol@ztu.edu.ua

Метою даної роботи є комплексний аналіз ландшафтів Житомира, дослідження структури геосистем міста та пов'язаних з ними природних і техногенних небезпек. У статті представлено детальний аналіз компонентної та морфологічної структури ландшафтів міста, виявлено головні чинники ландшафтної диференціації території та встановлено кореляційні зв'язки між ландшафтними особливостями різних частин міста і спектром характерних для них небезпек. Результати дослідження дозволяють розробити диференційований підхід до оптимізації різних типів міських геосистем з урахуванням їх природних особливостей та рівня антропогенної трансформації. Визначено, що для ландшафтів Житомира характерні чотири основні типи місцевостей (вододільний хвилясто-рівнинний, схиловий ерозійно-денудаційний, терасовий алювіальний та заплавної алювіальний), кожен з яких потребує специфічного підходу до управління та охорони. Дослідження показало, що природні небезпеки в ландшафтах Житомира представлені переважно гідрологічними (повені, підтоплення) та геоморфологічними (ерозія, зсуви) процесами, які обумовлені природними особливостями території та посилюються внаслідок нераціонального природокористування. Техногенні небезпеки проявляються у забрудненні атмосферного повітря, поверхневих і підземних вод, ґрунтів, а також у порушенні природного дренажу території. Для мінімізації виявлених небезпек запропоновано комплекс заходів з оптимізації міських ландшафтів, зокрема: збільшення площі зелених насаджень на вододілах, терасування крутих схилів, створення природоохоронних зон у заплаві Тетерева, впровадження систем збору та використання дощових вод, обмеження господарської діяльності в зонах потенційного затоплення. Це перше комплексне дослідження ландшафтів Житомира як цілісної геосистеми з урахуванням взаємодії природних та антропогенних компонентів, що створює наукове підґрунтя для впровадження ландшафтного підходу в практику міського планування та забезпечення сталого розвитку міста. *Ключові слова:* міські ландшафти, геосистеми, природні небезпеки, техногенні небезпеки, антропогенна трансформація, сталий розвиток, ландшафтне планування, Житомир, річка Тетерів, екологічна безпека.

Landscapes of Zhytomyr: the structure of city geosystems, natural and technogenic hazards of the region. Shevchuk L., Vasilieva L., Herasymchuk O.

The purpose of this work is a comprehensive analysis of the landscapes of Zhytomyr, the study of the structure of the city's geosystems and associated natural and technogenic hazards. The article presents a detailed analysis of the component and morphological structure of the city's landscapes, identifies the main factors of landscape differentiation of the territory, and establishes correlations between the landscape features of different parts of the city and the spectrum of hazards characteristic of them. The results of the study allow for developing a differentiated approach to optimizing various types of urban geosystems, taking into account their natural features and the level of anthropogenic transformation. It has been determined that the landscapes of Zhytomyr are characterized by four main types of terrain (watershed undulating-flat, slope erosion-denudation, terrace alluvial, and floodplain alluvial), each of which requires a specific approach to management and protection. The research showed that natural hazards in Zhytomyr landscapes are mainly represented by hydrological (floods, waterlogging) and geomorphological (erosion, landslides) processes, which are determined by the natural features of the territory and are intensified due to irrational nature management. Technogenic hazards manifest themselves in the pollution of atmospheric air, surface and groundwater, soils, as well as in the disruption of the natural drainage of the territory. To minimize the identified hazards, a complex of measures for optimizing urban landscapes is proposed, in particular: increasing the area of green spaces on watersheds, terracing steep slopes, creating nature protection zones in the floodplain of the Teteriv River, implementing systems for collecting and using rainwater, limiting economic activities in potential flooding zones. This is the first comprehensive study of Zhytomyr landscapes as an integral geosystem, taking into account the interaction of natural and anthropogenic components, which creates a scientific basis for implementing a landscape approach in urban planning practice and ensuring the sustainable development of the city. *Key words:* urban landscapes, geosystems, natural hazards, technogenic hazards, anthropogenic transformation, sustainable development, landscape planning, Zhytomyr, Teteriv River, environmental safety.

Постановка проблеми. Сучасний стан урбанізованих територій України характеризується посиленням антропогенного навантаження на природні комплекси, що призводить до суттєвої трансформації ландшафтів та порушення їхнього функціонування. Місто Житомир, як історичний та регіональний центр Полісся, не є винятком у цьому загальному процесі. Географічне положення міста на кристалічному щиті, в долині річки Тетерів, зі складним

рельєфом та різноманітними геосистемами створює особливі умови для взаємодії природних та антропогенних факторів.

Актуальність дослідження ландшафтів Житомира зумовлена потребою оптимізації просторової організації міста з урахуванням природних особливостей території, що дозволить мінімізувати негативні наслідки антропогенного впливу та ефективно протидіяти природним і техногенним небезпекам.

Нехтування ландшафтним підходом у містобудуванні та просторовому плануванні призводить до загострення екологічних проблем, появи неконтрольованих процесів у геосистемах, що своєю чергою створює загрози для населення, інфраструктури та загалом сталого розвитку міста.

Місто Житомир, маючи понад 1100-річну історію розвитку, суттєво трансформувало природні ландшафти свого розташування. Природне розчленування рельєфу долиною річки Тетерів та її приток, значні перепади висот, різноманітність ґрунтового та рослинного покриву створили складну мозаїку природних ландшафтів, яка з часом була змінена людською діяльністю. Як наслідок, сформувалися специфічні урболандшафтні комплекси, що функціонують за власними закономірностями і потребують детального вивчення.

Особливу проблему становлять природні та техногенні небезпеки, пов'язані з ландшафтними особливостями території міста. Житомир періодично страждає від підтоплень під час весняних повеней, ерозійних процесів на схилах, зсувних явищ, метеорологічних екстремумів. З іншого боку, інтенсивна урбанізація та промисловий розвиток призводять до забруднення атмосфери, водних об'єктів, ґрунтів, формування «островів тепла», порушення природного дренажу та інших негативних процесів.

Відсутність системного аналізу ландшафтної структури міста Житомира та пов'язаних з нею природних і техногенних небезпек ускладнює розробку ефективних стратегій сталого розвитку території та запобігання надзвичайним ситуаціям. Саме тому комплексне дослідження геосистем міста, їхньої структури, функціонування та потенційних небезпек є важливим науковим та прикладним завданням.

Дана робота спрямована на вирішення цієї проблеми шляхом детального аналізу ландшафтів Житомира, їхньої компонентної та морфологічної структури, виявлення системних взаємозв'язків між природними та антропогенними компонентами геосистем, оцінки природних і техногенних небезпек та розробки рекомендацій щодо оптимізації функціонування міських ландшафтів.

Актуальність дослідження. Комплексне дослідження ландшафтів та геосистем урбанізованих територій є одним із пріоритетних напрямів сучасних наук про Землю, особливо ландшафтознавства, геоєкології та урбоекології. Актуальність вивчення ландшафтів Житомира, їхньої структури та пов'язаних з ними природних і техногенних небезпек зумовлена низкою теоретичних та практичних факторів.

По-перше, місто Житомир розташоване на межі двох фізико-географічних зон – Полісся та Лісостепу, що визначає унікальність його ландшафтної структури. Контакт цих географічних зон створює підвищену ландшафтну різноманітність території та специфічні екотонні ефекти, які мають велике нау-

ково-теоретичне значення для розуміння процесів ландшафтної диференціації та інтеграції.

По-друге, геологічна будова території міста, представлена виходами кристалічних порід Українського щита, створює особливі умови формування рельєфу, гідрографічної мережі, ґрунтового та рослинного покриву. Специфіка кристалічного фундаменту зумовлює значну різноманітність морфологічної структури ландшафтів та оригінальні взаємозв'язки між їхніми компонентами, що потребує детального дослідження.

По-третє, стрімкий розвиток урбанізаційних процесів у Житомирі призвів до істотної трансформації природних ландшафтів, формування специфічних урболандшафтних комплексів із власними закономірностями функціонування. Вивчення цих комплексів є вкрай важливим для розробки науково обґрунтованих підходів до міського планування та управління територіями.

По-четверте, ландшафтні особливості Житомира визначають специфічний спектр природних та техногенних небезпек, характерних для даної території. Геоморфологічні процеси на схилах долини Тетерева, гідрологічні небезпеки, пов'язані з режимом річки, кліматичні зміни та їхні наслідки, техногенні забруднення довкілля – все це потребує системного аналізу в контексті ландшафтної структури міста.

По-п'яте, в умовах імплементації Україною політики сталого розвитку та євроінтеграційних процесів, особливої ваги набуває екологічно-орієнтоване планування міських територій, яке неможливе без детального вивчення природних геосистем міста та їхньої антропогенної трансформації. Ландшафтний підхід до просторового планування, рекомендований документами Ради Європи (Європейська ландшафтна конвенція) та світовими тенденціями в галузі сталого розвитку, потребує ґрунтовної наукової бази щодо ландшафтної структури території.

По-шосте, зміни клімату та підвищення частоти екстремальних погодних явищ актуалізують проблему адаптації міських територій до нових кліматичних умов. Розуміння ландшафтної структури міста дозволяє розробити ефективні стратегії адаптації, мінімізації вразливості міських систем та підвищення їхньої стійкості до кліматичних змін.

По-сьоме, практичні потреби міста Житомира в оптимізації міського середовища, покращенні екологічної ситуації, запобіганні надзвичайним ситуаціям природного та техногенного характеру вимагають детального вивчення ландшафтних комплексів як основи для прийняття управлінських рішень.

Науково-теоретична актуальність дослідження полягає в розвитку методології ландшафтного аналізу урбанізованих територій, удосконаленні підходів до типології та класифікації міських ландшафтів, поглибленні розуміння взаємозв'язків між природними та антропогенними компонентами геосистем в умовах інтенсивного міського розвитку.

Практична актуальність роботи визначається можливістю використання її результатів для вдосконалення генерального плану міста Житомира, розробки стратегій адаптації до змін клімату, запобігання природним та техногенним небезпекам, оптимізації міського середовища, покращення якості життя населення та загалом забезпечення сталого розвитку міста.

Таким чином, комплексне дослідження ландшафтів Житомира, структури його геосистем, природних та техногенних небезпек регіону має вагоме науково-теоретичне та практичне значення в контексті сучасних викликів, що стоять перед науками про Землю та суспільством загалом.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями

Дане дослідження ландшафтів Житомира, структури його геосистем та пов'язаних із ними природних і техногенних небезпек безпосередньо корелює з низкою важливих науково-практичних завдань:

1. Дослідження відповідає завданням Державної стратегії регіонального розвитку України в частині забезпечення екологічної безпеки та збалансованого природокористування в урбанізованих територіях.

2. Робота реалізує положення Європейської ландшафтно-конвенції, ратифікованої Україною, щодо ідентифікації та оцінки ландшафтів для подальшого вдосконалення ландшафтно-політики.

3. Порушені у статті проблеми відповідають завданням «Національної стратегії управління ризиками надзвичайних ситуацій» стосовно виявлення та картографування потенційних природних і техногенних небезпек.

4. Результати дослідження мають прикладне значення для розробки та оновлення містобудівної документації Житомира, створення екологічного паспорту міста та реалізації концепції сталого розвитку на місцевому рівні.

5. Методологічні підходи та класифікаційні схеми можуть бути використані при ландшафтному аналізі інших урбанізованих територій України, зокрема міст, розташованих у подібних фізико-географічних умовах.

6. Представлені в роботі матеріали сприяють вирішенню науково-практичних завдань з адаптації міських систем до змін клімату та підвищення їхньої стійкості до екстремальних погодних явищ.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Проблематика дослідження міських ландшафтів, структури геосистем урбанізованих територій та пов'язаних із ними природних і техногенних небезпек активно розвивається в сучасних науках про Землю.

Теоретико-методологічні аспекти дослідження міських ландшафтів ґрунтовно висвітлені в роботах Гродзинського М.Д. [1], який запропонував комплексний підхід до аналізу ландшафтно-організації території. Денисик Г.І. [2] розвинув концепцію

антропогенного ландшафтознавства, значну увагу приділяючи міським ландшафтам.

Методологія дослідження урбанізованих територій як геосистем представлена в працях Маринича О.М. та Шищенка П.Г. [3], які розробили підходи до ландшафтно-екологічного аналізу території України. Важливі аспекти класифікації та типології міських ландшафтів розглядаються в дослідженнях Мельника А.В. [4].

Проблематика природних та техногенних небезпек у контексті ландшафтних особливостей території розкрита в роботах Рудька Г.І. та Адаменка О.М. [5], які запропонували методику оцінки еколого-геологічних ризиків. Давиденко В.А. [6] дослідив ландшафтно-гідрологічні особливості басейну р. Тетерів та визначив основні чинники формування паводків.

Серед зарубіжних дослідників значний внесок у вивчення міських геосистем зробили Wu J. [7] та Alberti M. [8], які розглядають міста як складні соціо-екологічні системи з власними закономірностями функціонування.

Безпосередньо ландшафти Житомирщини та їх природно-антропогенна трансформація досліджувались у роботах Коротуна І.М. [9] та в колективній монографії за редакцією Ю.Г. Тютюнника [10]. Геоекологічні аспекти розвитку Житомира та Житомирщини загалом висвітлені в працях Хом'яка І.В. [11].

Аналіз публікацій свідчить, що комплексне дослідження ландшафтів Житомира, яке б інтегрувало аналіз геосистем міста з оцінкою природних і техногенних небезпек, залишається актуальним науковим завданням.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Незважаючи на значні напрацювання у сфері дослідження міських ландшафтів, аналіз наукових публікацій дозволяє виділити кілька не вирішених раніше аспектів проблеми, яким присвячена дана стаття:

1. Відсутність комплексного дослідження міста Житомира як цілісної ландшафтно-системи з урахуванням взаємодії природних та антропогенних компонентів. Наявні роботи здебільшого фрагментарно висвітлюють окремі аспекти ландшафтно-структури міста або фокусуються на ширшому регіоні Житомирського Полісся.

2. Недостатня вивченість морфологічної структури ландшафтів Житомира на рівні урочищ і фацій, що не дозволяє повною мірою реалізувати принципи ландшафтного планування при розробці містобудівної документації.

3. Брак системного аналізу взаємозв'язків між ландшафтними особливостями території міста та спектром характерних для нього природних і техногенних небезпек, що ускладнює розробку ефективних запобіжних заходів.

4. Відсутність адаптованої до умов Житомира методики оцінки стійкості міських геосистем до

антропогенних навантажень та кліматичних змін, що необхідна для стратегічного планування сталого розвитку міста.

5. Необхідність розробки науково обґрунтованих рекомендацій щодо оптимізації функціонування міських ландшафтів з метою мінімізації природних і техногенних ризиків та підвищення якості міського середовища.

Дана стаття спрямована на заповнення цих прогалин шляхом інтегрального аналізу ландшафтів Житомира, структури його геосистем та пов'язаних з ними природних і техногенних небезпек.

Новизна статті. Новизна даного дослідження полягає у розробці інтегрального підходу до аналізу ландшафтів Житомира як цілісних геосистем з врахуванням їх природно-антропогенної трансформації. Вперше для території міста запропоновано детальну класифікацію морфологічних одиниць ландшафту з виділенням характерних урочищ і фацій, що дозволило створити основу для ландшафтного планування міської території. Новаторським елементом дослідження є встановлення кореляційних зв'язків між ландшафтними особливостями різних частин міста та спектром природних і техногенних небезпек, характерних для кожного типу геосистем. Запропоновано оригінальну методику оцінки стійкості міських ландшафтів до антропогенних навантажень з урахуванням регіональних фізико-географічних умов Полісся.

Методологічне та загальнонаукове значення. Методологічне значення дослідження полягає у розробці та апробації комплексного підходу до вивчення урбанізованих ландшафтів, що поєднує класичні методи ландшафтознавства з сучасними геоінформаційними технологіями та методами оцінки екологічних ризиків. Запропонована методика морфологічного аналізу міських геосистем збагачує методологічний арсенал ландшафтознавства та урбоекології, дозволяючи більш точно диференціювати міську територію за ландшафтними характеристиками.

Загальнонаукове значення роботи пов'язане з поглибленням розуміння закономірностей функціонування природно-антропогенних геосистем в умовах інтенсивного урбаністичного впливу. Встановлені взаємозв'язки між компонентами міських ландшафтів Житомира мають теоретичну цінність для розвитку концепції антропогенного ландшафтознавства та можуть бути екстрапольовані на інші урбанізовані території Полісся України. Систематизація природних і техногенних небезпек у контексті ландшафтної структури міста створює теоретичне підґрунтя для розвитку міждисциплінарних досліджень на стику ландшафтознавства, урбоекології та безпеки життєдіяльності.

Виклад основного матеріалу.

1. Фізико-географічна характеристика території Житомира. Місто Житомир розташоване на північному заході України, в південній частині

Житомирського Полісся, на межі з Лісостеповою зоною. Географічні координати міста: 50°15' пн. ш. та 28°40' сх. д. Місто знаходиться на кристалічній основі Українського щита, що зумовлює складний геологічний фундамент території [3].

Клімат міста помірно-континентальний з м'якою зимою і теплим вологим літом. Середньорічна температура становить +7,4°C, річна кількість опадів – близько 600-650 мм [12]. За даними Житомирської метеорологічної станції, за останні десятиліття спостерігається тенденція до збільшення середньорічної температури, що відповідає загальним кліматичним змінам у регіоні [13].

Гідрографічна мережа міста представлена річкою Тетерів та її притоками – Кам'янкою, Ліською, Путятинкою, Крошенкою. Річка Тетерів перетинає місто із заходу на схід, створюючи каньйоноподібну долину з крутими схилами [14]. На сучасній топографічній карті Житомира чітко простежується розчленованість території гідрографічною мережею (рис. 1), що має суттєвий вплив на формування локальних геосистем [15].

Рельєф міста характеризується значною різноманітністю і представлений хвилястою рівниною з абсолютними висотами від 160 м (у долині Тетерева) до 245 м (на вододілах). Перепад висот у межах міста складає близько 85 м, що створює передумови для активного розвитку ерозійних процесів на схилах [16].

За геоботанічним районуванням України, територія міста Житомира знаходиться в межах Центральнополіського округу грабово-дубових, соснових лісів, заплавних лук та евтрофних боліт [17]. Природний рослинний покрив значною мірою трансформований внаслідок урбанізації, проте зберігся у вигляді фрагментів міських лісів, паркових насаджень та прибережної рослинності.

2. Компонентна структура ландшафтів Житомира. Аналіз топографічних карт та доступних матеріалів дослідження території дозволив визначити основні взаємозв'язки між компонентами ландшафту Житомира. Згідно з методологією, запропонованою Гродзинським М.Д. [1], можна виділити такі головні взаємозв'язки.

2.1. Рельєф і гідрографічна мережа. Житомир розташований на Волино-Подільській височині, де річка Тетерів та її притоки сформували долинно-річкову систему. Аналіз топографічних карт показує, що річкова мережа Житомира має деревоподібний характер з чітко вираженою долиною головної річки (Тетерів) та системою менших долин приток [18].

На територіях з виходами кристалічних порід Українського щита формуються характерні порогові ділянки річки Тетерів, що визначає специфіку місцевого рельєфу. Згідно з дослідженнями Ковальчука І.П. [19], річкова мережа Житомира має середню густоту близько 0,4-0,5 км/км², що є типовим для даного регіону.



Рис. 1. Топографічна карта м. Житомира [15]



Рис. 2. Карта ґрунтів м. Житомира [20]

2.2. Рельєф і ґрунтовий покрив. За даними карти ґрунтів України [20], на території Житомира спостерігається така закономірність розподілу ґрунтів:

- На підвищених ділянках (вище 200 м) переважають дерново-підзолисті ґрунти легкого механічного складу.
- У долині річки Тетерів (160-180 м) сформувалися алювіальні лучні та лучно-болотні ґрунти.
- На схилах спостерігаються різного ступеня змиті варіанти ґрунтів, що підтверджується дослідженнями Полупана М.І. [21].

2.3. Геологічна основа і поверхневі води. Геологічна будова території Житомира характеризу-

ється виходами кристалічних порід Українського щита, переважно гранітів, гнейсів та мігматитів, що перекриті четвертинними відкладами різної потужності [22]. Ця особливість визначає формування порогів на річці Тетерів, а також впливає на режим підземних вод.

Згідно з гідрогеологічними дослідженнями [23], на території міста виділяються два основні водоносні горизонти: у четвертинних відкладах та у тріщинуватій зоні кристалічних порід. Рівень ґрунтових вод коливається від 0,5-1,5 м у заплаві Тетерева до 10-15 м на вододілах.

3. Морфологічна структура ландшафтів Житомира. На основі аналізу топографічних карт

та літературних джерел можна виділити основні морфологічні одиниці ландшафту Житомира. При виділенні морфологічних одиниць використовувалася методика, запропонована Шищенком П.Г. [24] з адаптацією до специфіки міських територій.

3.1. Типи місцевостей та урочища міста.

У межах міста Житомира виділяються чотири основні типи місцевостей:

1. Вододільний хвилясто-рівнинний.
2. Схилувий ерозійно-денудаційний.
3. Терасовий алювіальний.
4. Заплавний алювіальний.

В межах кожного типу місцевостей можна виділити конкретні урочища та фації. Згідно з дослідженнями Маринича О.М. та Шищенка П.Г. [3], для території Житомирського Полісся характерним є переважання вододільних та схилувих місцевостей, що підтверджується також і для території міста Житомир.

3.2. Характеристика типових природних комплексів. За даними екологічного паспорту Житомирської області [25], а також на основі польових досліджень інших авторів [26], на території Житомира можна виділити такі типові природні комплекси:

Заплавний комплекс у долині р. Тетерів характеризується висотами 175-180 м над рівнем моря, алювіальними відкладами, алювіальними лучними ґрунтами та лучною рослинністю. Згідно з дослідженнями Дідуха Я.П. [27], в заплаві Тетерева представлені лучні угруповання класу *Molinio-Arrhenatheretea*.

Схилуві комплекси річкової долини Тетерева характеризуються крутизною 10-20°, сірими лісовими ґрунтами різного ступеня змитості. За даними геоботанічних досліджень [28], природна рослинність схилів представлена залишками грабово-дубових лісів союзу *Carpinion betuli*.

Вододільні комплекси розташовані на висоті 220-240 м, з дерново-підзолистими ґрунтами легкого механічного складу. Природна рослинність сильно трансформована і представлена переважно культурними насадженнями [29].

4. Природні та техногенні небезпеки ландшафтів Житомира.

4.1. Природні небезпеки. Згідно з офіційними даними Державної служби України з надзвичайних ситуацій [30], для території Житомира характерні такі природні небезпеки:

Гідрологічні небезпеки пов'язані переважно з весняними повенями на річці Тетерів. Історичні дані свідчать про значні повені на Тетереві у 1932, 1979, 1994 та 2013 роках [31]. За даними Обласного управління водних ресурсів, найбільш вразливими до затоплення є території Гідропарку та дачні ділянки у західній частині міста [32].

Геоморфологічні небезпеки представлені переважно ерозійними та зсувними процесами на схилах

долини Тетерева. За даними Регіональної доповіді про стан навколишнього природного середовища [33], на території міста виявлені локальні зсувні ділянки, особливо на крутих схилах південної експозиції.

Метеорологічні небезпеки включають сильні зливи, які можуть викликати локальні підтоплення, особливо в центральній частині міста з великою площею водонепроникних поверхонь [34].

4.2. Техногенні небезпеки. Техногенні небезпеки в ландшафтах Житомира пов'язані переважно з забрудненням атмосферного повітря, поверхневих і підземних вод, ґрунтів, а також з порушеннями природного дренажу території.

За даними екологічного моніторингу [35], до основних забруднювачів атмосферного повітря в місті належать об'єкти теплоенергетики та автотранспорт. Згідно зі статистичними даними, викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел у м. Житомирі складають близько 2,5 тис. тонн на рік [36].

Дослідження якості поверхневих вод р. Тетерів в межах міста, проведені Державним агентством водних ресурсів України, свідчать про перевищення нормативів за окремими показниками, зокрема за вмістом органічних речовин та біогенних елементів [37]. Основним джерелом забруднення є муніципальні стічні води та поверхневий стік з урбанізованих територій.

5. Заходи з оптимізації та стабілізації геосистем Житомира. На основі аналізу ландшафтної структури Житомира та характерних для міста природних і техногенних небезпек можна запропонувати такі заходи оптимізації міських геосистем:

1. **Для вододільних територій:**
 - о Збільшення площі зелених насаджень.
 - о Впровадження систем збору та використання дощових вод.
 - о Обмеження щільності забудови.
2. **Для схилувих територій:**
 - о Терасування крутих схилів.
 - о Заборона будівництва на схилах крутизною понад 15°.
 - о Розширення мережі зелених насаджень на схилах.
3. **Для заплавних територій:**
 - о Створення природоохоронних зон у заплаві Тетерева.
 - о Обмеження господарської діяльності в зонах потенційного затоплення.
 - о Відновлення природної рослинності заплави.

Ці рекомендації відповідають загальним принципам сталого розвитку міських територій та екологічно орієнтованого планування, викладеним у працях провідних українських ландшафтознавців [38, 39].

Головні висновки. На основі проведеного дослідження ландшафтів Житомира, структури його гео-

систем та пов'язаних з ними природних і техногенних небезпек можна зробити такі висновки:

1. Ландшафтна структура міста Житомира характеризується значною різноманітністю і мозаїчністю, що зумовлено розташуванням міста на межі фізико-географічних зон Полісся та Лісостепу, складною геологічною будовою території та глибоко розчленованим рельєфом долини річки Тетерів.

2. Провідними чинниками ландшафтної диференціації території міста є геолого-геоморфологічний, гідрологічний та антропогенний. Особливу роль відіграє залягання кристалічних порід Українського щита, які виходять на поверхню в долині Тетерева, формуючи пороги та круті схили.

3. У морфологічній структурі ландшафтів Житомира виділяються чотири основні типи місцевостей: вододільний хвилясто-рівнинний, схиловий ерозійно-денудаційний, терасовий алювіальний та заплавний алювіальний, кожен з яких характеризується специфічним набором урочищ і фацій.

4. Природні ландшафти Житомира зазнали значної антропогенної трансформації внаслідок тривалої історії розвитку міста. Найбільших змін зазнали вододільні ділянки, де природна рослинність майже повністю замінена міською забудовою. Натомість відносно збереженими залишаються схилі та заплавні комплекси, особливо в західній частині міста.

5. Ключові природні небезпеки в ландшафтах Житомира пов'язані з гідрологічними (повені, підтоплення) та геоморфологічними (ерозія, зсуви) процесами, які обумовлені природними особливостями території та посилюються внаслідок нераціонального природокористування.

6. Техногенні небезпеки у міських геосистемах представлені забрудненням атмосферного повітря, поверхневих і підземних вод, ґрунтів, а також порушеннями природного дренажу території внаслідок забудови та асфальтування поверхні. Найбільше техногенне навантаження характерне для центральної частини міста та промислових зон.

7. Важливим аспектом оптимізації ландшафтів Житомира є диференційований підхід до різних типів геосистем з урахуванням їхніх природних особливостей та рівня антропогенної трансформації. Особливу увагу слід приділити збереженню долино-річкових комплексів Тетерева як основи екологічного каркасу міста.

8. Збереження природного ландшафтного різноманіття території Житомира має стати одним із пріоритетів розвитку міста, оскільки саме ландшафтні особливості території визначають її естетичну привабливість, рекреаційний потенціал та загальну якість середовища для проживання населення.

9. Дослідження підтвердило, що ландшафтний підхід до аналізу урбанізованих територій дозволяє виявити взаємозв'язки між природними особливостями території та спектром характерних для неї природних і техногенних небезпек, що створює наукове підґрунтя для розробки ефективних заходів з оптимізації міського середовища.

10. Впровадження ландшафтного підходу в практику міського планування та управління Житомира дозволить підвищити ефективність використання території, забезпечити екологічну безпеку населення та сформувати комфортне міське середовище з урахуванням природних особливостей території.

Таким чином, комплексне дослідження ландшафтів Житомира, структури його геосистем, природних та техногенних небезпек регіону має важливе значення для оптимізації міського середовища та забезпечення сталого розвитку міста.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати комплексного дослідження ландшафтів Житомира, структури геосистем міста та пов'язаних з ними природних і техногенних небезпек мають значний потенціал практичного застосування у різних сферах.

По-перше, матеріали дослідження можуть бути використані при розробці та оновленні містобудівної документації Житомира, зокрема при коригуванні генерального плану міста, плану зонування території та детальних планів окремих мікрорайонів з урахуванням ландшафтних особливостей території та потенційних природних небезпек.

По-друге, виявлені закономірності ландшафтної диференціації території та встановлені взаємозв'язки між компонентами геосистем можуть стати основою для розробки муніципальної програми екологічного моніторингу, спрямованої на відстеження змін у стані міських ландшафтів та своєчасне виявлення потенційних загроз.

По-третє, запропоновані підходи до оптимізації різних типів міських геосистем можуть бути впроваджені у практику міського зеленого будівництва, благоустрою території та розвитку екологічної інфраструктури міста.

По-четверте, результати дослідження природних і техногенних небезпек, характерних для різних типів ландшафтів міста, можуть бути використані при розробці програм запобігання надзвичайним ситуаціям та планів реагування на них.

Нарешті, методологічний підхід та розроблені класифікаційні схеми можуть бути адаптовані для аналізу ландшафтів інших міст Українського Полісся, що мають подібні фізико-географічні умови, зокрема Рівного, Луцька, Новограда-Волинського, що сприятиме формуванню цілісної регіональної політики сталого розвитку міських територій.

Література

1. Гродзинський М. Д. Пізнання ландшафту: місце і простір : монографія. У 2-х т. Київ : ВПЦ «Київський університет», 2005. Т. 1. 431 с.
2. Денисик Г. І. Антропогенне ландшафтознавство : навч. посіб. Вінниця : ПП «ТД Едельвейс і К», 2012. 208 с.
3. Маринич О. М., Шищенко П. Г. Фізична географія України : підручник. Київ : Знання, 2006. 511 с.
4. Мельник А. В. Українські Карпати: еколого-ландшафтознавче дослідження. Львів : Вид-во ЛНУ ім. І. Франка, 2008. 288 с.
5. Рудько Г. І., Адаменко О. М. Конструктивна геоecологія: наукові основи та практичне втілення. Київ : Маклаут, 2009. 320 с.
6. Давиденко В. А. Ландшафтно-гідрологічний аналіз басейну річки Тетерів : автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Київ, 2004. 20 с.
7. Wu J. Urban ecology and sustainability: The state-of-the-science and future directions. *Landscape and Urban Planning*. 2014. Vol. 125. P. 209–221.
8. Alberti M. *Advances in Urban Ecology: Integrating Humans and Ecological Processes in Urban Ecosystems*. New York : Springer, 2008. 379 p.
9. Коротун І. М., Коротун С. І. Природні ресурси України. Рівне, 2000. 192 с.
10. Антропогенні ландшафти Правобережного Полісся / за ред. Ю. Г. Тютюнника. Київ-Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД», 2017. 248 с.
11. Хом'як І. В. Характеристика асоціації *Agrostio-Populetum tremulae* та *Epilobio-Salicetum capreae* класу *Epilobietea angustifolii* для Правобережного Полісся. *Укр. ботан. журн.* 2016. Т. 73, № 3. С. 239–254.
12. Клімат України / за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. Київ : Вид-во Раєвського, 2003. 343 с.
13. Осадчий В. І., Бабіченко В. М. Температура повітря на території України в сучасних умовах клімату. *Український географічний журнал*. 2013. № 4. С. 32–39.
14. Паламарчук М. М., Закорчевна Н. Б. Водний фонд України : довід. посіб. / за ред. В. М. Хорєва, К. А. Алієва. Київ : Ніка-Центр, 2001. 392 с.
15. Топографічна карта Житомира. URL: <https://uk-ua.topographic-map.com/map-8m7r14/Житомир/> (дата звернення: 10.02.2023).
16. Палієнко В. П., Матошко А. В., Барщевський М. Є. та ін. Морфоструктурно-неотектонічний аналіз території України. Київ : Наукова думка, 2013. 264 с.
17. Дідух Я. П., Шеляг-Сосонко Ю. Р. Геоботанічне районування України та суміжних територій. *Український ботанічний журнал*. 2003. Т. 60, № 1. С. 6–17.
18. Ковальчук І. П. Регіональний еколого-геоморфологічний аналіз. Львів : Інститут українознавства, 1997. 440 с.
19. Ковальчук І. П. Гідрологічні дослідження річкових систем : навч. посіб. Львів : ЛНУ імені І. Франка, 2013. 258 с.
20. Карта ґрунтів України. URL: <https://superagronom.com/karty/karta-gruntiv-ukrainy> (дата звернення: 10.02.2023).
21. Полупан М. І., Соловей В. Б., Величко В. А. Класифікація ґрунтів України. Київ : Аграрна наука, 2005. 300 с.
22. Національний атлас України / гол. ред. Л. Г. Руденко. Київ : ДНВП «Картографія», 2007. 435 с.
23. Камзіст Ж. С., Шевченко О. Л. Гідрогеологія України : навч. посіб. Київ : Фірма «ІНКІС», 2009. 614 с.
24. Шищенко П. Г. Принципи і методи ландшафтного аналізу в регіональному проектуванні. Київ : Фітосоціоцентр, 1999. 284 с.
25. Екологічний паспорт Житомирської області (2020 р.). Житомир : Департамент екології та природних ресурсів Житомирської ОДА, 2021. 177 с. URL: <https://eprdep.zht.gov.ua/Ekopasport%202020.pdf> (дата звернення: 10.02.2023).
26. Хом'як І. В. Фітоіндикаційна характеристика трансформації рослинних угруповань відновлюваної рослинності Центрального Полісся. Екосистеми їх оптимізація та охорона. 2011. Вип. 5 (24). С. 58–65.
27. Дідух Я. П. Фітоіндикація екологічних факторів. Київ : Наукова думка, 1994. 280 с.
28. Зелена книга України / за ред. Я. П. Дідуха. Київ : Альтерпрес, 2009. 448 с.
29. Фіторізноманіття заповідників і національних природних парків України. Ч. 1. Біосферні заповідники. Природні заповідники / за ред. В. А. Онищенко, Т. Л. Андрієнко. Київ : Фітосоціоцентр, 2012. 406 с.
30. Державна служба України з надзвичайних ситуацій. Інформаційний бюлетень про надзвичайні ситуації в Україні у 2020 році. Київ, 2021. 137 с.
31. Вишневецький В. І. Річки і водойми України. Стан і використання. Київ : Віпол, 2000. 376 с.
32. Обласне управління водних ресурсів у Житомирській області. Аналітичний звіт про водогосподарську обстановку в області. Житомир, 2020. 83 с.
33. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Житомирській області у 2020 році. Житомир : Департамент екології та природних ресурсів Житомирської ОДА, 2021. URL: <https://eprdep.zht.gov.ua/Regionalna%20dopovid%202021.pdf> (дата звернення: 10.02.2023).
34. Якушенко Д. Н. Класифікація екосистем Житомирського Полісся. *Український фітоценологічний збірник*. Київ, 2005. Сер. С. Вип. 1 (23). С. 15–34.
35. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Житомирській області у 2021 році. Житомир : Департамент екології та природних ресурсів Житомирської ОДА, 2021. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2022/10/Regionalna-dopovid-ZHytomyska-ODA-2021.pdf> (дата звернення: 10.02.2023).
36. Статистичний щорічник Житомирської області за 2020 рік. Житомир : Головне управління статистики у Житомирській області, 2021. URL: https://zt.ukrstat.gov.ua/Publikacii/zbirnyky/zbirn_schor2020.pdf (дата звернення: 10.02.2023).
37. Державне агентство водних ресурсів України. Басейнове управління водних ресурсів річки Прип'ять. Річний звіт про моніторинг якості поверхневих вод басейну р. Прип'ять за 2020 рік. URL: <https://buvrzt.gov.ua/> (дата звернення: 10.02.2023).
38. Гродзинський М. Д. Ландшафтна екологія : підручник. Київ : Либідь, 2014. 224 с.
39. Гавриленко О. П. Геоecологічне обґрунтування проектів природокористування : Навчальний посібник для студ. вищ. навч. закл. / О. П. Гавриленко. Київ : Ніка-Центр, 2003. 332 с.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПОВОДЖЕННЯ З РОСЛИННИМИ ВІДХОДАМИ В АГРАРНОМУ СЕКТОРІ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Василенко О.М., Овдіюк О.М.

Житомирський державний університет імені Івана Франка
вул. Велика Бердичівська, 40, 10008, м. Житомир
vasylenko-o@zu.edu.ua

У статті розкрито особливості управління рослинними відходами у сільському господарстві Житомирської області в умовах посилення вимог до екологічної безпеки та необхідності переходу до принципів сталого розвитку. Аналіз охоплює період 2014–2020 років і базується на офіційних статистичних даних Головного управління Держпродспоживслужби в Житомирській області щодо обсягів утворення, утилізації, спалювання, видалення та залишків побічної продукції рослинного походження.

З метою оцінки ефективності регіональної системи управління відходами у галузі рослинництва проведено розрахунок питомих показників утворення залишків у розрахунку на одиницю валової продукції трьох основних культур – зернових, картоплі та плодово-ягідної продукції. Виявлено стійку тенденцію до зниження питомого навантаження в усіх секторах, що свідчить про позитивні зрушення у виробничих технологіях, зменшення втрат при збиранні врожаю, а також потенційне вдосконалення підходів до повторного використання залишкової біомаси.

Проведено порівняльний аналіз динаміки питомих показників, який дозволив виявити приховані дисбаланси у системі обліку та підсвітити неефективність існуючих механізмів утилізації. Зазначено, що рівень утилізації залишається нестійким, а в окремі роки знижується до критичних значень, що створює ризики для екологічної безпеки регіону. Водночас зменшення обсягів залишків на кінець року не завжди супроводжується відповідним зростанням оброблення, що вказує на ймовірні прогалини у системі управлінського контролю.

Отримані результати мають практичну цінність для формування регіональної політики у сфері управління аграрними відходами, удосконалення системи моніторингу та впровадження принципів екологічного менеджменту в агропромисловому комплексі області. Запропонований підхід може бути використаний при розробленні локальних планів управління залишками сільськогосподарського виробництва та адаптації стратегій до вимог сталого розвитку.

Запропонована модель управління відходами від продукції рослинництва в Житомирській області, побудована на принципах сталого розвитку. *Ключові слова:* управління відходами, рослинні відходи, сільське господарство, Житомирська область, екологічна ефективність, утилізація.

Assessment of the efficiency of plant waste management in the agricultural sector of Zhytomyr region. Vasylenko O., Ovdiiuk O.

The article reveals the features of plant waste management in agriculture in Zhytomyr region in the context of increased requirements for environmental safety and the need to transition to the principles of sustainable development. The analysis covers the period 2014–2020 and is based on official statistical data of the Main Department of the State Service for Food and Consumer Protection in Zhytomyr region on the volumes of formation, utilization, incineration, disposal and residues of by-products of plant origin.

In order to assess the effectiveness of the regional waste management system in the field of crop production, the calculation of specific indicators of residue formation per unit of gross output of three main crops – cereals, potatoes and fruit and berry products was carried out. A steady trend towards a decrease in the specific load in all sectors was revealed, which indicates positive developments in production technologies, a decrease in losses during harvesting, as well as a potential improvement in approaches to the reuse of residual biomass.

A comparative analysis of the dynamics of specific indicators was carried out, which allowed to identify hidden imbalances in the accounting system and highlight the inefficiency of existing disposal mechanisms. It was noted that the level of disposal remains unstable, and in some years it decreases to critical values, which creates risks for the ecological safety of the region. At the same time, a decrease in the volume of residues at the end of the year is not always accompanied by a corresponding increase in processing, which indicates possible gaps in the management control system.

The results obtained have practical value for the formation of regional policy in the field of agricultural waste management, improvement of the monitoring system and implementation of environmental management principles in the agro-industrial complex of the region. The proposed approach can be used in the development of local plans for the management of agricultural production residues and the adaptation of strategies to the requirements of sustainable development.

A model for managing waste from crop production in the Zhytomyr region is proposed, built on the principles of sustainable development. *Key words:* waste management, plant waste, agriculture, Zhytomyr region, environmental efficiency, utilization.

Постановка проблеми. Одним із ключових екологічних викликів сучасного сільського господарства є проблема ефективного управління відходами, зокрема рослинного походження. У процесі вирощування сільськогосподарських культур щороку утворюються значні обсяги побічної продукції, які при неналежному поводженні можуть призводити до деградації ґрунтів, забруднення атмосферного повітря та втрати біоресурсів.

В умовах трансформації аграрного сектора та зростання обсягів виробництва, особливо в регіонах з інтенсивним землеробством, таких як Житомирська область, постає необхідність не лише кількісного обліку утворення відходів, а й науково обґрунтованого прогнозування їх обсягів. Такий підхід дозволяє забезпечити екологічну безпеку, оптимізувати ресурси та приймати ефективні управлінські рішення.

Незважаючи на наявність статистичних даних, в Україні відсутні розроблені математичні моделі, які б дозволяли прогнозувати питомі показники утворення рослинних відходів у розрізі регіонів. Це зумовлює потребу в застосуванні кількісних методів аналізу та розробці інструментів прогнозування, що базуються на перевірених статистичних підходах.

Актуальність дослідження. У контексті сучасних викликів кліматичних змін, екологічної деградації та посилення вимог до екологічної безпеки виробництва особливої уваги набуває питання сталого управління відходами в аграрному секторі. Рослинні залишки, які утворюються у процесі вирощування сільськогосподарських культур, досі часто розглядаються як баласт, що підлягає знищенню, переважно через спалювання. Такий підхід суперечить принципам сталого розвитку та екологічно відповідального землекористування.

В умовах децентралізації влади та зростання відповідальності територіальних громад за стан довкілля, особливої ваги набуває питання оцінки ефективності реалізованих практик поводження з відходами на рівні окремих регіонів. Житомирська область, як один із типових аграрних регіонів, демонструє значні обсяги утворення побічної рослинної маси, проте рівень її використання та знешкодження залишається нерівномірним і недостатньо контрольованим.

Недостатність системного аналізу, відсутність об'єктивних показників ефективності, а також фрагментарність статистичних даних створюють бар'єри для формування цілісної екологічної політики у сфері сільського господарства. Саме тому вивчення механізмів поводження з рослинними відходами, їх аналітична оцінка та виявлення слабких місць системи мають не лише наукову, а й суттєву практичну цінність для місцевих органів управління, агровиробників і екологічних служб.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями

Проведене дослідження стосується тематики, яка має прикладне значення для аграрного виробництва та природоохоронної діяльності.

Результати дослідження можуть бути корисними для працівників органів місцевого самоврядування, фахівців у сфері екології, а також аграрних підприємств, які займаються управлінням залишками виробництва. Практичне застосування отриманих результатів можливе в процесі розроблення місцевих програм з екологічної безпеки, впровадження технологій повторного використання побічної продукції, а також для удосконалення системи обліку та контролю за утворенням відходів.

Робота враховує положення низки нормативно-правових актів, зокрема Національної стратегії управління відходами до 2030 року [1], Стратегії екологічної політики України до 2030 року [2], Концепції розвитку сільських територій до 2030 року [3], Національного плану управління відходами [4], а також зобов'язань України у межах Угоди про асоціацію з ЄС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останні наукові дослідження, присвячені тематичі поводження з відходами в сільському господарстві, висвітлюють широкий спектр питань – від кількісної оцінки обсягів до екологічного, енергетичного та управлінського аспектів.

Значна увага приділяється регіональному аналізу утворення та накопичення відходів. Виявлено, що темпи зростання обсягів рослинних залишків у деяких регіонах перевищують середні показники, що вимагає застосування системного підходу до планування їх переробки та утилізації [5]. Рекомендовано удосконалити моніторинг та звітність, зокрема в сільських громадах, де сільськогосподарські підприємства є основними утворювачами відходів.

Частина публікацій зосереджена на впровадженні елементів циркулярної економіки в аграрному виробництві. Акцент зроблено на можливості повторного використання залишків культур (соломи, стебел, лушпиння) для отримання біоенергії, компосту та органічних добрив. Відзначається, що впровадження таких практик дозволяє не лише зменшити навантаження на довкілля, але й підвищити ресурсну ефективність господарств [6].

Дослідження також торкаються питань класифікації аграрних відходів і виявляють значні розбіжності між фактичними та задекларованими обсягами, що надходять у систему обліку [7]. Окрема увага приділяється використанню сільськогосподарських залишків як сировини для біогазових установок, що дозволяє диверсифікувати джерела енергії в аграрному секторі [8].

У ряді робіт проаналізовано досвід зарубіжних країн щодо запровадження комплексних систем управління аграрними відходами, включаючи електронний облік, регіональні стратегії та економічне стимулювання утилізації [9].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття Попри наявність досліджень, присвячених загальним аспектам поводження з аграрними відходами, питання оцінки ефективності управління рослинними залишками на регіональному рівні залишається недостатньо розробленим. У більшості випадків аналіз зводиться до опису обсягів утворення чи потенціалу для утилізації, без урахування взаємозв'язків між кількісними показниками, способами оброблення відходів та динамікою змін у часовому розрізі.

Недостатньо дослідженою є також проблема достовірності статистичних даних щодо утилізації та видалення рослинних залишків, що ускладнює проведення комплексної оцінки ефективності існуючих механізмів управління. Крім того, відсутні систематизовані підходи до порівняльного аналізу питомих показників утворення відходів у прив'язці до обсягів виробленої продукції. [10].

Новизна дослідження. У межах проведеного дослідження вперше здійснено спробу комплексної оцінки ефективності поводження з рослинними відходами у сільському господарстві на прикладі Житомирської області на основі офіційних статистичних даних. Відмінною рисою дослідження є використання питомого показника утворення відходів у перерахунку на одиницю валової аграрної продукції як інтегрального індикатора рівня екологічної ефективності аграрного виробництва.

Запропоновано системний підхід до порівняльного аналізу обсягів утворення, утилізації, спалювання та видалення рослинних залишків з одночасним урахуванням їх динаміки у часовому розрізі. Такий підхід дозволяє ідентифікувати критичні етапи функціонування системи управління відходами та обґрунтувати необхідність адаптації локальних механізмів поводження з побічною біомасою до сучасних екологічних вимог.

Дослідження доповнює існуючу наукову базу у сфері агроєкології та управління відходами, формуючи передумови для розробки регіональних показників ефективності, які можуть бути використані при формуванні місцевих планів і програм екологічної безпеки.

Методологічне та загальнонаукове значення. Методологічне значення дослідження полягає у впровадженні кількісного підходу до оцінки ефективності поводження з рослинними відходами в аграрному секторі на основі питомих індикаторів. Запропонована система оцінювання базується на порівнянні динамічних рядів статистичних показників за елементами поводження з відходами: утворення, утилізація, спалювання, видалення та залишки на кінець періоду. Такий підхід забезпечує більшу об'єктивність аналітичних висновків порівняно з описовими або нормативно орієнтованими методами.

Загальнонаукове значення полягає у формалізації інструментів кількісного аналізу екологічної ефективності аграрного виробництва та уніфікації підходів до інтерпретації даних, які можуть бути адаптовані до інших регіонів або типів біологічних відходів. Запропонована методика сприяє розвитку міждисциплінарного діалогу між фахівцями у галузі агроєкології, статистики, економіки природокористування та регіонального управління.

Крім того, результати дослідження можуть бути використані як основа для розробки локальних систем моніторингу поводження з побічною аграрною продукцією, що відповідає сучасним вимогам екологічного врядування і концепції сталого розвитку.

Викладення основного матеріалу.

Житомирська область характеризується високим рівнем розвитку аграрного сектору, в межах якого щорічно утворюється значний обсяг різноманітних видів відходів. Серед них переважають відходи рослинного походження, що виникають у процесі вирощування сільськогосподарських культур, а також відходи тваринного походження та залишки хімічних засобів захисту рослин (ХЗЗР), включаючи непридатні препарати, використану тару та пакувальні матеріали [4].

Виробничу основу агропромислового комплексу області формують 2496 сільськогосподарських підприємств, 1246 фермерських господарств, 178,6 тис. особистих селянських господарств, а також близько 200 підприємств харчової та переробної промисловості [4].

Результати дослідження ґрунтуються на аналізі статистичних даних щодо утворення та оброблення рослинних відходів у Житомирській області за період 2014–2020 рр. Застосовано кількісні методи для виявлення динаміки змін та оцінки ефективності заходів управління відходами.

Для аналізу використано офіційні дані Головного управління Держпродспоживслужби в Житомирській області, що охоплюють період з 2014 по 2020 роки [4]. Основна увага зосереджена на показниках утворення, утилізації, спалювання, видалення та залишків рослинних відходів.

Згідно з представленими даними (рис. 1), найбільша кількість рослинних відходів зафіксована у 2014 році – майже 300 тис. тонн, після чого спостерігається різке зниження до мінімального рівня у 2020 році (32 тис. тонн). При цьому рівень утилізації відходів протягом досліджуваного періоду залишається значно нижчим за рівень їх утворення. Наприклад, у 2014 році утилізовано лише близько 4% від загального обсягу, а в 2020 – менш ніж 1%. Натомість, протягом ряду років спостерігається збільшення обсягів спалювання, що може свідчити про відсутність ефективних інфраструктурних рішень з переробки відходів.

Важливим є і показник залишків на кінець року: до 2018 року він був на рівні понад 70–90 тис. тонн,

Динаміка утворення та оброблення рослинних відходів у Житомирській області (2014–2020)

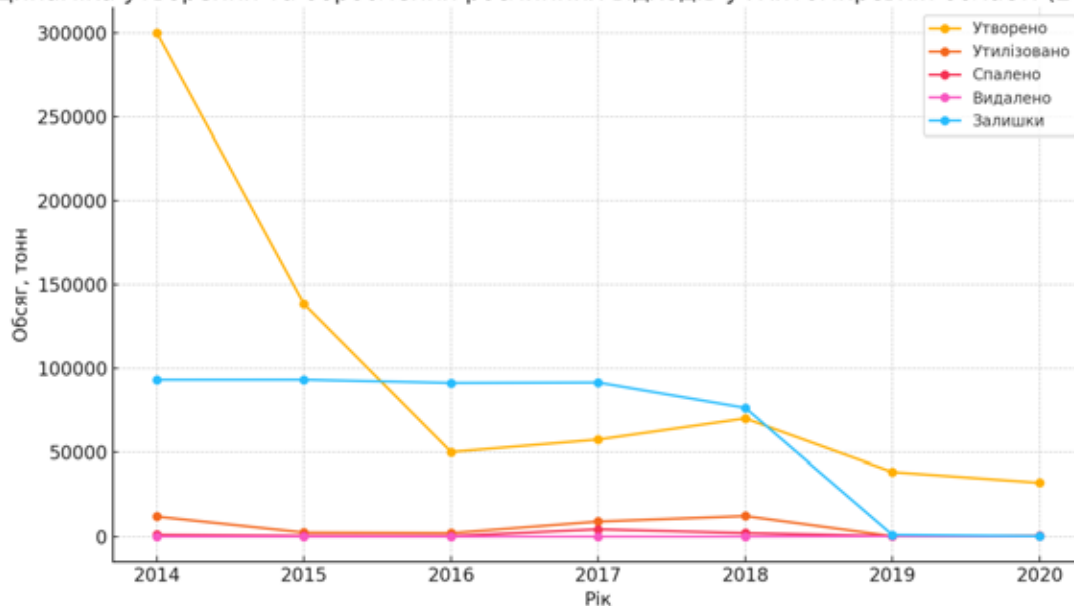


Рис. 1. Динаміка утворення та оброблення рослинних відходів у Житомирській області (2014–2020 рр.)
Джерело: Головне управління Держпродспоживслужби в Житомирській області



Рис. 2. Питомі показники утворення рослинних відходів у Житомирській області
Джерело: Головне управління Держпродспоживслужби в Житомирській області

а з 2019 року впав до 1005 т, і ще нижче – у 2020 році (263 тонн). Це свідчить або про різке зменшення обсягів накопичення відходів, або про зміну системи обліку і звітності.

Побудований графік дає змогу простежити основні тенденції та виявити критичні дисбаланси в системі поводження з аграрними відходами.

Найбільше занепокоєння викликає відносно високий рівень спалювання при відсутності відповідної утилізаційної інфраструктури, що створює ризики забруднення повітря та ґрунтів.

З метою виявлення тенденцій зміни рівня утворення рослинних відходів на одиницю валової продукції у розрізі основних видів аграрного виробни-

цтва Житомирської області за 2014–2020 рр. було побудовано графік питомих показників (рис. 2). Такий підхід дозволив здійснити порівняльну оцінку екологічної ефективності сільськогосподарської діяльності у динаміці та виявити особливості впливу інтенсивності виробництва на обсяг побічної продукції. Візуалізація спрямована на аналіз ресурсозбереження у зерновому господарстві, картоплярстві та ягідництві, що відіграють провідну роль у структурі аграрного сектору регіону.

Для зернових культур протягом досліджуваного періоду спостерігається чітка тенденція до зменшення питомих показників. У 2014 році вони перевищували 0,176 т. відходів на 1 т. продукції, натомість у 2020 році знизилися до рівня близько 0,013 т. Це може свідчити про впровадження більш раціональних технологій збирання, зменшення втрат, а також покращення обліку залишкової біомаси або зміни у структурі вирощуваних культур на користь менш відходоємних.

Для картоплі спостерігається подібна тенденція. У 2014 році питомі втрати становили приблизно 0,23 т на 1 т продукції, а в 2020 році – лише 0,018 т. Це свідчить про певний технологічний прогрес у сфері вирощування та зберігання коренеплодів, зокрема за рахунок впровадження сучасних сховищ та зменшення втрат на післязбиральному етапі. Зменшення питомих втрат для цієї групи

є особливо важливим, враховуючи значну роль картоплярства у регіоні.

Найбільш різкими та нестабільними є зміни показників для плодово-ягідної продукції. Починаючи з 2014 року, спостерігається значне зменшення питомих відходів з високим коефіцієнтом варіації, що пов'язано з невеликою загальною масою валової продукції цієї групи. У 2014 році значення становило 6,78 т на 1 т продукції, а в 2020 – вже лише 0,74 т. Така динаміка може бути обумовлена як розширенням обсягів інтенсивних плантацій із вищим коефіцієнтом використання біомаси, так і неточностями у звітності щодо побічної продукції плодів і ягід.

Побудовано концептуальну модель управління відходами, що утворюються внаслідок виробництва продукції рослинництва в Житомирській області (рис. 3). Запропонована модель ґрунтується на принципах економічної доцільності, екологічної безпеки та адаптивності до умов конкретного регіону. У подальшому розглянемо основні етапи її розроблення та практичного впровадження.

Першим етапом виступає аналіз джерел та обсягів утворення відходів, що передбачає обов'язкове проведення інвентаризації сільськогосподарських підприємств і фермерських господарств, які беруть участь у виробничому процесі. Цей етап супроводжується просторовим картографуванням джерел

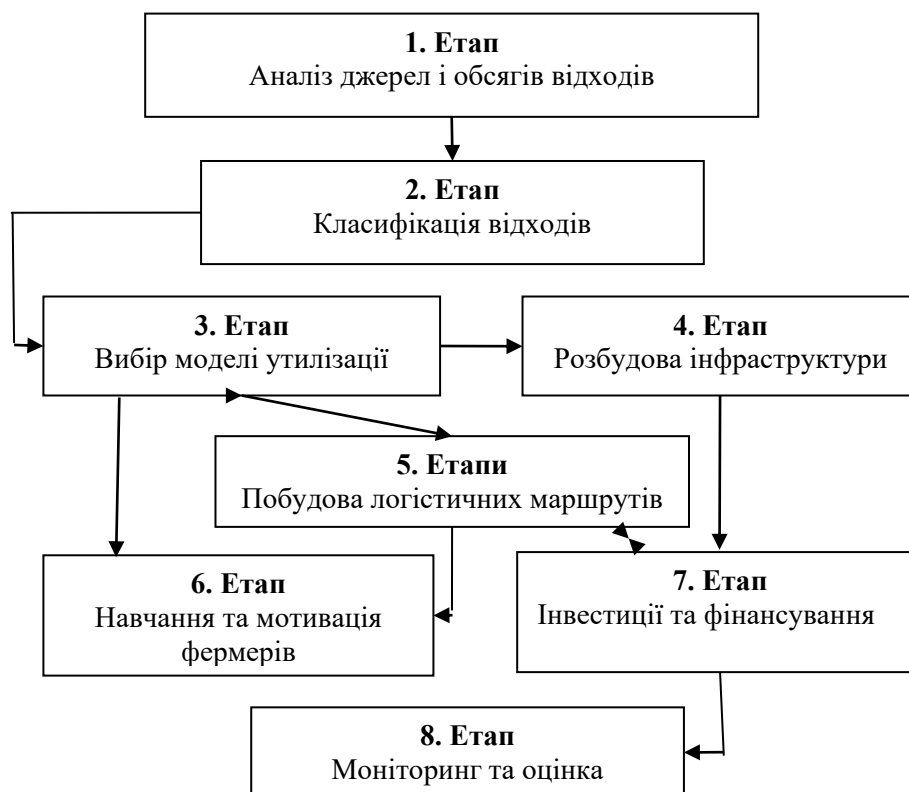


Рис. 3. Модель управління відходами від продукції рослинництва в Житомирській області

Джерело: власні дослідження

утворення залишків за допомогою геоінформаційних систем (ГІС).

Другим етапом є класифікація рослинних залишків відповідно до їх морфологічної структури та потенціалу для подальшої переробки. До основних категорій належать біомаса (солома, лушпиння, стебла), що придатна для компостування, виробництва біогазу або перетворення на паливні гранули (пелети).

На основі класифікації здійснюється вибір моделі утилізації, адаптованої до масштабів господарювання. Для дрібних фермерських господарств доцільним є використання локальних систем компостування. Середні господарства можуть застосовувати мобільні подрібнювачі та реалізовувати надлишкову біомасу. У межах аграрних кластерів можлива організація кооперативних установ із виробництва біогазу на базі спільного використання технічних і технологічних ресурсів.

Наступним етапом реалізації моделі є формування логістичної інфраструктури, що передбачає оптимізацію маршрутів збору рослинних відходів та визначення місць розташування локальних пунктів їх зберігання. Важливою складовою цього процесу є розбудова інженерно-технологічної інфраструктури, яка має відповідати вимогам ефективного використання біомаси. До таких об'єктів можуть належати біогазові установки, компостні майданчики, а також сервісні центри з обслуговування відповідної техніки.

З урахуванням особливостей попередніх етапів розробки моделі управління, на наступному кроці доцільним є пошук джерел фінансування та інвесторів, зацікавлених у впровадженні запропонованих рішень. Потенційними каналами фінансування можуть виступати програми підтримки Європейського Союзу, державні цільові фонди, а також формати державно-приватного партнерства, зокрема через залучення бізнесу до закупівлі та переробки сировини.

Окрему увагу слід приділити питанням навчання та підвищення кваліфікації учасників процесу. В межах реалізації моделі необхідно забезпечити проведення освітніх тренінгів, розробку інформаційних кампаній, а також формування системи мотивацій для фермерських господарств з метою сприяння переходу до нових форм екологічно орієнтованого управління залишками рослинного походження.

Завершальним етапом моделі є впровадження системи моніторингу та оцінки її ефективності. Передбачається використання механізмів екологічного та економічного аудиту, що дозволить здійснювати гнучке коригування управлінських рішень у відповідь на зміну умов функціонування аграрного сектору. Такий підхід сприяє не лише мінімізації негативного впливу на навколишнє природне середовище, але й підвищенню ресурсної ефективності та соціально-економічної стабільності громад.

Запропонована модель управління відходами побудована відповідно до принципів сталого розвитку. Вона орієнтована на досягнення балансу між економічними вигодами, екологічною безпекою та соціальними потребами місцевого населення. У сфері поводження з рослинними залишками модель не лише забезпечує зменшення антропогенного навантаження, але й створює можливості для залучення відходів як ресурсу, здатного генерувати додану вартість та підвищувати якість життя в регіоні.

Висновки. Проведене дослідження засвідчило наявність структурних і динамічних зрушень у системі поводження з рослинними відходами у Житомирській області протягом 2014–2020 років. Основною тенденцією є зменшення загального обсягу утворення рослинних залишків, що, з одного боку, може бути зумовлено впровадженням новітніх агротехнологій, а з іншого – недосконалістю системи обліку побічної продукції. Показники утилізації залишаються на критично низькому рівні, не забезпечуючи належного екологічного ефекту, що вказує на неефективність інфраструктури з переробки біомаси. Підвищення обсягів спалювання відходів, зафіксоване в окремі роки, створює ризики для стану довкілля та є симптомом відсутності альтернативних рішень на місцях.

Особливу увагу приділено питомим показникам утворення рослинних відходів у розрахунку на одиницю виробленої продукції. Виявлено виразну тенденцію до зниження цих показників у трьох основних напрямках сільськогосподарського виробництва – зерновому господарстві, картоплярстві та ягідництві. Таке зниження свідчить про підвищення технологічної ефективності обробки культур, зменшення втрат урожаю, а також про часткову адаптацію виробників до принципів ресурсозбереження. Водночас, значні коливання питомих показників у плодово-ягідному секторі можуть бути ознакою неповного або нерегулярного обліку побічної продукції.

Інтеграція кількісних підходів до оцінки ефективності поводження з рослинними залишками, зокрема розрахунок питомих індикаторів, дозволила виявити приховані дисбаланси між обсягами виробництва та масштабами утворення відходів. Це створює підґрунтя для формування регіональних екологічних індикаторів, які можуть бути використані при плануванні політики поводження з аграрними відходами на рівні громад і територіальних одиниць.

Результати дослідження також вказують на потребу у впровадженні уніфікованої системи обліку залишкової біомаси, розвитку логістики з її збору та переробки, а також стимулювання локальних ініціатив із впровадження циркулярних рішень у сільському господарстві. Зокрема, перспективним є використання рослинних залишків як джерела біоенергії, субстрату для компостування або альтернативного сировинного ресурсу.

Перспективи дослідження. Результати проведеного дослідження відкривають низку напрямів для подальшого наукового опрацювання. Одним із ключових завдань є розширення просторово-часових меж аналізу шляхом залучення даних з інших регіонів України для здійснення порівняльної оцінки ефективності систем поводження з рослинними відходами. Такий підхід дозволить виявити міжрегіональні особливості та запропонувати адаптивні моделі управління, чутливі до специфіки аграрного виробництва на різних територіях.

Доцільним є також поглиблення методології прогнозування, зокрема шляхом застосування багатоваріантних регресійних моделей, які враховуватимуть додаткові змінні – структуру посівів, кліматичні умови, впровадження технологій біоутилізації

тощо. Це сприятиме підвищенню точності прогнозів і формуванню обґрунтованих управлінських рішень на місцевому рівні.

Окремої уваги заслуговує дослідження соціально-економічних чинників, які впливають на ефективність утилізації залишкової біомаси, а також оцінка впровадження політик стимулювання відповідальної поведінки аграрних суб'єктів. Перспективним є аналіз потенціалу використання рослинних відходів у системах відновлюваної енергетики та ґрунтового відновлення.

Урахування запропонованих підходів у подальших наукових розробках дозволить сформувати комплексну модель управління аграрними відходами, що відповідатиме вимогам сталого розвитку та екологічної безпеки.

Література

1. Україна. Кабінет Міністрів. Про затвердження Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року: розпорядження Кабінету Міністрів України від 08 листопада 2017 р. № 820-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80> (дата звернення: 10.04.2025).
2. Україна. Верховна Рада. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року: Закон України від 28 лютого 2019 р. № 2697-VIII URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19> (дата звернення: 10.04.2025).
3. Україна. Кабінет Міністрів. Про схвалення Концепції розвитку сільських територій: розпорядження Кабінету Міністрів України від 23 грудня 2020 р. № 1669-р URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1669-2020-%D1%80> (дата звернення: 10.04.2025).
4. Україна. Кабінет Міністрів. Про затвердження Національного плану управління відходами до 2030 року: постанова Кабінету Міністрів України від 20 лютого 2019 р. № 117 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/117-2019-%D0%BF> (дата звернення: 10.04.2025).
5. Жук П. Відходи сільського господарства в Україні: обсяги утворення та питання рециклінгу. *Екологічна політика та природокористування*. 2022. Вип. 3(155). С. 21-28. DOI: 10.36818/2071-4653-2022-3-4.
6. Духневич А. В., Карпінська Н. В. Стратегічне управління відходами в аграрному секторі для досягнення цілей сталого розвитку. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. 2025. Вип. 87(2). С. 187-194. DOI: 10.24144/2307-3322.2025.87.2.27.
7. Кухар О. В. Теоретико-правове визначення поняття «відходи сільського господарства». *Право. Людина. Довкілля*. 2021. Т. 12. № 1. С. 75-84. DOI: 10.31548/law2021.01.008.
8. Токарчук Д. М. Управління ефективним використанням сільськогосподарських відходів для виробництва біогазу. *Облік і фінанси*. 2018. № 3(81). С. 133-139.
9. Усата Н. Світовий досвід ефективного управління відходами агропромислового виробництва. *Acta Academiae Beregsasiensis. Economics*. 2023. № 4. С. 112-117. DOI: 10.58423/2786-6742/2023-4-153-163.
10. Методичні рекомендації щодо оцінки (прогнозування) обсягу та складу відходів URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2024/12/1569nMetodychni.docx> (дата звернення: 10.04.2025).

УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВІДХОДІВ ВИДОБУВНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Іващенко Т.Г., Маркіна Л.М., Рижов Г.О., Власенко О.В., Ковтунов О.В., Коваленко Д.В.

Державна екологічна Академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ
ema.dea@ukr.net

Видобувна промисловість в Україні є значним джерелом екологічної небезпеки завдяки утворенню значних обсягів небезпечних відходів – шлаки, хвости гірничо-збагачувальних комбінатів, забруднені бурові розчини. Накопичені обсяги таких відходів сягають мільярдів тон і продовжують зростати, створюючи серйозну загрозу для довкілля та здоров'я населення. Існуюча система управління екологічною безпекою у сфері поводження з цими відходами часто є неефективною, що зумовлено низкою факторів, зокрема, це застарілі технології, недостатнє фінансування природоохоронних заходів, низький рівень екологічної свідомості та недосконалість законодавчої бази.

У статті досліджуються проблеми управління екологічною безпекою небезпечних відходів видобувної промисловості в Україні, розробка та впровадження нових, більш досконалих підходів до управління цими відходами, що базуються на принципах сталого розвитку, застосуванні новітніх безпечних технологій та врахуванні міжнародного досвіду. Для досягнення цієї мети було проведено аналіз наукової літератури та практичного досвіду, оцінку існуючих технологій управління відходами, обґрунтування нових науково обґрунтованих підходів та аналіз останніх досліджень у цій сфері.

Запропоновано концептуальну модель інтегрованої системи управління екологічною безпекою небезпечних відходів видобувної промисловості України. Така модель базується на принципах сталого розвитку, ієрархії управління відходами, циркулярної економіки та застосуванні новітніх безпечних технологій. Також обґрунтовано пріоритетні напрями впровадження новітніх безпечних технологій для переробки, утилізації та захоронення різних видів небезпечних відходів.

Проаналізований сучасний стан управління відходами видобувної промисловості в Україні, означені основні проблеми та недоліки існуючої системи. Розглянутий позитивний досвід поводження з відходами буріння із застосуванням технології зневоднення бурових відходів за допомогою «Фільтрувального басейну».

Результати дослідження можуть використовуватися під час розробки та впровадження ефективних систем управління відходами у видобувній промисловості України, що сприятиме зменшенню негативного впливу на довкілля, забезпеченню екологічної безпеки та сталому розвитку галузі. *Ключові слова:* екологізація виробництва, сталий розвиток, відходи видобувної промисловості, управління відходами, екологічна безпека, новітні технології.

Environmental safety management of hazardous waste from the extractive industry. Ivashchenko T., Markina L., Ryzhov H., Vlasenko O., Kovtunov O., Kovalenko D.

The mining industry in Ukraine is a significant source of environmental hazard due to the generation of large volumes of hazardous waste, such as slag, tailings from mining and processing plants, and contaminated drilling fluids. The accumulated volumes of these wastes reach billions of tons and continue to grow, posing a serious threat to the environment and public health. The existing system of environmental safety management in the field of handling these wastes is often ineffective, due to a number of factors, including outdated technologies, insufficient funding for environmental protection measures, low levels of environmental awareness, and imperfections in the legislative framework.

This article investigates the problems of environmental safety management of hazardous waste from the mining industry in Ukraine. The aim is to develop and implement new, more advanced approaches to the management of these wastes, based on the principles of sustainable development, the application of the latest safe technologies, and consideration of international experience. To achieve this goal, an analysis of scientific literature and practical experience, an assessment of existing waste management technologies, substantiation of new scientifically sound approaches, and an analysis of the latest research in this field were conducted.

A conceptual model of an integrated system for environmental safety management of hazardous waste from the mining industry in Ukraine is proposed. This model is based on the principles of sustainable development, the waste management hierarchy, the circular economy, and the application of the latest safe technologies. Priority directions for the implementation of the latest safe technologies for the processing, utilization, and disposal of various types of hazardous waste are also substantiated.

The current state of waste management in the mining industry in Ukraine is analyzed, and the main problems and shortcomings of the existing system are identified. Positive experience in handling drilling waste using the technology of dewatering drilling waste with a «Filter Basin» is considered.

The results of the research can be used to develop and implement effective waste management systems in the mining industry of Ukraine, which will help to reduce the negative impact on the environment, ensure environmental safety, and promote sustainable development of the industry. *Key words:* greening of production, sustainable development, mining waste, waste management, environmental safety, innovative technologies.

Постановка проблеми. Видобувна промисловість України, попри свою стратегічну важливість для економіки, є значним джерелом екологічної небезпеки. Видобувна промисловість є однією з найбільш відходоутворюючих галузей економіки України. Накопичені обсяги небезпеч-

них відходів сягають мільярдів тонн і продовжують зростати.

Утворення великих обсягів небезпечних відходів, таких як шлаки, хвости гірничо-збагачувальних комбінатів, забруднені бурові розчини та інші, становить серйозну загрозу для довкілля та здоров'я населення. В нашій країні домінує практика розміщення цих відходів у спеціально відведених місцях, таких як відвали, шламосховища, хвостосховища та полігони. Проте, подібний метод зберігання призводить до відчуження значних земельних площ, включаючи сільськогосподарські угіддя, та нерідко стає причиною забруднення атмосферного повітря, ґрунтового покриву та підземних водних ресурсів, а також до деградації ландшафтів і втрати біорізноманіття. Неналежне управління цими відходами призводить до порушення головних принципів поводження з відходами: «забруднювач платить» та принципом розширеної відповідальності виробника.

Актуальність дослідження. Значні обсяги генерації відходів у видобувній промисловості обумовлені тим фактом, що вміст цінних компонентів часто становить лише незначну частину від загальної маси видобутої сировини. За показниками утворення таких відходів Україна посідає одне з лідируючих місць серед країн Європи (табл. 1 та табл 2). Накопичення цих матеріалів, що сягають своїм

корінням ще в радянський період, продовжують зростати рік у рік, зокрема через історичну відсутність державної стратегії щодо комплексного управління відходами видобувної галузі [2].

Існуюча система управління екологічною безпекою у сфері поводження з відходами видобувної промисловості в Україні часто є недостатньо ефективною. Це зумовлено низкою факторів, серед яких (рис. 1):

- на багатьох підприємствах використовуються ще радянські технології, що не відповідають сучасним екологічним стандартам і призводять до утворення значних обсягів відходів;
- часто екологічні витрати розглядаються як другорядні, що призводить до обмеження впровадження ефективних методів управління відходами;
- існуючі норми та правила не завжди повною мірою враховують специфіку небезпечних відходів видобувної промисловості та не забезпечують належного контролю за їхнім поводженням;
- як серед керівництва підприємств, так і серед населення часто спостерігається недостатнє розуміння потенційних екологічних наслідків неналежного поводження з відходами;
- часто управління відходами здійснюється фрагментарно, без урахування всього життєвого циклу відходів та їхнього впливу на різні компоненти довкілля [4].

Таблиця 1

Утворення та переробка відходів видобувної промисловості в Україні

Рік	Утворені відходи (млн тонн)	Перероблені відходи (млн тонн)	Захоронені відходи (млн тонн)
2020	462.4	13.87	448.53
2021	470.0	14.10	455.90
2022	480.0	14.40	465.60
2023	490.0	14.70	475.30
2024	500.0	15.00	485.00
2025	510.0	15.30	494.70

Джерело: за даними Державної служби статистики України (<http://www.ukrstat.gov.ua>) [2]

Таблиця 2

Світове утворення та переробка відходів видобувної промисловості

Країна	Тип відходів	Обсяг утворення відходів	Обсяг переробки відходів
Китай	Тверді	~1 500 млн тонн/рік	~600 млн тонн/рік
Індія	Тверді	~300 млн тонн/рік	~100 млн тонн/рік
США	Тверді	~30 млн тонн/рік	~20 млн тонн/рік
Австралія	Тверді	~500 млн тонн/рік	~250 млн тонн/рік
Бразилія	Тверді	~200 млн тонн/рік	~80 млн тонн/рік
Південна Африка	Тверді	~80 млн тонн/рік	~30 млн тонн/рік
Канада	Тверді, рідкі	~40 млн тонн/рік	~25 млн тонн/рік
Норвегія	Газоподібні	~2 млрд куб.м/рік	~1,5 млрд куб.м/рік
Чилі	Тверді	~1 млн тонн/рік	~600 тис. тонн/рік

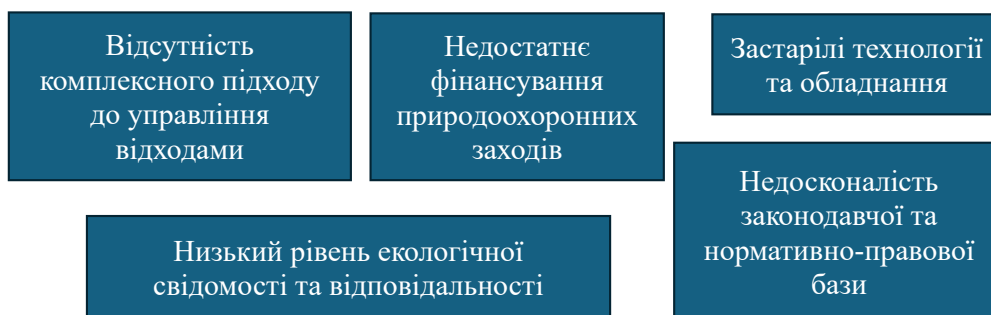


Рис. 1. Фактори неефективності існуючої системи управління екологічною безпекою у сфері поводження з небезпечними відходами видобувної промисловості

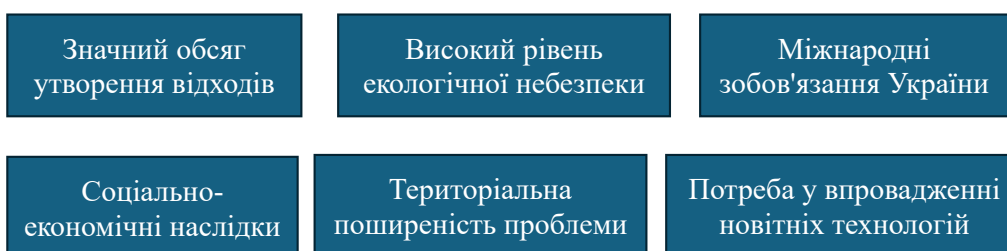


Рис. 2. Чинники екологічної безпеки управління відходами видобувної промисловості

Усе це обумовлює необхідність розробки та впровадження нових, більш досконалих підходів до управління екологічною безпекою небезпечних відходів видобувної промисловості України, що базуються на принципах сталого розвитку, застосуванні новітніх безпечних технологій та врахуванні міжнародного досвіду.

Актуальність дослідження проблем управління екологічною безпекою небезпечних відходів видобувної промисловості України зумовлена низкою важливих чинників (рис. 2).

Небезпечні відходи видобувної промисловості містять токсичні речовини, важкі метали, радіонукліди та інші забруднюючі елементи, які можуть спричинити серйозні наслідки для довкілля та здоров'я людей. Забруднення ґрунтів призводить до втрати їхньої родючості, забруднення водних об'єктів робить воду непридатною для пиття та господарських потреб, а забруднення атмосферного повітря негативно впливає на здоров'я населення.

Підприємства видобувної промисловості розташовані в різних регіонах України, що означає поширеність проблеми забруднення небезпечними відходами на значних територіях. Це створює ризики для екологічної безпеки багатьох населених пунктів та екосистем [5].

На багатьох підприємствах екологічні питання розглядаються як другорядні, що призводить до порушень природоохоронного законодавства та неналежного поводження з відходами.

Екологічні проблеми, спричинені неналежним управлінням відходами, можуть призводити до соціальної напруженості, погіршення якості життя населення, зниження інвестиційної привабливості регіонів та економічних збитків, пов'язаних із ліквідацією наслідків забруднення та втратою природних ресурсів.

Україна має міжнародні зобов'язання у сфері охорони довкілля та управління відходами, зокрема в рамках Угоди про асоціацію з ЄС. Виконання цих зобов'язань вимагає вдосконалення національної системи управління екологічною безпекою у сфері поводження з небезпечними відходами видобувної промисловості [6].

Розвиток науки і техніки відкриває нові можливості для безпечної переробки, утилізації та захоронення небезпечних відходів, а також для мінімізації їхнього утворення. Впровадження цих технологій є важливим для підвищення рівня екологічної безпеки галузі. Хоча, впровадження сучасних екологічно безпечних технологій управління відходами стримується високою вартістю, відсутністю економічних стимулів та недостатньою інформацією про їхню ефективність.

Таким чином, дослідження проблем управління екологічною безпекою небезпечних відходів видобувної промисловості України є вкрай актуальним і має важливе значення для забезпечення екологічної безпеки країни, сталого розвитку її економіки та збереження здоров'я населення.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями

Систематизація та узагальнення існуючих знань. Проведення комплексного аналізу наукової літератури та практичного досвіду у сфері управління небезпечними відходами видобувної промисловості для виявлення основних проблем, тенденцій та перспективних напрямів досліджень.

Аналіз існуючих технологій управління відходами. Оцінка ефективності та екологічної безпеки застосовуваних в Україні технологій зберігання, переробки, утилізації та захоронення небезпечних відходів видобувної промисловості.

Розробка науково обґрунтованих підходів. Обґрунтування нових, більш ефективних та екологічно безпечних підходів до управління небезпечними відходами, що враховують специфіку видобувної промисловості України та міжнародний досвід.

Аналіз останніх досліджень і публікацій у сфері управління екологічною безпекою небезпечних відходів видобувної промисловості свідчить про зростаючий інтерес науковців та практиків до цієї проблеми. Останні дослідження охоплюють широкий спектр питань, включаючи:

Оцінка екологічного впливу. Значна кількість публікацій присвячена оцінці впливу небезпечних відходів видобувної промисловості на різні компоненти довкілля, включаючи ґрунти, водні ресурси, атмосферне повітря та біорізноманіття. Досліджуються процеси міграції забруднюючих речовин, їхнє накопичення в екосистемах та вплив на здоров'я людини.

Технології переробки та утилізації. Активно розробляються та досліджуються нові технології переробки та утилізації небезпечних відходів з метою зменшення їхнього обсягу та зниження рівня небезпеки. Серед таких технологій можна виділити методи нейтралізації, іммобілізації, екстракції цінних компонентів, виробництва будівельних матеріалів тощо.

Рекультивация порушених земель. Значна увага приділяється проблемам рекультивации земель, порушених внаслідок видобувної діяльності та накопичення відходів. Досліджуються різні методи відновлення родючості ґрунтів, відновлення рослинного покриву та ландшафтного дизайну.

Законодавче та нормативно-правове регулювання. Аналізуються існуючі законодавчі та нормативно-правові акти у сфері управління відходами видобувної промисловості, виявляються їхні недоліки та розробляються пропозиції щодо їхнього вдосконалення. Особлива увага приділяється гармонізації національного законодавства з європейськими стандартами.

Економічні аспекти управління відходами. Досліджуються економічні аспекти управління небезпечними відходами, включаючи витрати на їхнє зберігання, переробку та утилізацію, а також економічну доцільність впровадження різних технологій.

Міжнародний досвід. Аналізується міжнародний досвід у сфері управління небезпечними відходами видобувної промисловості, виявляються найкращі практики та можливості їхнього застосування в Україні.

Однак, незважаючи на значну кількість досліджень, проблема управління екологічною безпекою небезпечних відходів видобувної промисловості в Україні залишається далекою від повного вирішення. Існують невирішені питання, які потребують подальшого глибокого наукового аналізу та розробки практичних рекомендацій.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Незважаючи на значний обсяг наукових досліджень у сфері управління небезпечними відходами видобувної промисловості, існує низка невирішених або недостатньо досліджених питань, яким присвячується означена стаття:

Розробка інтегрованої системи управління відходами. Відсутня чітко визначена та ефективно функціонуюча інтегрована система управління небезпечними відходами видобувної промисловості, що охоплює всі етапи їхнього життєвого циклу – від утворення до остаточного захоронення або утилізації, з урахуванням економічних, екологічних та соціальних аспектів.

Впровадження новітніх безпечних технологій в умовах України. Хоча існує значний міжнародний досвід у застосуванні новітніх технологій управління відходами, їхнє впровадження в Україні часто стримується економічними, технологічними та інституційними бар'єрами. Недостатньо досліджені питання адаптації та оптимізації цих технологій до специфічних умов української видобувної промисловості.

Новизна. Запропоновано концептуальну модель інтегрованої системи управління екологічною безпекою небезпечних відходів видобувної промисловості України, яка базується на принципах сталого розвитку, ієрархії управління відходами, застосуванні принципів циркулярної економіки та застосуванні новітніх безпечних технологій. Ця модель охоплює всі етапи життєвого циклу відходів та враховує взаємодію між різними зацікавленими сторонами.

Обґрунтовано пріоритетні напрями впровадження новітніх безпечних технологій для переробки, утилізації та захоронення різних видів небезпечних відходів.

Загальнонаукове значення дослідження полягає у обґрунтуванні принципів та підходів до створення інтегрованих систем управління відходами на галузевому та національному рівнях. Визначенні пріоритетних напрямів наукових досліджень у сфері розробки та впровадження новітніх безпечних технологій управління відходами видобувної промисловості.

Викладення основного матеріалу. 23 березня 2021 року Президент України підписав Указ № 111/2021, яким затвердив рішення РНБО щодо екологічних викликів і загроз національній безпеці України та необхідних заходів для їх усунення. Цей документ став державною відповіддю на зростання екологічних проблем, спричинених природними та людськими факторами, включаючи неефективне використання природних ресурсів, значне промислове забруднення та застарілі методи поводження з відходами [1].

Особливу увагу приділено розробці сталої та інтегрованої системи управління відходами та небезпечними хімічними речовинами. Заплановано комплексне оновлення законодавчої бази для приведення українського законодавства у відповідність до європейських стандартів та створення дієвих механізмів реалізації екологічної політики.

Згідно з пунктом 3 рішення РНБО, визначено такі пріоритетні заходи:

а) підготовка змін до Кодексу України про адміністративні правопорушення та Кримінального кодексу України для посилення відповідальності за порушення у сфері поводження з відходами та небезпечними речовинами. Ці зміни забезпечать ефективні правові інструменти впливу на порушників і реальні механізми екологічного правосуддя;

б) розробка та внесення до парламенту законопроекту «Про відходи видобувної промисловості», який стане логічним продовженням реформи після набуття чинності базовим законом «Про управління відходами». Цей закон врегулює специфічні екологічні ризики, пов'язані з діяльністю видобувних підприємств, зокрема щодо поводження з буровими шламами, виробничими водами та відвалами [7].

Впровадження законодавства, особливо базового закону про управління відходами, має значний

вплив на діяльність багатьох підприємств, особливо у видобувній промисловості, включаючи нафтогазовий сектор. Традиційні технологічні практики, такі як захоронення бурових шлаків у шламових амбарах або розміщення відходів на звалищах твердих побутових відходів, потрохи стають незаконними. Натомість підприємства повинні будуть впроваджувати сучасні технології переробки, очищення та утилізації відходів з урахуванням екологічної доцільності та безпеки.

Ключовим елементом нового законодавчого підходу є концепція п'ятиступеневої ієрархії управління відходами (рис. 3) та концепція циркулярної економіки, що відповідає європейському принципу сталого розвитку. Вона включає пріоритетне запобігання утворенню відходів як основний підхід до мінімізації впливу на довкілля, підготовку до повторного використання продукції та матеріалів без суттєвої зміни їх призначення, переробку (рециклінг) – перетворення відходів на нові матеріали або речовини. У разі неможливості рециклінгу застосовуються інші способи утилізації, у тому числі енергетичне відновлення (спалювання з отриманням енергії), або використання у якості альтернативної сировини. Видалення відходів застосовується як крайній захід, коли всі інші можливості вичерпані [8].

Наразі повне запобігання утворенню відходів буріння при спорудженні свердловин залишається недосяжним для газовидобувних компаній, що не дозволяє досягти найвищого рівня ієрархії управління відходами. Однак існують можливості для оптимізації процесів з метою мінімізації обсягів таких відходів.

Впровадження новітніх безпечних технологій є ключовим елементом підвищення рівня екологічної безпеки у сфері поводження з небезпечними відходами видобувної промисловості. Наприклад, тех-



Рис. 3. Ієрархія управління відходами

нології повторного використання відходів, а саме, переробка шлаків та золи в будівельні матеріали, використання відходів гірничодобувної промисловості для заповнення вироблених просторів та рекультивації земель.

Впровадження цих технологій потребує значних інвестицій, але воно є необхідною умовою для забезпечення екологічної безпеки та сталого розвитку видобувної промисловості.

Сьогодні основними методами поводження з відходами буріння є їх захоронення в шламових амбарах на буровому майданчику або транспортування на полігони твердих побутових відходів для остаточного розміщення.

Вивезення відходів буріння на полігони ТПВ є найпоширенішим методом при безамбарному бурінні, проте його важко віднести навіть до останнього рівня ієрархії управління відходами. Захоронення відходів, яких неможливо уникнути і які не підлягають переробці, має здійснюватися у спеціально облаштованих місцях, а полігон ТПВ навряд чи можна вважати таким місцем. Крім того, захоронення необроблених відходів буріння на полігоні ТПВ є технічно неможливим з геоморфологічної точки зору [9].

Світлина з одного з полігонів ТПВ Харківської області наочно демонструє проблему «захоронення відходів буріння у спеціально відведеному місці» (рис. 4). Коли газовидобувна компанія обирає метод вивезення відходів буріння на полігони, виникають додаткові труднощі. На буровому майданчику постійно має працювати навантажувальна техніка та курсувати вантажний транспорт, і будь-які затримки можуть призвести до зупинки процесу буріння.

Напіврідка консистенція необроблених відходів буріння ускладнює їх транспортування, оскільки не дозволяє ефективно використовувати ані самоскиди,

ані цистерни. Непередбачувані розливи під час транспортування та руйнування місцевих доріг через інтенсивний рух вантажівок викликають обурення місцевих громад і створюють численні форс-мажорні обставини.

Другий метод – захоронення відходів буріння в шламових амбарах на буровому майданчику – є традиційним і зручним для газовидобувних компаній, оскільки використовується десятиліттями (рис. 5). Цей метод не потребує транспортування відходів, навантажувальних робіт під час буріння та обліку утворених відходів, а також не створює ризику зупинки процесу буріння через відходи [11].

На сьогодні сотні тисяч тонн відходів буріння захоронено на землях сільськогосподарського призначення, і їх кількість постійно зростає. Такий підхід викликає численні зауваження від власників земель та місцевих громад, що часто стає предметом обговорення на громадських слуханнях щодо Звіту з оцінки впливу на довкілля газовидобувних підприємств.

За Законом України «Про управління відходами» захоронення відходів буріння на полігонах ТПВ та в шламових амбарах свердловин є незаконним. Газовидобувні компанії зтикаються з необхідністю розробки законних та екологічно безпечних методів утилізації бурових відходів без ризику затримки бурових робіт та без додаткового фінансування проєктів облаштування свердловин.

В Україні вже існує приклад ефективного оброблення та використання бурових відходів як вторинної сировини – технологія зневоднення бурових відходів за допомогою «Фільтрувального басейну» [12]. Газовидобувна компанія, яка застосувала цю технологію на кількох бурових майданчиках, успішно забезпечила перехід до другого і третього рівнів ієрархії управління відходами, підготувавши



Рис. 4. Розміщення відходів буріння на полігоні (ПВ) побутових відходів у Харківській області [13]



Рис. 5. Захоронення відходів буріння амбарним методом

відходи для використання як вторинної сировини. Повторне використання води, отриманої в процесі зневоднення для приготування глинистого розчину, продемонструвало ефективне використання водних ресурсів, що особливо важливо в умовах загострення проблеми їх збереження в Україні.

Використання твердого залишку для санації та рекультивації полігону ТПВ дозволило вирішити ще одну екологічну проблему в регіоні, підвищивши безпеку місцевого полігону для довкілля.

При бурінні однієї свердловини глибиною 5–6 тисяч метрів утворюється близько 7 тисяч м³ бурових відходів (буровий шлам, відпрацьований буровий розчин, відходи після цементування, стічні води).

Завдяки застосуванню цієї технології замовник отримує близько 3,5–4 тисяч м³ очищеної води, що дозволяє значно зменшити споживання природних водних ресурсів. Близько 3 тисяч м³ безпечного сухого залишку використовуються як ґрунт для підсищення та планування полігону твердих побутових відходів.

За результатами численних досліджень, проведених державними установами, включаючи Міністерство охорони здоров'я, автори отримала технічні умови (ТУ У 08.9-40371287-002:2018 «Суміш мінералів для облаштування територій «ECOTEC-GEO+»») та позитивний висновок Держпродспожислужби України [13].

Згідно з висновками наукової установи МОЗ України, отриманий сухий залишок може використовуватися для підсипки та формування шарів на полігонах твердих побутових і промислових відходів, вирівнювання територій при будівництві доріг та промислових об'єктів, відновлення кар'єрів, шахт,

копалень та інших техногенних об'єктів, створення обвідних і загороджувальних дамб, валів, насипів тощо.

Для ефективного управління екологічною безпекою небезпечних відходів видобувної промисловості необхідний комплексний підхід, який включає (рис. 6):

1. Розробка чітких та ефективних норм і правил, що відповідають європейським стандартам та враховують специфіку галузі.
2. Збільшення кількості інспекторів, впровадження сучасних методів моніторингу та контролю, посилення відповідальності за порушення природоохоронного законодавства.
3. Забезпечення фінансової підтримки підприємств, що впроваджують екологічно безпечні технології, застосування диференційованого оподаткування, екологічного страхування.
4. Залучення інвестицій, підтримка наукових досліджень та розробок у сфері управління відходами, обмін досвідом з міжнародними партнерами.
5. Проведення інформаційно-просвітницьких кампаній, навчання працівників підприємств, залучення громадськості до процесу прийняття рішень.
6. Врахування специфіки різних видобувних регіонів та розробка індивідуальних планів управління відходами.
7. Розроблення планів управління відходами на рівні підприємств.
8. Надання громадськості повної та достовірної інформації про утворення, зберігання та переробку небезпечних відходів.
9. Залучення міжнародного досвіду та фінансової допомоги для вирішення проблем управління відходами.

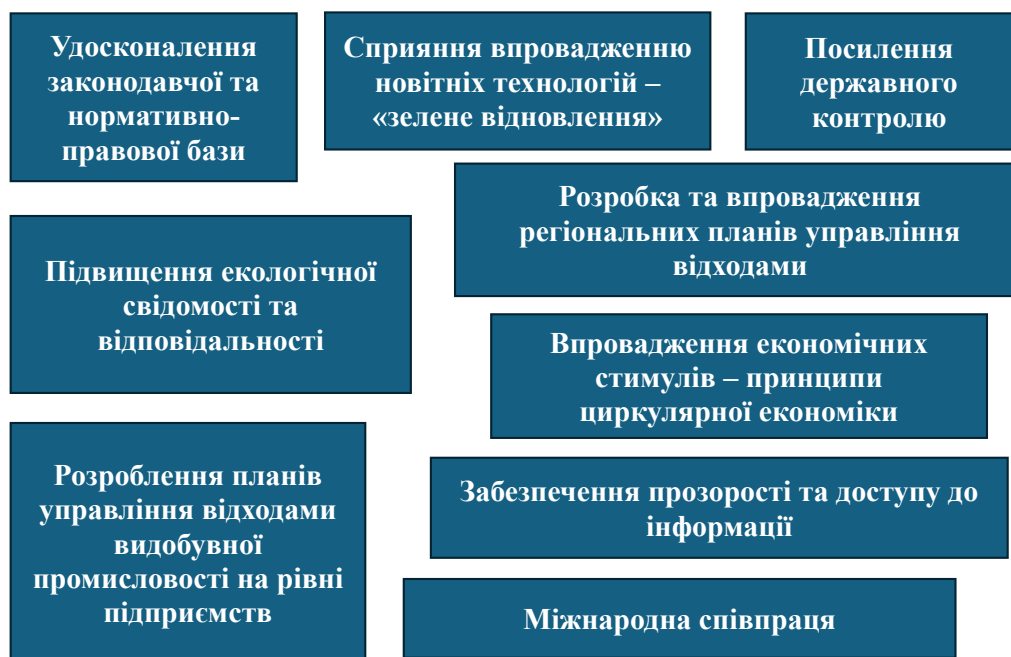


Рис. 6. Комплексний підхід до управління екологічною безпекою

Реалізація такого комплексного підходу дозволить значно підвищити рівень екологічної безпеки видобувної промисловості України та зменшити негативний вплив відходів на довкілля та здоров'я населення.

Проведення дослідження дозволило сформулювати наступні **головні висновки**:

1. Небезпечні відходи видобувної промисловості України становлять значну екологічну загрозу через великі обсяги утворення та високий рівень токсичності.

2. Існуюча система управління екологічною безпекою відходів характеризується низкою недоліків, включаючи нерозвинене законодавство, слабкий державний контроль та переважання методів накопичення.

3. Впровадження новітніх безпечних технологій переробки, утилізації та захоронення відходів є ключовим фактором підвищення рівня екологічної безпеки галузі.

4. Для ефективного вирішення проблеми необхідний комплексний підхід, що включає удосконалення законодавства, посилення контролю, економічне стимулювання, впровадження технологій та підвищення екологічної свідомості.

5. Розроблена концептуальна модель інтегрованої системи управління екологічною безпекою небезпечних відходів видобувної промисловості України може слугувати основою для розробки практичних заходів на державному та галузевому рівнях.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати проведеного дослідження мають значні перспективи для практичного використання:

Для органів державної влади: Розроблені рекомендації можуть бути використані при вдосконаленні законодавчої та нормативно-правової бази у сфері управління відходами видобувної промисловості, а також при розробці державних програм та стратегій у сфері екологічної безпеки.

Для підприємств видобувної промисловості: Запропоновані підходи та рекомендації щодо впровадження новітніх безпечних технологій можуть бути використані для оптимізації систем управління відходами, зменшення негативного впливу на довкілля та підвищення екологічної ефективності виробництва.

Для науково-дослідних установ: Результати дослідження можуть слугувати основою для подальших наукових розробок у сфері управління промисловими відходами, розробки нових технологій та методів оцінки екологічних ризиків.

Для громадських організацій та екологічних активістів: Отримані дані можуть бути використані для підвищення екологічної свідомості населення, здійснення громадського контролю за діяльністю підприємств видобувної промисловості та лобювання екологічно відповідальної політики.

У сфері освіти: Матеріали дослідження можуть бути використані при підготовці фахівців у галузі екології, гірничої справи та управління відходами у вищих навчальних закладах.

У подальших дослідженнях доцільно зосередитися на детальному аналізі економічної доцільності впровадження різних новітніх технологій в умовах України, розробці механізмів залучення інвестицій у екологічно безпечне управління відходами та оцінці соціальних аспектів цієї проблеми.

Література

1. Проект Закону України «Про управління відходами видобувної промисловості» URL: <https://zakon.rada.gov.ua>
2. Державна служба статистики України URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>
3. Staley E. J., Kumar M. S., Peterson A. J. Recycling and Waste Management in the Mining Industry // Waste Management. 2021. Vol. 48, No. 4. P. 305–317. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.04.005>
4. Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. Annual Environmental Report 2022. URL: <https://mepr.gov.ua>
5. OECD. Environmental Performance Reviews: Mining Industry Waste Management OECD Publishing, 2021. URL: <https://www.oecd.org/environment/monitoring-and-assessment/mining-waste-management>
6. Промисловість України перед викликами майбутнього: у пошуках відповідей та рішень / за ред. В. М. Гєсця. К. : Інститут економіки та прогнозування НАН України, 2022. 276 с.
7. Григоренко І. В. Аналіз сучасного стану видобувної галузі України. Проблеми теорії та методології бухгалтерського обліку, контролю і аналізу. 2018. № 1. С. 56–65.
8. Ковальчук О. М. Екологічні аспекти гірничої промисловості України. Економіка та держава. 2020. № 3. С. 23–28.
9. Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України. К. : Інститут геологічних наук НАН України, 2023. Вип. 15. 190 с.
10. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Щорічна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні за 2022 рік URL: <https://mepr.gov.ua>
11. ЕПЛ – Екологія. Вплив гірничодобувної промисловості на довкілля в Україні Екологія. Право. Людина. 2020. URL: <https://epl.org.ua>
12. Іващенко Т. Г., Рижов Г. О. Аналіз нормативно-законодавчої бази щодо управління відходами буріння при спорудженні свердловин для видобування нафти та газу. Екологічна безпека та технології захисту довкілля : наук. журн. 2025. № 7. С. 43–49.
13. Рижов Г. О. Спосіб зневоднення бурових розчинів і бурових шлаків : пат. на корисну модель № 130902 U Україна : МПК E21B 21/06, C02F 1/52, C02F 1/54, C02F 11/12, C02F 103/00 / Гліб Олегович Рижов ; заявник і власник Г. О. Рижов. – № u201807909 ; заявл. 16.07.2018 ; опубл. 26.12.2018, Бюл. № 24.

ОСОБЛИВОСТІ УТВОРЕННЯ СКЛАДНИХ І НЕКЛАСИФІКОВАНИХ ВІДХОДІВ СПОЖИВАННЯ В УМОВАХ СУЧАСНОГО СУСПІЛЬСТВА

Макєєв П.В., Байрачний В.Б., Сакун А.О., Зінковський А.О.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

вул. Кирпичова, 2, 61002, м. Харків

Pavlo.Makieiev@mit.khpi.edu.ua, volodymyr.bairachnyi@khpi.edu.ua,

Antonina.Sakun@khpi.edu.ua, artem.zinkovskyi@mit.khpi.edu.ua

У статті розглядаються особливості утворення складних і неклаифікованих відходів споживання в умовах сучасного суспільства, що характеризується швидкими темпами технологічного розвитку, зростанням урбанізації та споживання. Визначено основні чинники, які сприяють накопиченню таких відходів, серед яких – збільшення використання складних композитних матеріалів, різноманіття упаковок, поява нових типів електронних та електричних пристроїв, а також недосконалість систем класифікації відходів.

Розглянуто питання взаємозв'язку між технологічним прогресом і утворенням складних відходів, які характеризуються багатокомпонентністю, змішаним складом та значними труднощами при утилізації або переробці. Особливу увагу приділено неклаифікованим відходам, які не підпадають під існуючі стандарти та норми класифікації, що ускладнює їх подальше управління та екологічно безпечне знешкодження.

У статті акцентовано увагу на необхідності вдосконалення системи класифікації відходів з урахуванням сучасних тенденцій споживання, розширення переліку категорій та типів відходів, що враховують складність їх складу та потенційні ризики для довкілля. Проаналізовано існуючі методи переробки складних і неклаифікованих відходів, а також визначено ключові проблеми, що виникають під час їх утилізації.

На основі проведеного аналізу запропоновано можливі шляхи оптимізації управління складними та неклаифікованими відходами споживання. Зокрема, пропонується впровадження нових методів класифікації, що враховують багатокомпонентність матеріалів та їхню небезпеку для довкілля. Крім того, розглядається можливість застосування інноваційних технологій для ефективної переробки складних відходів, що може суттєво знизити навантаження на екосистеми. *Ключові слова:* складні відходи, неклаифіковані відходи, споживання, переробка, класифікація, утилізація, екологічна безпека.

Features of the formation of complex and unclassified consumer waste in the conditions of modern society. Makieiev P., Bairachnyi V., Sakun A., Zinkovskyi A.

The article examines the features of the formation of complex and unclassified consumer waste in the context of modern society, characterized by rapid technological development, increasing urbanization, and consumption growth. The main factors contributing to the accumulation of such waste are identified, including the increased use of complex composite materials, a variety of packaging types, the emergence of new types of electronic and electrical devices, and the imperfection of waste classification systems.

The article addresses the interrelation between technological progress and the formation of complex waste, which is characterized by multi-component composition, mixed content, and significant difficulties in disposal or recycling. Special attention is paid to unclassified waste that does not fall under existing standards and classification norms, complicating further management and environmentally safe disposal.

The study emphasizes the need to improve the waste classification system, considering modern consumption trends, expanding the range of categories and types of waste that take into account the complexity of their composition and potential environmental risks. Existing methods of recycling complex and unclassified waste are analyzed, and the key problems arising during their disposal are identified.

Based on the analysis conducted, possible ways to optimize the management of complex and unclassified consumer waste are proposed. In particular, the introduction of new classification methods that consider the multi-component nature of materials and their environmental hazards is suggested. Additionally, the possibility of applying innovative technologies for effective recycling of complex waste is considered, which can significantly reduce the burden on ecosystems. *Key words:* complex waste, unclassified waste, consumption, recycling, classification, disposal, environmental safety.

Постановка проблеми. Сучасне суспільство характеризується швидкими темпами науково-технічного прогресу, інтенсивною урбанізацією та постійним зростанням рівня споживання. Ці процеси призводять до значного збільшення обсягів утворення відходів, зокрема складних і неклаифікованих, які не завжди можуть бути ефективно перероблені або утилізовані за допомогою існуючих методів.

Проблема складних і неклаифікованих відходів полягає в їх багатокомпонентному складі, змішаних матеріалах, які можуть включати органічні та неорганічні компоненти, а також у значних труднощах їх розділення та переробки. Складні відходи часто включають електронні пристрої, композитні матеріали, багатошарові упаковки та інші предмети, що створюють суттєві екологічні ризики при неналежному управлінні.

Некласифіковані відходи, які не підпадають під жодну з існуючих категорій стандартних класифікацій, створюють додаткові проблеми для управління. Їх відсутність у класифікаційних системах ускладнює процеси збору, транспортування, переробки та знешкодження. Більш того, такі відходи можуть становити загрозу для навколишнього середовища через непередбачувані хімічні або фізичні властивості.

Актуальність дослідження обумовлена необхідністю удосконалення існуючих систем класифікації відходів, а також розробки нових методів управління складними і некласифікованими відходами. Це включає створення інноваційних технологій для їх ефективної переробки та утилізації, що дозволить зменшити негативний вплив на екосистеми та забезпечити сталий розвиток суспільства.

Необхідність вирішення цієї проблеми також пов'язана з посиленням екологічних вимог на національному та міжнародному рівнях, які спрямовані на зменшення кількості відходів та їх безпечно знешкодження. Це потребує розробки нових підходів до класифікації, управління та утилізації складних і некласифікованих відходів.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження особливостей утворення складних і некласифікованих відходів споживання в умовах сучасного суспільства є важливим як з наукової, так і з практичної точки зору. Воно спрямоване на вирішення актуальних наукових завдань, пов'язаних із систематизацією та класифікацією нових типів відходів, які виникають у результаті технологічного прогресу та змін у моделях споживання.

Авторський доробок спрямований на розробку нових підходів до класифікації відходів, які враховують їх багатокомпонентність, фізико-хімічні властивості та потенційну небезпеку для довкілля. Практичне значення дослідження полягає у розробці ефективних методів управління відходами, що включають створення систем їх збору, транспортування, сортування та знешкодження. Крім того, важливим аспектом є впровадження інноваційних технологій переробки складних відходів, які дозволяють отримувати вторинні ресурси або безпечно утилізувати небезпечні компоненти.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема утворення складних і некласифікованих відходів привертає дедалі більше уваги через зростання обсягів споживання, урбанізації та інтенсивний розвиток технологій. У літературі розглядаються різні аспекти цієї проблеми, однак багато питань залишаються недостатньо вивченими або потребують подальшого уточнення.

Дослідження, присвячені управлінню складними відходами, зосереджуються переважно на питаннях їх переробки та утилізації. Значна увага приділяється проблемам утилізації електронних відходів,

які містять небезпечні компоненти та вимагають спеціалізованих методів переробки. Такі дослідження включають аналіз фізико-хімічних характеристик електронних пристроїв, оцінку їх безпеки та розробку методів безпечної утилізації [1]. Більшість існуючих класифікаційних систем базується на фізичних, хімічних або біологічних характеристиках відходів. Проте, такі системи часто є занадто спрощеними або не враховують багатокомпонентність відходів, що утворюються внаслідок споживання сучасних матеріалів, таких як композити, багатошарові упаковки та інші комбіновані матеріали [2].

Незважаючи на наявність великої кількості досліджень, питання некласифікованих відходів залишається недостатньо вивченим. Багато відходів, які не підпадають під існуючі стандарти класифікації, залишаються поза увагою дослідників та регуляторних органів. Це ускладнює процеси їх збору, транспортування, переробки та утилізації. Зокрема, такі відходи можуть включати нові типи матеріалів або продукти з невизначеними фізико-хімічними властивостями, що ускладнює їх класифікацію [3].

Екологічний аспект проблеми також висвітлений у багатьох дослідженнях. Наголошується на необхідності розробки нових методів переробки складних відходів з урахуванням потенційної екологічної небезпеки. Встановлено, що відсутність належної класифікації може призвести до непередбачуваних наслідків для довкілля, зокрема забруднення ґрунтів, водних ресурсів та атмосфери [4].

Дослідження також свідчать про те, що традиційні методи переробки складних відходів не завжди є ефективними. Наприклад, методи механічного подрібнення часто не можуть забезпечити належний рівень переробки багатокомпонентних матеріалів, а термічні методи можуть призводити до утворення токсичних викидів [5].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Нерозв'язаними залишаються питання, пов'язані з розробкою універсальних критеріїв класифікації складних і некласифікованих відходів, які враховували б їх фізико-хімічні характеристики, екологічну небезпеку та можливість повторної переробки. Існуючі класифікаційні системи не завжди є достатньо гнучкими та деталізованими для включення нових видів відходів, що постійно виникають внаслідок технологічного розвитку та урбанізації.

Також недостатньо дослідженими є методи управління некласифікованими відходами, які не підпадають під жодну з існуючих категорій стандартних класифікацій. Через це виникають труднощі у процесах збору, транспортування, переробки та утилізації таких відходів. Крім того, важливим залишається питання створення технологій переробки складних матеріалів, які мають багатошарову структуру або містять небезпечні компоненти.

Не менш актуальним є аспект екологічної безпеки, оскільки відсутність належної класифікації та управління складними та некласифікованими відходами може призвести до значного забруднення навколишнього середовища. Недостатньо дослідженою залишається проблема оцінки довгострокового впливу таких відходів на екосистеми та здоров'я населення.

Новизна дослідження полягає у комплексному підході до вивчення процесів утворення, класифікації та утилізації складних і некласифікованих відходів споживання в умовах сучасного суспільства. Запропоновано новий підхід до класифікації складних і некласифікованих відходів, що виникають внаслідок активного розвитку сучасних технологій та появи нових матеріалів. Встановлено, що існуючі системи класифікації не охоплюють усіх можливих видів складних відходів, що утворюються у процесі споживання електронних пристроїв, композитних матеріалів, багатошарових упаковок тощо.

Методологічне значення роботи полягає у розробці цілісного підходу до вивчення та класифікації складних і некласифікованих відходів споживання.

Методологічне значення роботи визначається застосуванням комплексного аналізу, що включає декілька важливих аспектів: фізико-хімічний аналіз складних матеріалів, оцінку екологічної безпеки та розробку критеріїв для створення нової класифікаційної системи. Використання такого підходу дозволяє отримати більш точні та надійні результати, які можуть бути застосовані для розробки ефективних методів переробки та управління відходами.

Виклад основного матеріалу. Сучасне суспільство стикається з дедалі більшими викликами, пов'язаними з утворенням складних та некласифікованих відходів, які виникають у результаті стрімкого технологічного розвитку, урбанізації та зростання рівня споживання. Основною проблемою є багатокомпонентний та неоднорідний склад таких відходів, який ускладнює процеси переробки, знешкодження та вторинного використання.

Складні відходи включають різні матеріали, поєднані у єдину структуру, що значно ускладнює їх розділення та подальше використання. Наприклад, електронні відходи (e-waste), що містять метали, пластмаси, скло та інші компоненти, є одними з найбільш складних з точки зору утилізації [6]. Некласифіковані відходи, які не відповідають існуючим категоріям стандартних класифікацій, залишаються поза увагою регуляторних органів та дослідників, що ускладнює процеси їх збору, транспортування, переробки та знешкодження [7].

Існуючі методи управління відходами переважно спрямовані на переробку або знешкодження окремих матеріалів, однак вони не є ефективними для складних або некласифікованих відходів. Наприклад, механічні методи переробки часто не дозволяють розділити багатошарові або композитні матеріали

на складові компоненти, тоді як термічні методи можуть призводити до утворення токсичних викидів та забруднення навколишнього середовища [8].

Наукові дослідження свідчать про те, що відсутність належної класифікації та ефективних методів управління складними та некласифікованими відходами створює серйозні екологічні ризики. Встановлено, що такі відходи можуть містити небезпечні речовини, які у разі неналежного поводження здатні забруднювати ґрунти, водні ресурси та атмосферу [9]. Це особливо стосується електронних відходів, які можуть містити свинець, ртуть, кадмій та інші токсичні елементи [10].

Запропонований підхід [10] передбачає розробку нових критеріїв класифікації складних і некласифікованих відходів з урахуванням їх багатокомпонентного складу, екологічної безпеки та можливості подальшої переробки. Врахування цих чинників дозволяє створити гнучкішу та більш адаптивну систему класифікації, яка здатна забезпечити ефективне управління відходами в умовах постійного розвитку технологій та урбанізації.

Практичні аспекти дослідження включають розробку методів переробки складних матеріалів із застосуванням комбінованих технологій, які поєднують фізичні, хімічні та біологічні процеси. Наприклад, використання хімічного розчинення для розділення компонентів композитних матеріалів може значно підвищити ефективність переробки [11]. Також перспективним є застосування плазмових технологій, гідрометалургії та інших інноваційних методів для утилізації електронних відходів [12].

Можливі шляхи оптимізації управління складними та некласифікованими відходами споживання включають удосконалення класифікаційних систем з урахуванням багатокомпонентного складу відходів та їх екологічної безпеки, впровадження інноваційних технологій переробки (хімічне розчинення, плазмові технології, гідрометалургія), створення ефективних систем збору та транспортування з використанням інформаційних технологій (IoT, блокчейн). Важливим є розробка методів екологічно безпечного знешкодження, що включають біотехнології та термічні методи з мінімізацією шкідливих викидів. Оптимізацію також сприятиме вдосконалення нормативно-правової бази, створення стимулів для впровадження інноваційних технологій та розробка міжнародних стандартів з класифікації та утилізації відходів.

Головні висновки. Комплексний підхід до вивчення складних і некласифікованих відходів дозволяє детально проаналізувати специфіку їх утворення, класифікації та утилізації в умовах сучасного суспільства. Багатокомпонентність та неоднорідність складу таких відходів вимагають розробки нових підходів до їх класифікації, що враховують як фізико-хімічні характеристики, так і екологічні ризики.

Сучасні класифікаційні системи відходів є недостатньо адаптованими до умов постійного виникнення нових видів відходів, зокрема складних композитних матеріалів, електронних пристроїв та багатошарових упаковок. Існуючі підходи не забезпечують належного охоплення всіх категорій відходів, що ускладнює їх ефективне управління та переробку.

Запропоновані нові критерії класифікації складних і некласифікованих відходів, які базуються на аналізі їх фізико-хімічних властивостей, екологічної небезпеки та можливостей для вторинної переробки.

Такий підхід дозволяє забезпечити більш гнучке та ефективне управління відходами. Розроблені практичні рекомендації щодо оптимізації процесів управління відходами, включаючи створення нових технологій переробки багатошарових та композитних матеріалів. Запропоновані методи дозволяють значно знизити екологічне навантаження та підвищити рівень екологічної безпеки.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження можуть бути використані для удосконалення систем управління відходами на різних рівнях.

Література

1. Михайлова С.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
2. Погребенник В.Д., Коваль І.І., Джумеля Е.А. Тенденції розвитку методів і систем управління відходами. Науковий вісник НЛТУ України, 2019. 29(1), с. 78–82. <https://doi.org/10.15421/40290117>
3. 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.
4. Практичні аспекти управління відходами в Україні. Посібник / Барінов М.О., Олексієвець І.Л., Родная Д.В., Журавель Т.В., Коломієць С.В., Козлова І. А., Пархоменко Г.П. – К.: «Поліграф плюс», 2021. – 118 с.
5. Войціховська А., Кравченко О., Мелень-Забрамна О., Панькевич М. Кращі європейські практики управління відходами: посібник / за заг. ред. О. Кравченко. Львів: Видавництво «Компанія “Манускрипт”», 2019. 64 с.
6. Харченко, А. В., Сагайдак, І. В. Удосконалення системи переробки твердих побутових відходів в Україні. *Науковий журнал*. 2020. № 4. С. 123–130.
7. Гутиря М. В., Романчук В. О. Утилізація промислових відходів: сучасні підходи та методи. Київ: Екологічна академія, 2020. 256 с.
8. Довбня О. В. Циркулярна економіка та управління відходами в промисловості. Харків: Видавництво ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2020. 312 с.
9. Innovative Technologies in Construction Waste Management in Accordance with Circular Economy / N. Levchenko et al. *Scientific Bulletin of Building*. 2024. No. 110. P. 62–69. URL: <https://doi.org/10.33042/2311-7257.2024.110.1.9>
10. Ращенко А. В., Лесь А. В., Роїк І. В., Нелеп І. В. Перевезення твердих побутових відходів як частина транспортної системи міст та отг. Економіка та держава. 2020. № 11. С. 88–91. DOI: 10.32702/2306-6806.2020.11.88
11. *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. The World Bank. URL: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>
12. Lysenko A., Holovin I. Circular economy in waste management: Innovations and European integration. Екологічний вісник України, 2023 № 5(3), 58–67.

КОМП'ЮТЕРНА ТЕХНІКА ЯК ДЖЕРЕЛО ЕЛЕКТРОННИХ ВІДХОДІВ: ЕКОЛОГІЧНІ РИЗИКИ ТА МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ В МІЖНАРОДНІЙ І НАЦІОНАЛЬНІЙ ПРАКТИЦІ

Пітак І.В., Калашник Т.В., Соболев С.А., Самойленко Н.М., Шестопапов О.В.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

вул. Кирпичова, 2, 61002, м. Харків

taras.kalashnyk@mit.khpi.edu.ua, inna.pitak@khpi.edu.ua

У статті досліджено проблему управління відходами комп'ютерної техніки в Україні в контексті сучасних викликів цифровізації, екологічної безпеки та євроінтеграції. Визначено основні причини зростання обсягів електронних відходів, серед яких – скорочення життєвого циклу комп'ютерних пристроїв, заплановане старіння, технологічна гонитва та активне оновлення апаратного й програмного забезпечення. Особливу увагу надано аналізу ситуації в Україні, де домінує імпорту вживаної техніки з коротким залишковим ресурсом, що зумовлює стрімке накопичення електронного сміття без належної системи його переробки.

Розглянуто міжнародні практики менеджменту електронних відходів в країнах ЄС, США та Японії, зокрема впровадження моделей «trade-in», «refurbishment» та принципів циркулярної економіки. На основі порівняльного аналізу підкреслено успішність інтеграції концепції розширеної відповідальності виробника (РВВ) у розвинених державах, що дозволяє ефективно управляти відходами комп'ютерної техніки, зменшуючи екологічне навантаження та сприяючи повторному використанню ресурсів.

Водночас в Україні виявлено відсутність системного підходу до відновлення відпрацьованої комп'ютерної техніки, обмеженість інфраструктури, низьку екологічну свідомість населення та неефективне нормативно-правове регулювання. Стаття аргументує доцільність впровадження європейських підходів до управління відходами електричного та електронного обладнання (ВЕЕО), зокрема адаптації Директиви 2012/19/ЄС, розвитку національної системи збору та переробки техніки, створення економічних стимулів для бізнесу та споживачів.

Авторами досліджені концепції поетапного переходу до циркулярної економіки в IT-секторі України, яка враховує соціально-економічні реалії, потенціал повторного використання техніки та потребу у зниженні екологічного навантаження у поствоєнний період. Отримані результати мають практичне значення для формування ефективної національної політики в сфері екологізації цифровізації, розробки законодавчих ініціатив і програм стимулювання утилізації електронних відходів. *Ключові слова:* електронні відходи, комп'ютерна техніка, циркулярна економіка, розширена відповідальність виробника, рециклінг, екологічні ризики, екологічна безпека.

Computer equipment as a source of electronic waste: environmental risks and management models in international and national practice. Pitak I., Kalashnyk T., Sobolev S., Samoilenko N., Shestopalov O.

The accelerated growth in the use of computer equipment, its premature obsolescence, and rapid technological turnover have led to the accumulation of significant volumes of electronic waste, particularly obsolete computers, laptops, monitors, and peripheral devices. This issue has become a global environmental challenge due to hazardous substances such as lead, mercury, and cadmium in electronic components. Improper disposal practices exacerbate the risks of soil, air, and water contamination, posing threats to ecosystems and human health.

In Ukraine, the problem is particularly pressing due to the high import rates of used computer equipment, driven by the population's low purchasing power. While this phenomenon contributes to digitalisation and improves access to information technology, it also accelerates the generation of e-waste. Due to the lack of a national system for sorting and recycling waste electrical and electronic equipment (WEEE), much of this waste is either stored unsafely or discarded with municipal solid waste, exacerbating environmental hazards.

Unlike EU countries and the United States, where Extended Producer Responsibility (EPR), eco-design, and circular economy principles are well established, Ukraine remains at the initial stages of developing a systematic e-waste management framework. This paper analyses international strategies, including trade-in programmes, refurbishment, and recycling models implemented by leading global manufacturers such as Apple, Dell, HP, Lenovo, and Microsoft. Particular attention is paid to the feasibility of adapting these models to the Ukrainian context in line with European integration goals.

The study demonstrates that comprehensive e-waste management contributes to environmental sustainability and creates economic opportunities by recovering secondary raw materials such as precious metals and high-grade plastics. The research advocates developing a national strategy aligned with EU Directive 2012/19/EU, promoting sustainable digital transformation and environmental modernisation in the post-war recovery period. *Key words:* electronic waste, computer equipment, circular economy, extended producer responsibility, recycling, environmental risks, environmental safety.

Постановка проблеми. Стрімкий розвиток цифрових технологій, інтенсифікація обміну електронними пристроями та скорочення життєвого циклу комп'ютерної техніки спричинили значне зростання

обсягів електронних відходів. За даними досліджень, середній термін служби ноутбуків і стаціонарних комп'ютерів у світі скоротився з 6–8 років у 2000-х до 3–5 років у 2020-х роках, що свідчить

про системне технологічне оновлення та ефект запланованого старіння [1].

Комп'ютерна техніка, яка містить низку токсичних компонентів – свинець, кадмій, ртуть, бромовані антипірени – у разі неправильного зберігання та утилізації становить загрозу довкіллю та здоров'ю людини. Проблема поглиблюється в країнах із низьким рівнем купівельної спроможності, зокрема в Україні, де споживання техніки базується переважно на імпорті вживаних пристроїв з коротким залишковим ресурсом.

Станом на сьогодні, в Україні немає дієвої інфраструктури для сортування та утилізації відходів електронного та електричного обладнання (БЕЕО). Значна частина відпрацьованої техніки потрапляє на полігони твердих побутових відходів (ТПВ), де забруднює ґрунти та водні ресурси через вивільнення небезпечних речовин [2]. Водночас, за відсутності системи розширеної відповідальності виробника, громадяни та підприємства не мають чітких механізмів утилізації та стимулів до відповідального споживання.

На противагу, в країнах ЄС, США та Японії діють ефективні національні політики, що базуються на принципах циркулярної економіки: екодизайні, модульності пристроїв, ремонтпридатності та механізмах повторного використання техніки через програми «refurbishment» і «trade-in». Впровадження подібних підходів в українських реаліях є актуальним не лише з погляду екологічної безпеки, а й в контексті післявоєнної відбудови та гармонізації законодавства з нормами ЄС [1, 3].

Таким чином, актуальність дослідження зумовлена потребою у розробці дієвих національних рішень щодо поводження з відходами комп'ютерної техніки в умовах соціально-економічної вразливості, з огляду на успішний міжнародний досвід та виклики цифрової трансформації.

Актуальність дослідження. Проблема накопичення відходів комп'ютерної техніки стає критичною для України у контексті післявоєнної відбудови та євроінтеграції. Стійкий економічний розвиток неможливий без належного управління електронними відходами, які містять токсичні компоненти й становлять загрозу довкіллю.

Особливістю українського ринку є масовий імпорт вживаної техніки з ЄС та США. Це робить цифрові технології доступнішими, але водночас спричиняє швидке накопичення електронних відходів. Через відсутність ефективної системи збору та переробки, значна частина відходів потрапляє на полігони ТПВ або стихійні звалища, що призводить до забруднення довкілля.

У рамках євроінтеграції Україна має адаптуватися до Директиви 2012/19/ЄС [3], яка зобов'язує виробників відповідати за збір та утилізацію техніки. Впровадження найкращих міжнародних практик і принципів циркулярної економіки дозволить

зменшити екологічне навантаження та створити нові економічні можливості.

Дослідження цієї проблеми є важливим для розробки ефективної національної стратегії, що сприятиме екологізації та цифровізації України відповідно до європейських стандартів.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Авторський доробок цієї роботи тісно пов'язаний із актуальними завданнями у сфері управління відходами комп'ютерної техніки. Дослідження спрямоване на аналіз накопичення електронних відходів, зокрема морально застарілих комп'ютерів та периферійних пристроїв, а також на оцінку ефективності існуючих стратегій їх переробки.

Окрему увагу приділено порівнянню міжнародних та національних підходів до менеджменту електронних відходів. Це дослідження сприяє розробці ефективних стратегій управління відходами в Україні з урахуванням досвіду ЄС та США.

Результати роботи є особливо важливими в контексті євроінтеграції та післявоєнного відновлення країни, коли формування ефективної системи управління електронними відходами є критичним для екологічної безпеки та сталого розвитку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз досліджень [4] свідчить, що стрімкий технологічний прогрес, заплановане старіння та часте оновлення апаратного забезпечення сприяють скороченню життєвого циклу пристроїв, у результаті чого значна частина ще працездатної техніки перетворюється на відходи.

У країнах із низькою купівельною спроможністю, зокрема в Україні, ситуація ускладнюється імпортом вживаної техніки, яка має обмежений залишковий ресурс. Це пришвидшує її перетворення на електронні відходи, що, за відсутності ефективної системи переробки, створює суттєве екологічне навантаження [5].

В роботах [5, 6], як окрему загрозу розглядається вміст токсичних елементів у комп'ютерних компонентах (свинець, кадмій, ртуть), які, за відсутності належного рециклігу, потрапляють у довкілля, забруднюючи ґрунти та водні ресурси. У відповідності з цим є доцільним впровадження принципів циркулярної економіки у сфері електронних відходів. Повторне використання, ремонт та модернізація техніки є ефективними стратегіями зниження обсягів відходів. У роботі [7] відмічається успішність впровадження практики «trade-in», що функціонує у багатьох країнах, дозволяє продовжити життєвий цикл техніки, сприяючи формуванню екологічної свідомості споживачів і зменшенню навантаження на полігони ТПВ.

Загалом, аналіз сучасних досліджень свідчить про необхідність комплексного підходу до управління електронними відходами, що поєднує регуляторні, технічні та поведінкові механізми сталого споживання.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким стаття призначена. Стаття аналізує проблему управління відходами комп'ютерної техніки в Україні у контексті євроінтеграції та впровадження принципів циркулярної економіки. Особливу увагу приділено адаптації міжнародного досвіду, зокрема системи «trade-in», як механізму продовження життєвого циклу техніки та зменшення екологічного навантаження. Дослідження спрямоване на аналіз концепцій комплексного підходу до відновлення електронних відходів, що відповідає сучасним екологічним викликам та економічним реаліям України.

Новизна. Дане дослідження є аналітичним і зосереджується на порівняльному аналізі світових підходів до управління відходами комп'ютерної техніки, зокрема в країнах ЄС, США та Японії. У роботі вперше здійснено комплексне дослідження можливостей адаптації цих моделей до українських реалій з урахуванням економічних, соціальних та екологічних факторів. Особливу увагу приділено впровадженню концепції циркулярної економіки та використанню механізму «trade-in» як способу продовження життєвого циклу комп'ютерної техніки. Запропонований підхід сприятиме зменшенню екологічного навантаження та формуванню сталих моделей управління електронними відходами в Україні.

Методологічне або загальнонаукове значення. Дослідження ґрунтується на методах порівняльного аналізу, систематизації нормативно-правової бази, аналізу політик управління електронними відходами в Україні та провідних країнах світу. Застосовано елементи контент-аналізу стратегій сталого роз-

витку ІТ-компаній та принципів циркулярної економіки. Використано офіційні статистичні джерела для оцінки обсягів імпорту техніки та динаміки накопичення відходів. Методологія дозволяє виявити бар'єри та потенціал для впровадження ефективних екологічних рішень у національну практику.

Викладення основного матеріалу. У світі активно впроваджуються різноманітні моделі управління відходами комп'ютерної техніки, що ґрунтуються на принципах циркулярної економіки, концепції розширеної відповідальності виробника, а також повторного використання (англ. reuse). Провідні країни демонструють комплексний підхід до цього питання, інтегруючи законодавчі механізми, інфраструктурні рішення та інформаційно-просвітницькі кампанії. Порівняльний аналіз міжнародних практик свідчить про високий рівень інтеграції моделей сталого управління відходами комп'ютерної техніки в таких країнах, як Німеччина, Швеція, Японія та США.

Відновлення відходів комп'ютерної техніки є важливою складовою екологічної безпеки та сталого розвитку. У світі існують різні стратегії управління електронними відходами, серед яких найпоширенішими є перепродаж, система «trade-in», рециклінг в спеціалізованих пунктах прийому, а також рециклінг разом із побутовими відходами.

Аналіз даних демонструє, що в Україні переважає неформальна практика перепродажу техніки, якщо вона зберігає працездатність, або ж переробка разом з побутовими відходами у разі її повного морального або технічного зносу. Це є наслідком як низького рівня екологічної свідомості населення, так і відсутності розгалуженої інфраструктури з пере-

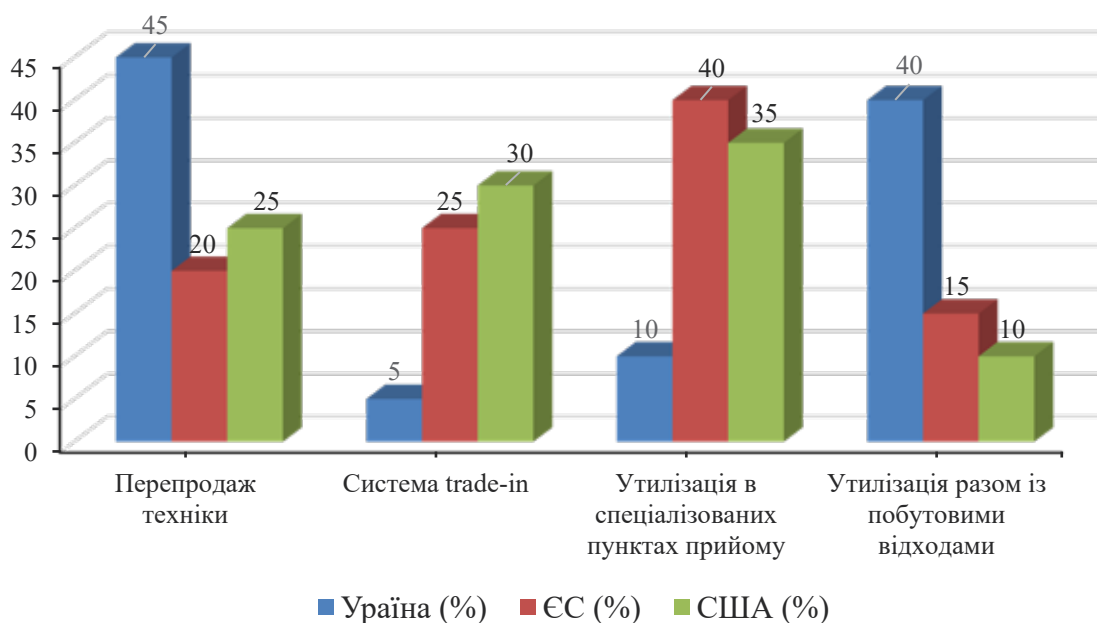


Рис. 1. Порівняльна характеристика стратегій рециклінгу комп'ютерної техніки [8]

робки електроніки та ефективної законодавчої бази. Водночас у ЄС і США набагато частіше застосовуються такі екологічно безпечні практики, як повернення техніки через «trade-in» або рециклінг у спеціалізованих центрах, що забезпечується системою РВВ та державною підтримкою.

Комплексний аналіз підходів щодо управління електронними відходами у розвинених країнах свідчить про ефективне функціонування механізмів повторного використання та продовження життєвого циклу техніки. Це особливо виразно видно у прикладах компаній «AfB social & green IT» у Німеччині, що займається відновленням техніки та водночас створює інклюзивні умови праці у Швеції, яка функціонує як центр «refurbishment», забезпечуючи повторне повернення техніки до економічного обігу з доданою екологічною вартістю [9].

У США, попри відсутність єдиного федерального законодавства щодо РВВ, існує низка регіональних ініціатив. Агентство з охорони довкілля США (Environmental Protection Agency, EPA) координує добровільні програми зі збору та переробки електронної техніки, зокрема через сертифіковані програми Sustainable Materials Management [10]. Японія, своєю чергою, має розвинену законодавчу базу та інфраструктуру щодо переробки ВЕЕО, зокрема завдяки діяльності компанії «Eco-system Japan Co., Ltd.», яка впроваджує високотехнологічні процеси екологічно безпечної утилізації [11].

На цьому тлі ситуація в Україні характеризується відсутністю ефективної системи управління відходами електронного та електричного обладнання. Попри прийняття у 2022 році Закону України «Про управління відходами» [12] практична імплементація його положень залишається на початковій стадії. Важливим кроком у вирішенні цього питання є створення проекту закону України «Про електричне та електронне обладнання та відходи електричного та електронного обладнання», який виключає елементи розширеної відповідальності виробників [14]. Недостатня інфраструктура, відсутність спеціалізо-

ваних центрів з переробки, а також низький рівень обізнаності населення обмежують можливості збирання й рециклінгу.

Серед чинників, що посилюють проблему, є зростання імпорту вживаної комп'ютерної техніки. За даними міжнародної аналітики, у 2022 році обсяг імпорту інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) в Україну становив близько 2,6 млрд доларів США [13]. Така техніка має обмежений залишковий ресурс, що призводить до її швидкого перетворення у відходи. Водночас високий темп морального старіння електроніки спричиняє накопичення непридатних до використання пристроїв, навіть якщо вони технічно справні. Це створює додаткове навантаження на екосистему та ускладнює впровадження принципів сталого управління.

В Україні програми «trade-in», що дозволяють споживачам обмінювати стару техніку на нову зі знижкою, поки що не мають широкого розповсюдження. Їх пропонують лише окремі ритейлери, такі як COMFY, MOYO, Цитрус, однак географія охоплення та технічні умови участі суттєво обмежені (табл. 1). Це знижує мотивацію користувачів до рециклінгу непридатних пристроїв належним чином.

З метою покращення ситуації в Україні варто розглядати адаптацію ефективних міжнародних практик з урахуванням локального контексту. Наприклад, активне впровадження «trade-in» у Німеччині дозволило суттєво зменшити обсяги електронних відходів. У Швеції функціонування незалежних сервісних центрів зі спеціалізацією на «refurbishment» не тільки сприяє продовженню життєвого циклу пристроїв, а й забезпечує зайнятість. В Японії система РВВ зобов'язує виробників відповідати за збір та утилізацію власної продукції. У США регіональні ініціативи та фінансові стимули сприяють участі громад у процесах рециклінгу (табл. 2).

З огляду на поточний соціально-економічний і воєнний стан, адаптація міжнародного досвіду має враховувати обмежені ресурси та особливості української правової системи. Водночас, євроінте-

Таблиця 1

Порівняльний аналіз підходів до управління відходами комп'ютерної техніки в Україні та розвинених країнах

Параметр	Розвинені країни (напр. Німеччина, Швеція)	Україна
Наявність законодавства	Дієве законодавство щодо ВЕЕО	Закон ухвалено, але реалізація залишається обмеженою
Інфраструктура	Розвинена мережа збору та переробки	Обмежена кількість пунктів прийому
Програми «trade-in»	Широко поширені серед ритейлерів	Часткове впровадження окремими компаніями
Імпорт вживаної техніки	Низький рівень	Високий обсяг через низьку купівельну спроможність
Обсяги електронних відходів	Контрольовані	Зростаючі через відсутність комплексного управління

Таблиця 2

Порівняння міжнародного досвіду та можливостей його адаптації в Україні

Країна	Ініціатива	Можливості адаптації в Україні	Виклики адаптації
Німеччина	Програми «trade-in»	Зменшення відходів, мотивація до обміну старої техніки	Відсутність мережі, низька обізнаність споживачів
Швеція	Сервісні центри з «refurbishment»	Нові робочі місця, зменшення обсягів електронного сміття	Потреба в інвестиціях, кваліфікованому персоналі
Японія	Система розширеної відповідальності	Виробники відповідають за утилізацію своєї продукції	Відсутність правового регулювання
США	Локальні ініціативи зі збору	Активізація місцевих громад, освітні програми	Недостатнє фінансування, потреба у держпідтримці

граційні прагнення створюють потужний стимул для модернізації підходів до поводження з електронними відходами. Реалізація комплексних програм «trade-in», створення сервісних центрів для відновлення техніки, законодавче закріплення принципу RBV та підтримка місцевих ініціатив є потенційними шляхами до сталого розвитку в цій сфері.

Актуальність проблеми управління відходами комп'ютерної техніки в Україні зумовлена не лише екологічними, а й економічними факторами. Відсутність ефективних механізмів сортування та рециклінгу призводить до потрапляння небезпечних електронних компонентів на полігони ТПВ. Це загрожує вивільненням токсичних речовин, таких як свинець, ртуть, кадмій, бромовані антипірени, що є серйозною загрозою для здоров'я населення і навколишнього середовища.

Окрім екологічної шкоди, безконтрольне захоплення техніки веде до втрати цінної вторинної сировини – золота, срібла, паладію, рідкоземельних металів. Ігнорування потенціалу рециклінгу та повторного використання компонентів суперечить принципам циркулярної економіки та знижує ресурсну ефективність економіки. У нашій країні недостатньо відповідних систем та технологій рециклінгу електронних відходів, що призводить до неправильного зберігання або вивезення відходів. Узагальнено відновлення електронних відходів включає декілька ключових етапів, від збору до остаточного відновлення (рециклінгу) (рис. 2) з урахуванням розширеної відповідальності виробника.

Етапи безпечного відновлення електронних відходів можливо охарактеризувати наступними основними операціями та аспектами, що потребують впровадження та удосконалення.

1. Збір та транспортування. Електронні відходи збираються через муніципальні пункти збору, спеціалізовані магазини або через програми зворотної логістики від виробників. Відходи транспортуються до об'єктів, де вони будуть далі перероблені. Перспективним є створення мережі переробки електронних відходів, що базується на Інтернеті речей. Виробники, відповідно до концепції розширеної від-

повідальності повинні брати участь у налагодженні мережі збору та транспортування електронних відходів до переробників.

2. Сортування та розбирання. Перший етап включає ручне сортування відходів на категорії та видалення небезпечних компонентів відходів, які ще мають ресурс доцільності їх застосування у іншій придатній для експлуатації продукції (наприклад, робочі деталі), а також компонентів електронних відходів, з яких можливо у процесі рециклінгу вилучити ресурсоцінні матеріали (метали, пластмаси, скло та ін.).

3. Рециклінг цінних матеріалів, придатних до вторинного використання. Удосконалення і застосування класичних технологій та методів, таких як піроліз, електролітичне та хімічне відновлення металів дозволяє отримати з відходів цінні метали (золото, паладій, літій, індій, олово, срібло, мідь та ін.). Інноваційні методи рециклінгу відходів дозволяють підвищити екологічність процесів та повноту вилучення корисних складових. Пропонується використання нанотехнологій, біометалургії та біологічного вилугування, надкритичних рідин, криогенного підходу до поділу матеріалів та ін.

Пластикові компоненти відходів подрібнюються та переробляються на гранули, які використовуються для виготовлення нових пластмасових виробів.

4. Знешкодження та детоксикація. Небезпечні або токсичні матеріали, які не можуть бути перероблені, повинні бути знешкоджені згідно з екологічними вимогами, які унеможливають вторинне забруднення довкілля. Водночас деякі неklasифіковані відходи, що містять органічні компоненти та які технічно неможливо відновити, доцільно використати як джерело енергії, використовуючи термічні методи перероблення відходів з отриманням тепла.

5. Подальше корисне використання компонентів відходів. Багаторазові компоненти можуть бути відремонтовані чи відновлені для подальшого використання. Можливість подальшої переробки або вторинного використання робочих деталей повинна бути закладена під час виробництва електронної продукції та підбору матеріалів, наприклад, плас-

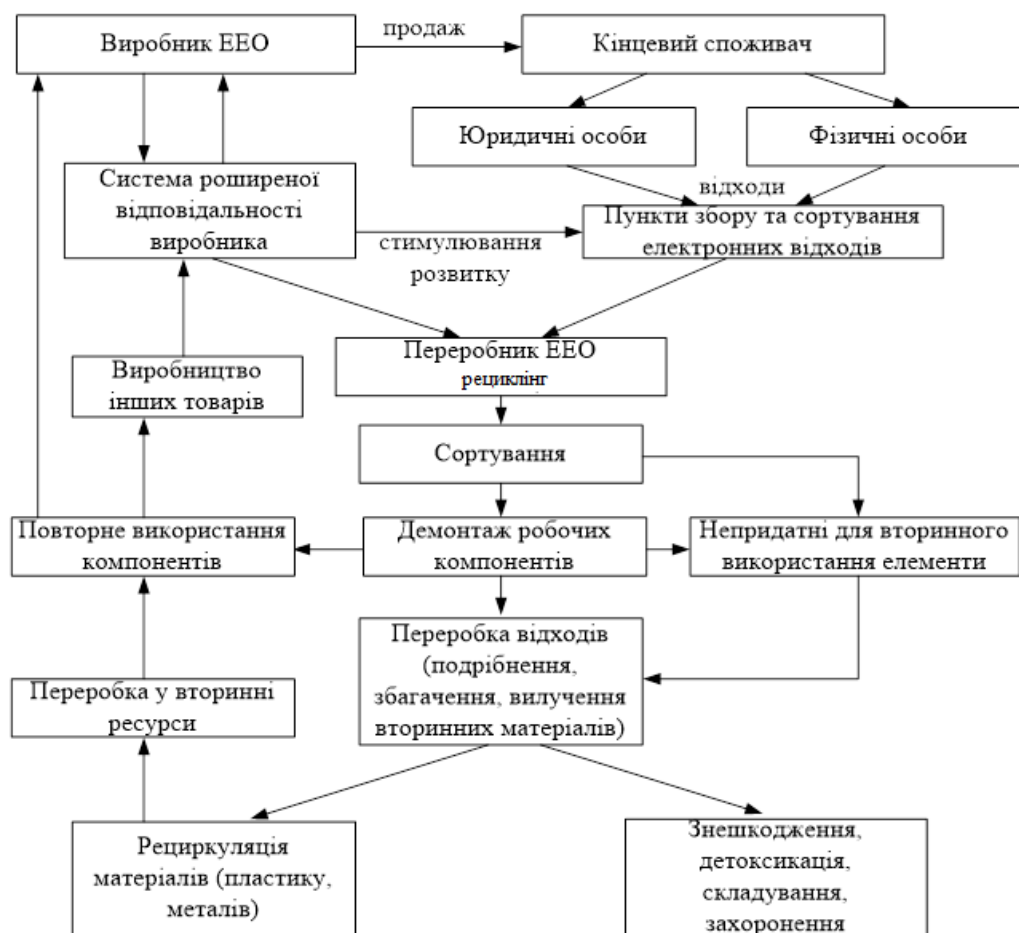


Рис. 2. Варіант схеми управління електронними відходами

тику для корпусів, який можливо вторинно використовувати після переробки. Відновлені матеріали використовуються у виробництві нових продуктів, завершуючи цикл виробництва.

6. Створення системи та культури розширеної відповідальності виробника. Виробники електронної продукції повинні аналізувати та оцінювати важливі технічні, економічні та екологічні аспекти відновлення відходів, а саме: технології рециклінгу (зеленого дизайну), можливість відновлення частин конструкції з цілю подальшого життєвого циклу, застосування екологічних матеріалів та ін. Необхідно, щоб їх діяльність сприяла створенню налагодженої системи збору електронних відходів та розвитку технологій відновлення, а також мала зворотній зв'язок з переробниками відходів щодо актуальних питань відновлення відходів, які важко піддаються рециклінгу та ін.

Зниження екологічних ризиків можливе за умови системного підходу: розбудови національної інфраструктури зі збору та відновлення відходів, подальшого розвитку нормативно-правової бази управління відходами; розробки та впровадження інноваційних технологій рециклінгу; впровадження інструментів

економічного стимулювання споживачів; активного залучення виробників до підвищення ефективності відновлення відходів та запровадження дієвої системи їх розширеної відповідальності. У сукупності ці заходи сприятимуть формуванню сталої моделі управління електронними відходами в Україні, що відповідає сучасним викликам та екологічним стандартам ЄС, а також використанню ресурсної бази відходів у циркулярній економіці.

Головні висновки. Проблема накопичення відходів комп'ютерної техніки в Україні набуває критичного характеру в умовах цифровізації, економічного відновлення та євроінтеграції. Система державного управління відходами в Україні потребує впровадження комплексної національної стратегії управління відходами комп'ютерної техніки, яка базується на принципах циркулярної економіки. Зокрема важливою у цій сфері є реалізація діяльності щодо відновлення, ремонту, модернізації, екодизайну та розширеної відповідальності виробника продукції. Окрему увагу доцільно приділяти адаптації міжнародних практик, зокрема моделі «trade-in», до українських реалій.

Попри прикладний характер, дослідження має низку обмежень – зокрема, щодо регіонального охо-

плення, масиву емпіричних даних та недостатньої кількості глибоких економічних розрахунків. Це визначає необхідність подальших міждисциплінарних досліджень на поєднанні екологічної політики, економіки, права та соціології, з особливою увагою до реальної спроможності споживачів і представників бізнесу долучатися до процесів відповідального виробництва, споживання та відновлення відходів.

Перспективи використання результатів дослідження. Запропонована концепція може бути прийнята до уваги при формуванні ефективної державної політики у сфері електронних відходів, а також сприяти розвитку інфраструктури їх відновлення, зниженню екологічного навантаження та формуванню високотехнологічного вторинного ринку в Україні.

Література

1. R. Kahhat, J. Kim, M. Xu, B. Allenby, E. Williams, P. Zhang. Exploring e-waste management systems in the United States. *Resources, Conservation and Recycling*. 2008. Vol. 52, No. 7. P. 955–964.
2. Цигульова О. М., Виговська Г. П., Повякель Л. І., Сноз С. В., Шуміло О. М. Сучасний стан політики поводження з електронними відходами в Україні та Європейському Союзі: кроки до зближення : аналітичний огляд. Київ : ВЕГО «МАМА-86», 2013. 172 с.
3. Директива Європейського Парламенту і Ради 2012/19/ЄС від 4 липня 2012 року про відходи електричного та електронного обладнання (БЕЕО). Редакція від 04.07.2018. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_030-12#Text (дата звернення: 15.04.2025).
4. M. Jain, D. Kumar, J. Chaudhary, S. Kumar, S. Sharma, A. Verma. Review on E-waste management and its impact on the environment and society. *Waste Management Bulletin*. 2023. Vol. 1, No. 3. P. 34–44.
5. F. G. Abdulkadhim, I. A. Neamah. Utilize Software Engineering to Develop Statistical Estimation Software Strategy. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*. 2014. Vol. 4, No. 10. P. 76–78.
6. Bhattarai, R. L. Gardas, S. N. Yadav, S. K. Chatterjee, R. K. Dev. Recovery of Rare Earth Elements (REEs) from Different Sources of E-waste and Their Potential Applications: A Critical Review. Distributed under a Creative Commons CC BY license. URL: <https://www.preprints.org/> (дата звернення: 15.04.2025).
7. Bezus A. M., Shevchun M. B., Bezus P. I. Prospects for innovative retail development. *Ekonomika ta derzhava*. 2019. No. 5. P. 24–28.
8. Відходи. Держстат. URL: <https://stat.gov.ua/uk/datasets/vidkhody> (дата звернення: 16.04.2025).
9. Vi tar hand om era gamla datorer, mobiler och IT-produkter. Remadeinsweden. URL: <https://www.remadeinsweden.se/> (дата звернення: 16.04.2025).
10. U.S. Environmental Protection Agency. URL: <https://www.epa.gov/> (дата звернення: 09.04.2025).
11. Eco-system Japan Co., Ltd. Recycleinme 23. URL: <https://www.recycleinme.com/rim-ECOSYS/home> (дата звернення: 18.04.2025).
12. Про управління відходами. Редакція від 15.11.2024, підстава – 4017-IX. Відомості Верховної Ради України (ВВР). 2023. № 17. Ст. 75. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text> (дата звернення: 18.04.2025).
13. Accelerating impact mobilizing investment at scale. IFC. 2024. URL: <https://www.ifc.org/content/dam/ifc/doc/2024/ifc-annual-report-2024-accelerating-impact-en.pdf> (дата звернення: 19.04.2025).
14. Проект закону України «Про електричне та електронне обладнання та відходи електричного та електронного обладнання». URL: <https://mepr.gov.ua/povidomlennya-pro-oprylyudnennya-proyektu-zakonu-pro-elektrychne-ta-elektronne-obladnannya-ta-vidhody-elektrychnogo-ta-elektronnogo-obladnannya/> (дата звернення: 19.04.2025).

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БІОПРЕПАРАТІВ ДЛЯ ДВОРОВОГО КОМПОСТУВАННЯ ХАРЧОВИХ ТА ЗЕЛЕНИХ ВІДХОДІВ

Шевченко В.Г.¹, Лагутенко О.Т.², Щепотко С.Ю.²

¹Український державний університет імені Михайла Драгоманова
вул. Пирогова, 9, 01601, м. Київ

²Гімназія «Троєщина» II-III ступенів Деснянського району
вул. Олександрії Екстер, 14В, 02232, м. Київ
v.h.shevchenko@udu.edu.ua, lagutenkoot@ukr.net, schepotkos@gmail.com

Проблема переробки органічних відходів є одним із екологічних викликів, з яким стикаються багато країн, зокрема і Україна. Органічні відходи, такі як харчові рештки, рослинні залишки, можуть створювати значне навантаження на навколишнє середовище, якщо їх не утилізувати належним чином. Використання органічних відходів для компостування може значно зменшити їхній негативний вплив на довкілля. Такий тип відходів, при правильному поводженні з ними, може приносити користь навколишньому середовищу, сприяючи збереженню ресурсів, зменшенню обсягів твердого побутового сміття, зниженню викидів парникових газів (зменшення обсягів утворення метану в анаеробних умовах на сміттєзвалищах). Компостування дозволяє отримувати органічні добрива для рослинницької галузі сільського господарства та зеленого міського будівництва. Хоча цей процес утилізації органічних відходів має багато переваг, але він також супроводжується певними проблемами, зокрема, сезонними обмеженнями та довготривалим процесом розкладання. Виробники та торговельні мережі пропонують широкий вибір біопрепаратів для прискорення та полегшення процесу компостування. В роботі проаналізовано результати спостережень за процесом компостування органічних відходів (харчових та зелених) у побутовому компостері, який було розміщено на подвір'ї гімназії «Троєщина» Деснянського району міста Києва. Експеримент проводився в умовах низьких температур повітря (період дослідження листопад-грудень 2024 року). Температура компостної маси впродовж листопада була вищою на 9,1 °C, грудня – на 4,4 °C порівняно з температурою повітря. Встановлено, що ферментація органічних відходів відбувається, оскільки температура компостної маси не опускалася нижче 3,8 °C. Ефективність біопрепаратів «Еколайн Компост» та «ProBio Бокаші» в умовах низьких температур на початковому етапі формування компосту підтверджена. *Ключові слова:* сортування та переробка відходів, органічні відходи, компостування, компостер, компост, біопрепарати, температурний режим компостування, культура поводження з відходами.

Features of the application of bioproducts for yard composting of food and green waste. Shevchenko V., Lagutenko O., Shchepotko S.

The problem of organic waste recycling is one of the environmental challenges faced by many countries, including Ukraine. Organic waste, such as food scraps and plant residues, can create a significant burden on the environment if not disposed of properly. The use of organic waste for composting can significantly reduce their negative impact on the environment. This type of waste, when properly managed, can benefit the environment by contributing to resource conservation, reducing the volume of solid household waste, and reducing greenhouse gas emissions (reducing the formation of methane under anaerobic conditions in landfills). Composting allows you to obtain organic fertilizers for the crop sector of agriculture and green urban construction. Although this process of organic waste disposal has many advantages, it is also accompanied by certain problems, in particular, seasonal restrictions and a long-term decomposition process. Manufacturers and retail chains offer a wide range of biological products to accelerate and facilitate the composting process. The paper analyzes the results of observations of the composting process of organic waste (food and green) in a household composter, which was placed in the courtyard of the Troyeshchyna gymnasium in the Desnyanskyi district of Kyiv. The experiment was conducted in conditions of low air temperatures (study period November-December 2024). The temperature of the compost mass during November was 9,1°C higher, in December – 4,4°C higher compared to the air temperature. It was established that the fermentation of organic waste occurs, since the temperature of the compost mass did not fall below 3,8°C. The effectiveness of the biological products «Ecoline Compost» and «ProBio Bokashi» in conditions of low temperatures at the initial stage of compost formation has been confirmed. *Key words:* waste sorting and recycling, organic waste, composting, composter, compost, biological products, composting temperature regime, waste management culture.

Постановка проблеми. Частка органічних відходів у загальному обсязі міських відходів значно варіює (приблизно від 20 до 50%) залежно від країни, культури споживання та рівня розвитку системи управління відходами. На сьогодні відсутні точні дані про кількість даного типу відходів, що захоплюються на сміттєзвалищах України. Впровадження системи роздільного збору таких матеріалів та наступне компостування органічних відходів доз-

волить зменшити: обсяги утворення залишків, що підлягають вивезенню; викиди парникових газів зі звалищ, які шкідливі для нашого довкілля та спричиняють глобальне потепління; забруднення довкілля, яке може мати негативний вплив на здоров'я та самопочуття людей.

В Україні найбільш поширено дворове компостування, особливо серед мешканців сільської місцевості та дачників, які виготовляють компост на територіях

власних садиб або на дачах. Також малими фермерськими господарствами традиційно здійснюється компостування органічних відходів, а готовий компост використовується для удобрення ґрунтів як спосіб покращення їх якості і підвищення врожайності.

Розкладання органічних матеріалів здійснюється за допомогою мікроорганізмів при певних температурах. Для прискорення процесу компостування рекомендовано використовувати різноманітні біопрепарати, які містять мікроорганізми, здатні розкладати органічні речовини.

Актуальність дослідження. Правильний температурний режим є важливим для досягнення ефективного компостування та отримання якісного компосту. Дослідження впливу температури повітря на процес компостування є актуальним, оскільки не всі біопрепарати ефективні у холодну пору року.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Утилізація органічних відходів перебуває під контролем держави та компетентних органів. Зокрема, Міністерством розвитку громад, територій та інфраструктури України був прийнятий Наказ «Про затвердження правил компостування біовідходів їх утворювачами на присадибних, дачних і садових ділянках» № 489 від 13.06.2023 року [1]. Також є багато успішних проектів та ініціатив, які передбачають окремий збір органічних відходів з наступним їхнім компостуванням. Дворове компостування є такою екологічною ініціативою, яка враховує європейський підхід до поводження з відходами та відповідає Цілям сталого розвитку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним з основних джерел забруднення природного середовища є тверді побутові відходи, які є сумішшю органічних та неорганічних компонентів різноманітного складу. Найбільшою проблемою є переробка органічної складової твердих побутових відходів, оскільки потрапляючи в навколишнє середовище, вони швидко піддаються природним процесам біодеградації та несприятливо впливають на довкілля (неприємний запах, забруднення ґрунтів і поверхневих вод, підвищення ризику поширення збудників захворювань інше) [2].

Згідно з аналітичними даними в складі твердих побутових відходів усереднений вміст харчових відходів складає 35% за масою. Причому, максимальна їх частка відмічається в зимовий період – до 40%, мінімальна – в літній період – 30% [3, с. 65]. Харчові відходи містять велику кількість вологи, що значно впливає на вогкість сміття, яка коливається в межах 30-58% (максимум восени). Тому такі відходи доцільно відокремлювати від загальної маси твердих побутових відходів (роздільний збір), оскільки при спільному зборі, зберіганні і транспортуванні ресурсно-цінні компоненти (папір, ганчір'я тощо) втрачають свої якості та стають непридатними для вторинної переробки [3, с. 63].

Сортування відходів та впровадження системи роздільного збору є ключовим фактором покращення їхньої переробки. В працях З. Маслюкової [4], Сяоя Цао [5], Тахсін Саяра [6] здійснено огляд глобальних тенденцій, аналіз чинників, переваг і недоліків, стратегій ефективного використання та майбутніх перспектив компостування органічних відходів. Найбільш оптимальним є поєднання сортування та біологічних методів переробки таких матеріалів. Біологічні методи переробки органічних відходів є екологічно безпечними, оскільки їх використання не супроводжується утворенням нових токсичних речовин та забрудненням довкілля шкідливими сполуками [7].

Компостування – процес розкладання органічних компонентів відходів мікроорганізмами в присутності кисню повітря (аеробне компостування) з утворенням компосту, тепла, води та вуглекислого газу. Аеробне компостування поділяють на дворове (місцеве) та централізоване. Компостування найбільш придатне для знешкодження відходів сільського господарства, переробної промисловості, харчової фракції органічних відходів, деревини, листя, трави тощо [8]. В результаті перероблення таких природних матеріалів отримують якісний гумус, придатний до використання в якості добрива у сільському господарстві, садівництві, ландшафтному будівництві [9].

Одним із недоліків компостування органічних відходів є значний проміжок часу, який необхідний для отримання компосту (4-18 місяців) [2]. Суттєво скоротити термін компостування дозволяє використання різноманітних біопрепаратів. Вони містять у своєму складі ферменти, ефективні мікроорганізми, спеціалізовані дріжджі та гумінові кислоти. Тому в технології компостування особлива увага приділяється підтримці необхідної температури для активної роботи мікроорганізмів. Деякі препарати потребують створення особливих умов (більш ретельного контролю температури та вологості, перемішування компостного матеріалу).

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Здійснено апробацію методу дворового компостування органічних відходів (харчових та зелених) із застосуванням біопрепаратів «Еколайн Компост» та «ProBio Бокаші». Дослідження дозволить популяризувати досвід гімназії «Троєщина» в переробці органічних відходів.

Методологічне або загальнонаукове значення. Дослід з компостування харчових та зелених відходів здійснювали в період листопад-грудень 2024 року. До екологічної ініціативи були залучені керівництво гімназії, працівники їдальні, вчителі та здобувачі освіти.

Пластиковий компостер садовий Composter IKL220C виробництва Польщі (Prosperplast) об'ємом 220 л встановили у внутрішньому дворі гім-

назії «Троєщина». Для компостування використували органічні відходи рослинного походження: опале листя дерев, скошена трава, харчові відходи. Відходи укладали в компостер шарами, чергуючи «коричневі» відходи (опале листя) і «зелені» відходи (траву, залишки овочів, харчові відходи), не дуже щільно для забезпечення надходження повітря і аеробного процесу розкладу органічних решток. На 220 л об'єму заповненого компостера доливали до 5 л води за потреби. Компостну масу періодично перемішували (кожні 2 тижні), щоб забезпечити доступ кисню і рівномірне прогрівання.

Для прискорення процесу компостування використано біопрепарати «Еколайн Компост» та «ProBio Бокаші». «Еколайн Компост» (виробник ТОВ «Еколайн», Україна) – біопрепарат, що містить бактерії з високою працездатністю та життєстійкістю, пригнічує ріст хвороботворних бактерій, нешкідливий для людини, тварин, навколишнього середовища. «ProBio Бокаші» (виробник компанія «Пробіотики Україна», Україна) – біопрепарат, що містить комплекс «ефективних мікроорганізмів» (ЕМ): молочнокислі бактерії й дріжджові гриби, забезпечує низькотемпературний процес ферментації (ЕМ починають діяти вже за температури від +2 °C). Поєднання ЕМ

Таблиця 1

**Результати спостережень за температурним режимом процесу компостування
(біопрепарат «Еколайн Компост», листопад 2024 року)**

День	Середньодобова температура повітря, °C	Температура всередині компостної маси, °C				Заходи по догляду за компостом
		Нижня частина	Середня частина	Верхня частина	Середній показник	
1	10,5	12,2	11,5	10,8	11,5	біопрепарат
2	8,8	13,0	12,5	10,6	12,0	
3	3,6	13,6	13,0	10,4	12,3	
4	4,5	13,9	13,3	10,0	12,4	
5	2,2	13,0	13,0	9,5	11,8	
6	5,1	12,2	12,6	8,4	11,1	
7	5,7	12,1	12,5	8,3	11,0	полив
8	4,1	12,2	12,6	8,6	11,1	
9	5,0	12,5	12,6	8,8	11,3	
10	3,5	13,0	12,5	8,6	11,4	
11	1,6	12,8	12,4	8,4	11,2	
12	3,0	12,6	12,1	8,0	10,9	
13	3,0	12,6	12,0	7,6	10,7	
14	1,0	12,4	11,0	7,2	10,2	біопрепарат
15	1,0	12,4	10,8	6,8	10,0	перемішування
16	3,0	12,0	11,6	7,2	10,3	
17	4,9	11,8	11,8	7,0	10,2	
18	3,0	11,4	11,6	6,6	9,9	
19	2,9	11,0	11,4	6,2	9,5	
20	8,7	10,7	11,0	6,0	9,2	полив
21	1,4	8,8	10,2	5,0	8,0	
22	-0,6	6,9	9,1	4,5	6,8	
23	0,1	6,8	8,4	4,0	6,4	
24	-1,1	6,4	8,0	3,8	6,0	
25	-2,3	6,0	7,8	3,3	5,6	
26	-3,3	5,0	7,6	3,0	5,0	
27	-3,4	4,5	7,4	2,5	4,8	
28	0,4	5,0	6,8	3,0	4,9	перемішування
29	0,3	5,2	7,4	2,2	4,9	
30	0,4	5,3	6,9	2,0	4,7	
Середнє	2,6	10,2	10,7	6,6	9,1	

і сухих пшеничних висівок, які пройшли процес ферментації за типом сквашування молока і дріжджового бродіння, дозволяє забезпечити достатнє виживання мікроорганізмів під час потрапляння в нове середовище.

Ефективність процесу компостування оцінювали за допомогою моніторингу температурного режиму компостної маси за допомогою електронного харчового термометра Digital Thermometer WT-1.

Викладення основного матеріалу. Температура компостної маси є важливим показником процесу компостування, оскільки вона відображає активність мікроорганізмів, і залежить від стадії процесу.

На початковій стадії (аеробне розкладання) температура компосту може підніматися до 50-60 °С внаслідок інтенсивної діяльності термофільних бактерій, які активно розкладають білки, вуглеводи і ліпіди. Під час основної стадії температура різко підвищується і може досягати 70 °С. На пізніших стадіях, коли основна частина органічних речовин розкладена і діяльність бактерій уповільнюється, температура компосту знижується до 30-40 °С. Температуру в середині компостної маси вимірювали в трьох точках (в нижній, середній та верхній частині) щоденно о 10.00 годині впродовж місяця листопада (табл. 1) та грудня (табл. 2) 2024 року.

Таблиця 2

Результати спостережень за температурним режимом процесу компостування (біопрепарат «ProBio Бокаші», грудень 2024 року)

День	Середньодобова температура повітря, °С	Температура всередині компостної маси, °С				Заходи по догляду за компостом
		Нижня частина	Середня частина	Верхня частина	Середній показник	
1	0,8	3,1	5,3	6,2	4,8	біопрепарат
2	1,0	3,2	5,5	6,3	5,0	
3	-1,7	3,0	5,3	6,0	4,8	
4	-3,4	2,8	4,9	5,5	4,4	
5	-2,4	2,9	5,1	5,7	4,6	
6	-1,0	3,1	5,2	5,8	4,7	
7	2,1	3,3	5,4	5,8	4,8	полив
8	0,0	3,1	5,3	6,0	4,8	
9	0,3	3,1	5,4	6,1	4,9	
10	0,1	3,1	5,3	6,1	4,8	
11	-0,2	3,0	5,0	6,0	4,7	
12	-1,5	3,0	4,8	5,6	4,5	
13	-4,4	2,8	4,4	5,5	4,2	
14	-6,6	2,6	4,0	5,3	4,0	біопрепарат
15	-1,0	2,8	4,0	5,5	4,1	перемішування
16	3,3	3,0	4,2	4,4	3,9	
17	4,1	3,1	4,2	4,5	3,9	
18	2,1	3,0	4,4	4,5	4,0	
19	4,6	3,2	4,7	4,6	4,2	
20	2,7	3,2	4,5	4,5	4,1	полив
21	1,7	3,1	4,5	4,4	4,0	
22	-2,2	3,0	4,4	4,2	3,9	
23	-2,3	3,0	4,4	4,1	3,8	
24	0,6	3,1	4,5	4,3	4,0	
25	-0,1	3,1	4,4	4,3	3,9	
26	0,0	3,1	4,6	4,4	4,0	
27	0,4	3,2	4,7	4,4	4,1	
28	0,0	3,2	4,7	4,4	4,1	перемішування
29	-0,6	3,2	4,6	4,3	4,0	
30	0,3	3,2	4,8	4,4	4,1	
31	1,3	3,3	5,0	4,5	4,3	
<i>Середнє</i>	<i>-0,1</i>	<i>3,1</i>	<i>4,8</i>	<i>5,1</i>	<i>4,3</i>	

Одночасно нами велися спостереження за середньодобовою температурою повітря, оскільки температура ззовні компостера також впливає на температурний режим компостної маси.

Температура повітря в період дослідження була підвищеною і значно відрізнялася від середніх багаторічних температур (перевищення норми на 1,2 °C в листопаді, на 3,1 °C – в грудні). Однак в окремі періоди спостерігали зниження температурних показників: до мінус 3,4 °C в останній декаді листопада та мінус 6,6 °C – в середині грудня. Впродовж листопада спостерігається поступове зниження температури повітря, однак температура компосту стабільно перевищувала температуру повітря на 6,5 °C. В грудні відзначається більш сталий температурний режим зовнішнього середовища, при цьому температура компостної маси була вищою на 4,4 °C порівняно з температурою повітря.

Контроль температури в компостній масі показав, що на температурні показники в різних частинах компостної маси впливають заходи по догляду: полив та перемішування компосту сприяють його незначному прогріванню (в середньому на 0,2 °C), вирівнюванню температур в різних частинах компостної маси. Однак температура компостної маси (середній показник) істотно залежить від температури повітря.

Графічне зображення результатів моніторингу температури демонструють, що незважаючи на іноді різкі перепади температурних показників атмосферного повітря, температура компостної маси колива-

лася в незначних межах впродовж листопада, залишаючись більш-менш стабільною впродовж грудня. Це створювало гарні умови для життєдіяльності мікроорганізмів, які входили до складу біопрепаратів «Еколайн Компост» (рис. 1) та «ProBio Бокаші» (рис. 2).

Недостатньо висока температура компостної маси (10,7 °C в листопаді та 4,8 °C в грудні) вказувала на те, що процес компостування лише на початковій стадії.

Підсумки. За результатами проведених нами спостережень доведено вплив температури повітря на температурні умови та перебіг процесу компостування. Встановлено пряму залежність температури компостної маси від температури повітря, однак температура компостної маси впродовж листопада була вищою на 6,5 °C, грудня – на 4,4 °C порівняно з температурою повітря. Рівномірному прогріванню і аерації компостної маси сприяло перемішування компосту, оскільки щоразу відзначалося вирівнювання температур в різних частинах компостної маси.

Впродовж листопада-грудня 2024 року середньодобова температура повітря максимально знижувалася до мінус 6,6 °C. Про ефективність біопрепаратів «Еколайн Компост» та «ProBio Бокаші» в умовах низьких температур на початковому етапі формування компосту та нормальний перебіг процесу ферментації органічних відходів свідчить той факт, що температура компостної маси не опускалася нижче 3,8 °C.

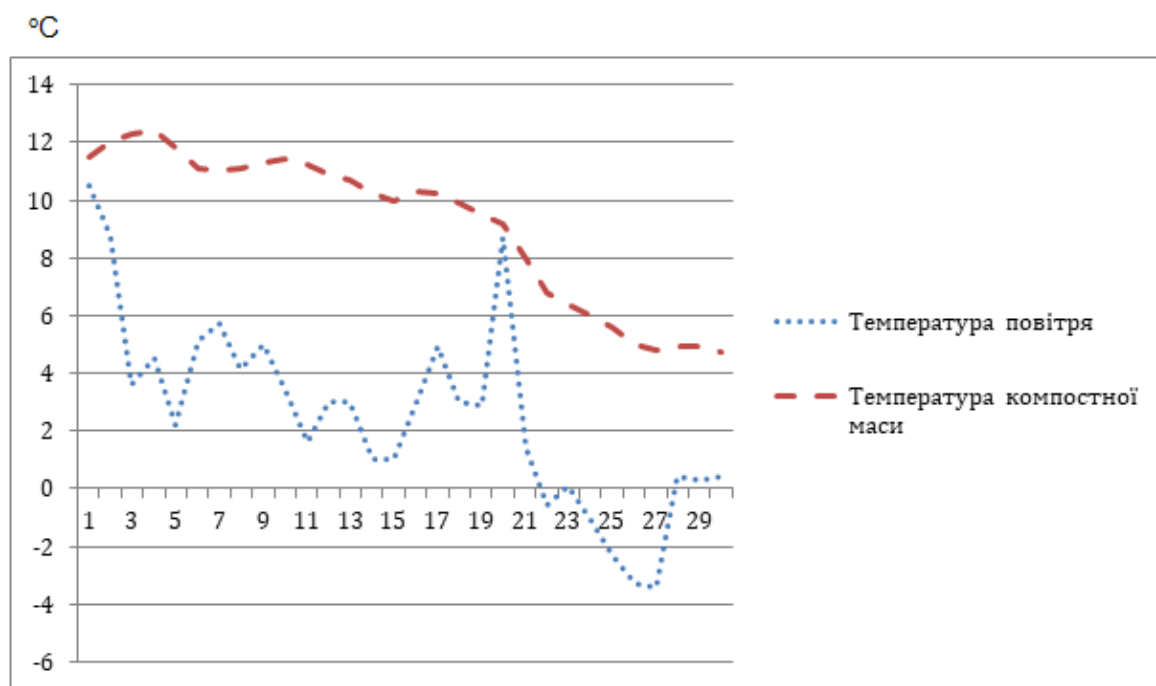


Рис. 1. Графік залежності температури компостної маси від температури повітря («Еколайн Компост», листопад 2024 року)

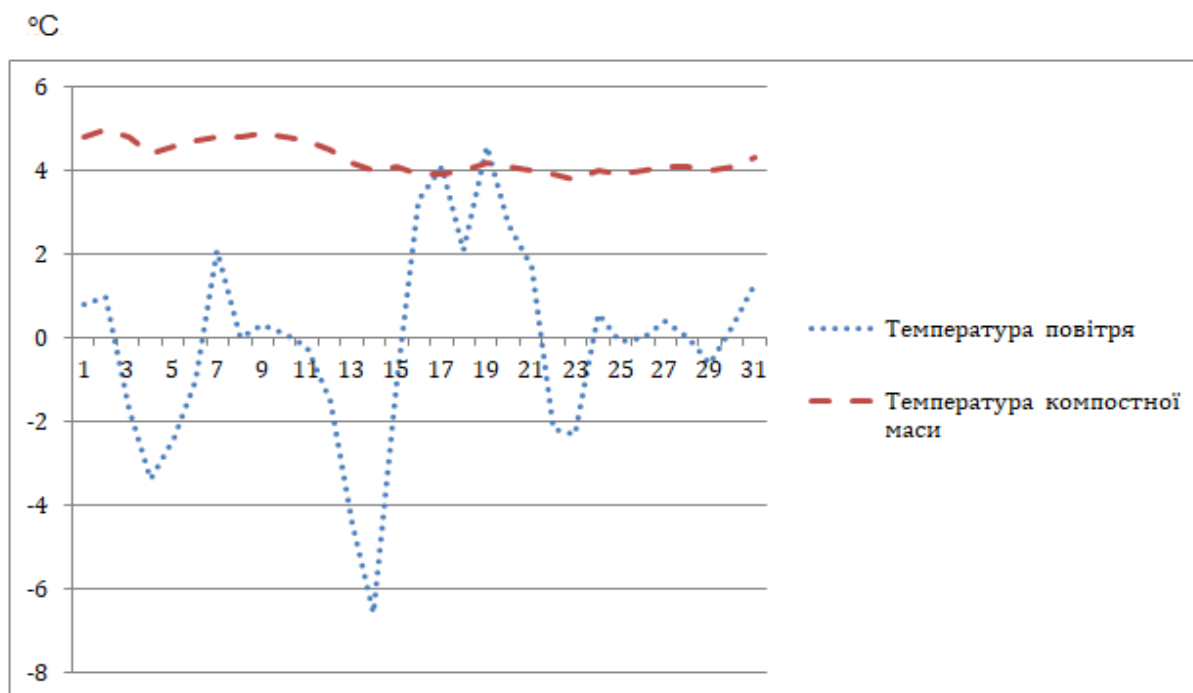


Рис. 2. Графік залежності температури компостної маси від температури повітря («ProBio Бокаші», грудень 2024 року)

Проведене дослідження продемонструвало необхідність дотримання нормативних документів з компостування, створення розвиненої інфраструктури для сортування та переробки

сміття, поширення екологічних знань та формування культури поводження з відходами. дворового компостування із застосуванням біопрепаратів.

Література

1. Наказ Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України від 13.06.2023р. № 489 «Про затвердження Правил компостування біовідходів їх утворювачами на присадибних, дачних і садових ділянках». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1271-23#Text>
2. Бузіна І. М., Рябченко В. С. Переробка органічної складової твердих побутових відходів шляхом компостування. *Сучасний стан науки в сільському господарстві та природокористуванні: теорія і практика* (20 листопада 2020 р.). С. 29-30.
3. Поводження з відходами: курс лекцій. / Укладач: О. В. Рибалова. Х: НУЦЗУ, 2016. 530 с.
4. Masliukova Z., Chetveryk H., Neokleous A., & Otto, F. Obtaining and use of compost from the organic component of household waste. *Scientific Horizons*. 2021.24(3), 87-96. DOI: 10.48077/scihor.24(3).2021.87-96.
5. Xiaoxia Cao, Paul N. Williams, Yuanhang Zhan, Scott A. Coughlin, John W. McGrath, Jason P. Chin, Yingjian Xu Municipal solid waste compost: Global trends and biogeochemical cycling. *Soil & Environmental Health*. 2023. Volume 1, Issue 4, 100038. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sch.2023.100038>.
6. Tahseen Sayara, Rezq Basheer-Salimia, Fatina Hawamde and Antoni Sánchez Recycling of Organic Wastes through Composting: Process Performance and Compost Application in Agriculture. *Agronomy*, 2020, 10, 1838. DOI: 10.3390/agronomy10111838.
7. Сільськогосподарська біотехнологія. Методичні рекомендації для виконання лабораторних робіт. / Укладач: О. І. Каратєєва. Миколаїв: Миколаївський національний аграрний університет, 2023. С. 61-62.
8. Бунчак О. М. Екологічне обґрунтування виробництва і застосування органічних добрив із вмістом тривалентного хрому в агроценозах Західного Лісостепу: дисертація на здобуття наукового ступеня доктора сільськогосподарських наук зі спеціальності 03.00.16 «Екологія» – Кам'янець-Подільський; Інститут захисту рослин НААН України, Київ, 2021. С. 30.
9. Інноваційно-технологічні засади вирощування нішевих культур за органічного землеробства в умовах Полісся: науково-практичні рекомендації / О. І. Савчук, В. І. Ратошнюк, В. І. Герасимчук, Т. Ю. Приймачук, Т. А. Штанько, В. В. Ратошнюк. *Інститут сільського господарства Полісся НААН*. – Житомир: Видавничий дім «Бук-друку», 2023. С. 21-22.

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ

Галактіонов М.С., Бредун В.І.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Першотравневий пр., 24, 36011, м. Полтава

nikolay@galaktionov.com

У великих промислових містах, таких як Кривий Ріг, проблема забруднення атмосферного повітря викидами автотранспорту стає дедалі актуальнішою. Інтенсивний рух транспортних засобів, зростання кількості автомобілів, значна частина яких не відповідає сучасним екологічним стандартам, суттєво погіршують екологічну ситуацію. Особливу тривогу викликає той факт, що в умовах високого промислового навантаження транспортні викиди накладаються на промислові, створюючи додаткові ризики для здоров'я населення. Одним із перспективних напрямів вирішення цієї проблеми є впровадження інтелектуальних транспортних систем (ІТС), що поєднують сучасні технології збору, обробки, аналізу та управління даними для підвищення ефективності роботи транспортної інфраструктури. У межах дослідження підкреслюється важливість інтеграції ІТС із системами екологічного моніторингу міського середовища. Такий підхід дозволяє в режимі реального часу отримувати дані про рівень забруднення повітря, аналізувати вплив транспортних потоків на екологічний стан і оперативно реагувати на критичні зміни. З огляду на специфіку Кривого Рогу, де спостерігається поєднання транспортних та інтенсивних промислових викидів, інтеграція ІТС та моніторингових систем є особливо актуальною. Запропонована в дослідженні система базується на застосуванні адаптивного регулювання дорожнього руху за допомогою інтелектуальних світлофорів, використанні платформ екологічного моніторингу та впровадженні прогнозних моделей для аналізу транспортних потоків. Одним із ключових елементів є інтеграція прогнозних моделей із системою «зелена хвиля», що дозволяє мінімізувати кількість зупинок і час простою транспорту на перехрестях. Це безпосередньо сприяє зниженню обсягів викидів шкідливих речовин у повітря. Окрім того, моделі враховують сезонні та добові коливання інтенсивності руху, що дає можливість гнучко керувати транспортними потоками, оптимізуючи їх розподіл у просторі та часі. Проведені розрахунки та моделювання підтверджують, що впровадження такої системи дозволяє зменшити екологічне навантаження на найбільш забруднені райони міста, сприяє ефективнішому використанню міської транспортної інфраструктури, зменшує затори й загалом підвищує якість життя мешканців. В умовах Кривого Рогу впровадження інтегрованої платформи управління транспортними потоками та екологічним моніторингом є важливим кроком у вирішенні актуальних проблем забруднення повітря, викликаних одночасною дією транспортних і промислових джерел викидів. *Ключові слова:* забруднення повітря, системи прогнозування, викиди автотранспорту, інтелектуальні транспортні системи, екологічний вплив, міський трафік.

Modeling and forecasting in intelligent transportation systems. Halaktionov M., Bredun V.

In large industrial cities such as Kryvyi Rih, the problem of air pollution caused by vehicle emissions is becoming increasingly urgent. Intensive traffic, the growing number of vehicles – many of which do not meet modern environmental standards – significantly worsens the ecological situation. Of particular concern is the fact that in conditions of high industrial load, transport emissions combine with industrial emissions, creating additional risks for public health. One of the promising approaches to address this issue is the implementation of Intelligent Transportation Systems (ITS), which integrate modern technologies for data collection, processing, analysis, and management to improve the efficiency of transportation infrastructure. This study emphasizes the importance of integrating ITS with urban environmental monitoring systems. Such an approach allows real-time data collection on air pollution levels, analyzes the impact of traffic flows on environmental conditions, and enables prompt response to critical changes. Given the specifics of Kryvyi Rih, where transport emissions are compounded by intensive industrial discharges, the integration of ITS and monitoring systems is particularly relevant. The proposed system is based on the application of adaptive traffic management through intelligent traffic signals, the use of environmental monitoring platforms, and the introduction of predictive models for traffic flow analysis. A key component is the integration of predictive models with a «green wave» system, which minimizes vehicle stops and idle time at intersections, directly contributing to a reduction in harmful emissions into the atmosphere. Additionally, the models take into account seasonal and daily fluctuations in traffic intensity, enabling flexible management of traffic flows and optimizing their distribution in time and space. Calculations and modeling results confirm that the implementation of such a system reduces environmental burdens in the most polluted areas, promotes more efficient use of urban transport infrastructure, decreases congestion, and generally improves residents' quality of life. Under the conditions of Kryvyi Rih, the implementation of an integrated platform for traffic flow management and environmental monitoring represents an important step toward solving urgent air pollution issues caused by the simultaneous influence of both transportation and industrial emission sources. *Key words:* air pollution, forecasting systems, vehicle emissions, intelligent transportation systems, environmental impact, urban traffic.

Постановка проблеми. Зростання кількості автомобілів у міських умовах створює серйозні виклики для міської інфраструктури та навколишнього середовища. З одного боку, це призводить до перевантаження дорожньої мережі, що спричиняє затори, підвищує рівень шумового забруднення та знижує загальну ефективність транспортної системи. З іншого боку, збільшення кількості автомобілів, особливо тих, що не відповідають сучасним екологічним стандартам, значно підвищує рівень забруднення атмосферного повітря. Це проявляється у зростанні концентрацій шкідливих речовин, таких як CO_2 , NO_2 , та тверді частки, які негативно впливають на здоров'я населення та екосистему.

Одним із перспективних варіантів вирішення проблеми забруднення повітря та перевантаження інфраструктури в містах є впровадження інтелектуальних транспортних систем (ІТС). Ці системи об'єднують передові технології збору, аналізу та управління даними, щоб оптимізувати рух транспорту, зменшити час у заторах і, відповідно, знизити рівень викидів забруднюючих речовин.

Актуальність дослідження. Зважаючи на глобальну загрозу зміни клімату та забруднення повітря, що шкодить здоров'ю, дослідження способів зменшення впливу автомобільного транспорту на екологію є надзвичайно важливим. В Україні, де автотранспорт є значним джерелом забруднення, особливо у великих промислових центрах, таких як Кривий Ріг з його унікальною транспортною інфраструктурою, це питання стоїть особливо гостро. Отже, вивчення шляхів мінімізації негативного впливу автотранспорту є ключовим для оздоровлення довкілля, зміцнення енергетичної незалежності та досягнення цілей сталого розвитку країни.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Ці дослідження узгоджуються з ключовими напрямками розвитку безпечного, екологічно чистого та енергоефективного транспорту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Численні міжнародні дослідження підкреслюють важливість впровадження ІТС. Дослідження підтверджують, що розвиток ІТС нерозривно пов'язаний із прогресом у галузі транспортної навігації. Завдяки сучасним навігаційним технологіям, таким як GPS, системи прогнозування трафіку та інтегровані платформи управління маршрутами, ІТС стають більш ефективними та точними [1-2].

Впровадження ІТС сприяє значному покращенню мобільності населення завдяки оптимізації транспортних потоків, зниженню часу у заторах та підвищенню ефективності використання дорожньої інфраструктури [3]. Системи інтелектуального управління також застосовуються для більш ефективного регулювання руху в місцях масового скупчення людей, таких як вокзали, аеропорти, стадіони та торгові центри. Вони допомагають оптимізувати

транспортні потоки, забезпечуючи швидке та безпечне пересування пішоходів і транспортних засобів [4-5].

У сучасних дослідженнях значна увага приділяється питанню екологічності ІТС. Основна мета впровадження таких рішень – зменшення негативного впливу транспорту на навколишнє середовище [6].

Невирішені аспекти проблеми. Незважаючи на наявність сучасних систем для впровадження ІТС та моніторингу і прогнозування забруднення повітря, залишається низка невирішених проблем. Основною з них є відсутність реальної інтеграції між даними про транспортні потоки та показниками якості атмосферного повітря, особливо в містах із великим промисловим навантаженням і розвинутою транспортною мережею, таких як Кривий Ріг.

Відсутність такої інтеграції призводить до обмеженої ефективності існуючих екологічних програм і транспортних стратегій. Зокрема, дані про інтенсивність руху, типи транспортних засобів і маршрути не враховуються при розробці заходів з покращення якості повітря. Це ускладнює прийняття оперативних рішень, таких як зміна маршрутів або регулювання транспортних потоків у реальному часі для зменшення викидів в найбільш забруднених зонах. Крім того, без інтеграції з даними моніторингу повітря неможливо точно оцінити вплив транспортних заходів на екологію, що ускладнює планування ефективних довгострокових стратегій. У містах, де до проблем транспорту додається значне промислове навантаження, відсутність єдиної системи даних значно посилює складність управління екологічними ризиками.

Для вирішення цієї проблеми необхідно створити інтегровану платформу, яка об'єднує інформацію про транспортні потоки, показники забруднення повітря та дані про діяльність промислових підприємств. Це дозволить не лише здійснювати більш точний аналіз впливу транспорту на якість повітря, але й забезпечить можливість оперативного реагування на екологічні виклики.

Наукова новизна. Важливим напрямком досліджень є створення нових інструментів для кращого управління транспортними потоками, прогнозування екологічних наслідків та розвитку сучасної транспортної інфраструктури.

Практична значущість. Можливість застосування результатів дослідження для розробки конкретних заходів та програм на місцевому та національному рівнях.

Результати дослідження. Міські транспортні системи у великих містах стикаються зі значними викликами через застарілу систему управління дорожнім рухом, яка не відповідає сучасним вимогам ефективності та безпеки, а також через постійне зростання кількості транспортних засобів. Такі умови призводять до перевантаження транспортної

інфраструктури, частих заторів, збільшення часу на дорогу та підвищення рівня забруднення повітря [7].

Застарілі методи управління, які базуються на фіксованих графіках роботи світлофорів чи статичних маршрутних схемах, більше не відповідають реаліям сучасних мегаполісів, де транспортний потік постійно змінюється. Збільшення кількості автомобілів, у тому числі приватного транспорту, створює додатковий тиск на дорожню інфраструктуру, яка не завжди здатна ефективно реагувати на ці зміни.

Для вирішення цих проблем необхідно впроваджувати сучасні технології, такі як ІТС, які дозволяють динамічно регулювати транспортні потоки в залежності від реальної ситуації на дорогах. ІТС включають використання адаптивних світлофорів, систем моніторингу та прогнозування заторів, а також платформ для оптимізації маршрутів у реальному часі. Такі рішення не лише допомагають зменшити затори, але й сприяють зниженню викидів шкідливих речовин за рахунок скорочення часу простою транспорту [8].

Крім того, інтеграція транспортних систем з екологічним моніторингом та прогнозними моделями дозволяє враховувати вплив дорожнього руху на стан повітря та приймати відповідні заходи для його покращення. У поєднанні з розвитком громадського транспорту та стимулюванням використання екологічно чистих альтернатив, таких як електромобілі або велосипеди, це сприяє створенню більш сталого та комфортного міського середовища.

Інтелектуальні транспортні системи, засновані на даних про рівень забруднення атмосферного повітря, мають потенціал для ефективного перерозподілу транспортних потоків з метою зменшення екологічного навантаження. Завдяки інтеграції даних з екологічних моніторингових станцій та систем управління дорожнім рухом, такі ІТС можуть оперативно виявляти ділянки з підвищеним рівнем забруднення та спрямовувати транспортні потоки в альтернативні зони.

Наприклад, якщо на певній ділянці дороги спостерігається перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) шкідливих речовин у повітрі, система може автоматично змінити налаштування світлофорів, обмежити рух вантажного транспорту або запропонувати альтернативні маршрути для автомобілістів. Такі рішення допоможуть не лише зменшити концентрацію шкідливих речовин у повітрі, але й уникнути перевантаження окремих ділянок транспортної мережі.

Крім того, використання ІТС у поєднанні з прогнозними моделями дозволяє передбачати зони можливого забруднення залежно від інтенсивності руху, погодних умов та особливостей міської забудови. Це дає змогу вчасно реагувати на потенційні проблеми та розробляти стратегії управління потоками ще до того, як ситуація стане критичною.

Такі інноваційні підходи сприяють створенню більш екологічно сталих міських середовищ, забезпечуючи баланс між потребами транспортної системи та збереженням якості повітря для здоров'я мешканців.

Застосування прогнозних моделей є важливим інструментом для підвищення ефективності організації систем моніторингу забруднення повітря та впровадження таких рішень, як система «зелена хвиля», особливо у промислових містах, таких як Кривий Ріг.

Прогнозні моделі дозволяють аналізувати дані про інтенсивність транспортних потоків, погодні умови, рівень забруднення повітря та інші фактори, щоб передбачати можливе перевищення концентрацій шкідливих речовин на певних ділянках дороги. Це особливо актуально для міст із високим промисловим навантаженням, де автомобільний транспорт та промислові підприємства створюють значне екологічне навантаження.

Інтеграція таких моделей із системою «зелена хвиля» – адаптивним регулюванням світлофорів для забезпечення безперервного руху транспорту, дозволяє значно зменшити час простою на світлофорах, а отже, знизити викиди шкідливих речовин від автотранспорту. Для Кривого Рогу це може стати ефективним рішенням, враховуючи значну кількість транспортних потоків та їхній вплив на атмосферне повітря у поєднанні з викидами від промислових підприємств.

Крім того, прогнозні моделі дозволяють оптимізувати маршрути громадського та вантажного транспорту, перенаправляючи їх у зони з меншим рівнем забруднення. Це забезпечить зниження екологічного навантаження в найбільш проблемних районах міста.

Завдяки прогнозним моделям і сучасним транспортним системам можна не лише зменшити рівень забруднення, але й підвищити загальну ефективність міської транспортної інфраструктури.

За допомогою прогнозних моделей можна ефективно прогнозувати добові та сезонні зміни рівня забруднення атмосферного повітря викидами автотранспорту, використовуючи дані про переміщення транспортних засобів у межах міста.

Ці моделі дозволяють аналізувати транспортні потоки в різні години доби, враховуючи пікові навантаження, такі як ранкові та вечірні години, а також зміни активності в різні пори року. Наприклад, у зимовий період може спостерігатися підвищення викидів у зв'язку з прогрівом двигунів автотранспорту, а у літній сезон зростає кількість автомобілів у зонах відпочинку чи туристичних місцях.

На основі таких даних система може прогнозувати рівень концентрації шкідливих речовин, таких як оксиди азоту (NOx), оксиду вуглецю (CO) і дрібнодисперсних часток (PM), у різних районах міста в залежності від добового часу та сезонного навантаження.

У містах із високою транспортною інтенсивністю, таких як Кривий Ріг, використання таких моделей дозволяє виявляти найбільш критичні часові періоди та місця підвищеного забруднення. Це дає можливість вчасно впроваджувати регулюючі заходи, наприклад, перенаправлення транспортних потоків, адаптацію світлофорів, обмеження руху важкого транспорту або стимулювання використання громадського транспорту в певні години.

Прогнозування добових і сезонних змін також допомагає краще інтегрувати транспортну систему з екологічним моніторингом, надаючи міській адміністрації інструменти для прийняття рішень щодо зменшення екологічного навантаження. Зокрема, це може включати створення «зелених коридорів» або зон з обмеженим рухом у періоди високого забруднення.

За даними фактичних досліджень, проведених в межах основних автомагістралей міста Кривого Рогу, побудовано прогнозні моделі добової інтенсивності руху та потужності викидів по оксидам вуглецю (CO) та діоксиду азоту (NO₂) від різних типів транспорту та відображені на графіках рисунок 1.

В ході дослідження встановлено, що пікові інтервали інтенсивності руху припадають на ранкові години (8:00–11:00) та вечірні години (15:00–18:00). Ця інформація має ключове значення для планування заходів із зменшення негативного впливу автотранспорту на атмосферне повітря. У ці періоди, коли навантаження на дорожню мережу є максимальним, відбувається значне збільшення концентрацій забруднюючих речовин, таких як оксиди вуглецю

(CO) і діоксид азоту (NO₂), що може суттєво впливати на здоров'я населення, особливо в густонаселених районах поблизу транспортних магістралей.

Для підвищення точності прогнозування викидів доцільно використовувати дані, отримані з інтелектуальних транспортних систем, зокрема з камер відеоспостереження, датчиків руху, метеостанцій, постів екологічного моніторингу. Це дозволяє не лише відстежувати поточну ситуацію, а й ідентифікувати найбільш забруднені ділянки. Крім того, ефективним інструментом для аналізу та прогнозування розподілу забруднюючих речовин у атмосферному повітрі є математичні моделі дисперсії, такі як CALINE4, AERMOD, ADMS-Urban та ОНД-86. Їх використання дозволяє не лише оцінювати рівень забруднення, а й оптимізувати транспортні потоки в рамках інтелектуальних транспортних систем. Аналіз отриманих даних дає змогу регулювати рух у режимі реального часу, перенаправляючи транспортні потоки для зниження концентрації забруднюючих речовин у критичних зонах, що сприяє покращенню екологічної ситуації в місті.

Інтеграція отриманих даних з (ІТС) дозволяє автоматизувати процеси моніторингу, аналізу та управління транспортними потоками в реальному часі. Розуміння цих часових закономірностей дозволяє розробляти цілеспрямовані заходи для оптимізації руху транспорту, наприклад, шляхом впровадження адаптивного керування світлофорами, перенаправлення потоків у менш завантажені райони чи запровадження обмежень для вантажного транспорту в години пік. Крім того, ці дані є базою

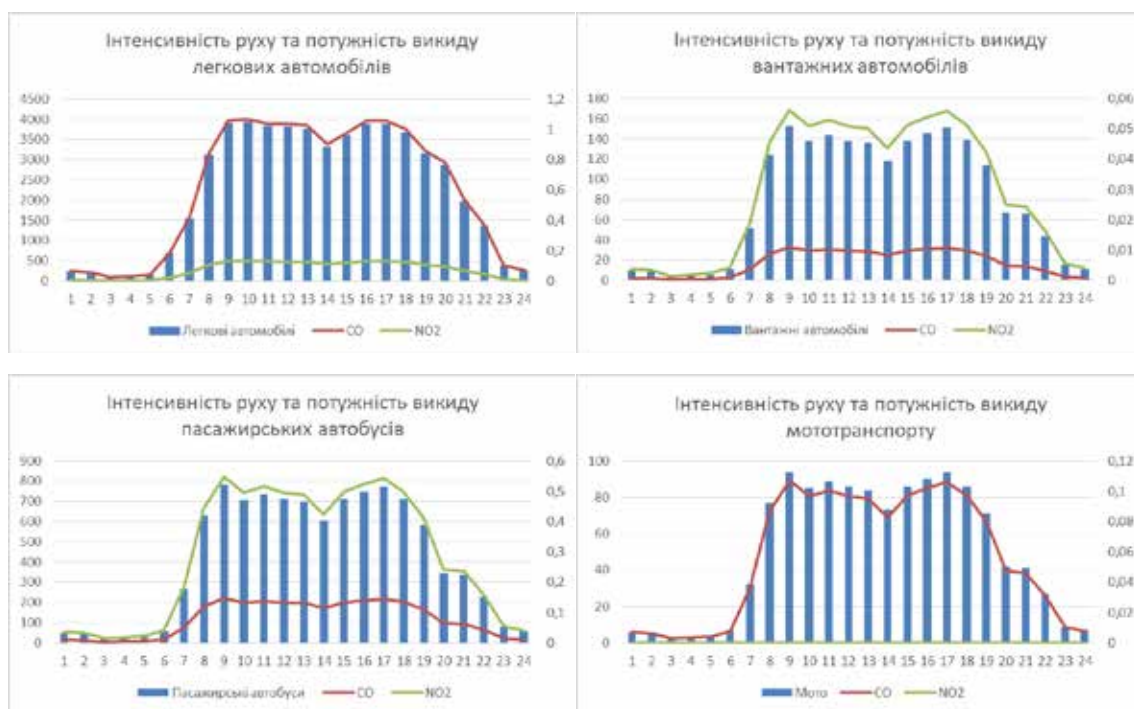


Рис. 1. Графіки добової інтенсивності руху та потужності викидів

для прогнозування і моделювання сценаріїв зниження викидів, що дозволяє мінімізувати екологічне навантаження у найбільш критичні періоди. Таким чином, врахування пікових інтервалів інтенсивності руху є важливим інструментом для підвищення ефективності заходів із покращення якості атмосферного повітря в місті.

Таким чином, прогнозні моделі є ключовим компонентом у розробці комплексного підходу до управління транспортними потоками та збереження якості повітря, особливо у містах із складною екологічною ситуацією, враховуючи як добові, так і сезонні аспекти транспортної активності.

Інтелектуальні транспортні системи здатні розпізнавати тип транспортних засобів, їхню модель, марку, рік випуску, тип палива та відповідність екологічним стандартам, таким як Євро-4, Євро-5, Євро-6 чи навіть перспективний стандарт Євро-7 [9]. Така деталізація даних дозволяє проводити більш точні прогнози щодо рівня забруднення та оцінювати вплив автотранспорту в межах автодоріг.

Завдяки інтеграції даних про екологічні стандарти, ІТС можуть враховувати відмінності у викидах для різних транспортних засобів залежно від їхнього класу. Наприклад, автомобілі, що відповідають стандарту Євро-6, мають значно нижчі рівні викидів оксидів азоту (NOx) та дрібнодисперсних часток (PM) у порівнянні з транспортом, який відповідає лише стандарту Євро-3 або Євро-4. Це особливо важливо для міст із високою транспортною інтенсивністю, таких як Кривий Ріг, де транспорт є суттєвим джерелом забруднення повітря.

ІТС також дозволяють визначати зони з підвищеним рівнем забруднення, де можна обмежити рух транспорту, що не відповідає сучасним екологічним стандартам. Наприклад, у зонах з найбільшим трафіком або поблизу житлових масивів можна вводити спеціальні режими руху для автомобілів із низькими екологічними класами, стимулюючи перехід до використання електромобілів або транспортних засобів із меншими викидами.

Додатково, розпізнавання екологічних стандартів допомагає створювати прогностичні моделі, які враховують зміну складу автопарку міста з часом, а також вплив нових технологій і екологічних регуляцій на якість повітря. Це стає основою для планування довгострокових стратегій щодо поліпшення екологічного стану міста, враховуючи як місцеві, так і глобальні тенденції.

Таким чином, інтеграція можливостей розпізнавання типу транспорту, екологічних стандартів і технічних характеристик в ІТС є важливим етапом у створенні комплексного підходу до управління транспортними потоками та зменшення їхнього впливу на навколишнє середовище.

На основі даних про рівні забруднення, отриманих за допомогою ІТС, можна здійснювати довгострокове планування та розробляти ефективні заходи

для поліпшення стану навколишнього середовища та розвитку міської інфраструктури.

Такі дані дозволяють проводити детальний аналіз просторового та часового розподілу забруднень, визначати найбільш критичні зони та періоди, коли рівень шкідливих речовин у повітрі перевищує нормативні значення. Це є основою для прийняття обґрунтованих рішень щодо впровадження локальних або загальноміських екологічних ініціатив.

Зокрема, на основі отриманих даних можна:

- Розробляти заходи для зменшення викидів у критичних зонах, наприклад, впроваджувати обмеження для руху транспорту, що не відповідає сучасним екологічним стандартам, або створювати «зелені зони» з обмеженням доступу для приватних автомобілів;

- Оптимізувати транспортну інфраструктуру шляхом перенаправлення транспортних потоків, модернізації дорожньої мережі або впровадження адаптивних світлофорів для зниження заторів;

- Планувати розвиток громадського транспорту, надаючи пріоритет екологічно чистим рішенням, таким як електробуси або велодоріжки, що сприяє зменшенню кількості приватних автомобілів на дорогах;

- Розробляти довгострокові стратегії з озеленення міста, оскільки збільшення кількості зелених насаджень може сприяти зниженню рівня забруднення та покращенню мікроклімату в густонаселених районах.

Для промислових міст, таких як Кривий Ріг, інтеграція даних про забруднення в процес довгострокового планування дозволяє не лише зменшити вплив автотранспорту на навколишнє середовище, але й створити умови для підвищення якості життя населення. Завдяки такому підходу місто може рухатися до сталого розвитку, забезпечуючи баланс між економічним зростанням, екологічною безпекою та соціальними потребами.

Висновки. Для забезпечення сталого розвитку міської інфраструктури та підвищення якості повітря у промислових містах, таких як Кривий Ріг, необхідна інтеграція інтелектуальних транспортних систем (ІТС) із системами екологічного моніторингу. Проведені дослідження та прогнозовані моделі підтвердили, що пікові періоди інтенсивності руху припадають на ранкові години (8:00–11:00) та вечірні години (15:00–18:00), що супроводжується підвищенням концентрацій забруднюючих речовин, таких як оксид вуглецю (CO) і діоксид азоту (NO₂).

Запропонована система інтегрує ІТС із прогнозними моделями та екологічними даними, що забезпечує як оперативне реагування на екологічні виклики, так і довгострокове планування. Це дозволяє адаптивно керувати світлофорами за принципом «зеленої хвилі» для оптимізації транспортних потоків і перенаправляти рух у менш завантажені зони.

Крім того, система прогнозує критичні зони забруднення, що дає змогу своєчасно впроваджувати регулюючі заходи.

ІТС із функцією аналізу типу транспорту, його екологічних характеристик і відповідності стандартам, таким як Євро-6, дозволяють проводити точніший моніторинг впливу транспорту на довкілля. Це дає можливість знизити кількість шкідливих викидів, особливо у зонах із високою транспортною завантаженістю, та забезпечити

оптимальне використання міської дорожньої інфраструктури.

Впровадження такої системи сприятиме комплексному підходу до управління транспортною мережею міста, забезпечуючи баланс між економічною ефективністю, екологічною безпекою та покращенням якості життя мешканців.

Конфлікт інтересів Під час проведення дослідження щодо змісту статті конфлікту інтересів сторін не спостерігалось.

Література

1. Катерна О. К. Формування концепції інтелектуального управління на транспорті. Електронне наукове фахове видання з економічних наук «Modern Economics». 2018. № 9. С. 30–42. URL: [https://doi.org/10.31521/modecon.V9\(2018\)-04](https://doi.org/10.31521/modecon.V9(2018)-04).
2. Soltus A., Rud M. Prospects for the application of the global high-speed, low latency broadband satellite internet in the field of road transport. Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences. 2021. No. 4(35). P. 254–264. URL: [https://doi.org/10.32515/2664-262x.2021.4\(35\).254-264](https://doi.org/10.32515/2664-262x.2021.4(35).254-264).
3. Sankar P., Joel M. R., Husain A. J. Design and Implementation of Intelligent Traffic-Management System for Smart Cities using Roaming Agent and Deep Neural Network (RAD2N). International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication. 2023. Vol. 11, no. 10s. P. 81–88. URL: <https://doi.org/10.17762/ijritcc.v11i10s.7598>.
4. Черевніченко О., Валацкене А. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ ЯК ІНСТРУМЕНТИ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ (НА ПРИКЛАДІ М. КИЄВА). Містобудування та територіальне планування. 2022. № 80. С. 416–450. URL: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2022.80.416-450>.
5. Zamri M. A., Hamzah N. The Implementation of Intelligent Traffic Management System in Solving Traffic Congestion: A Survey of Federal Route 3214. Journal of Physics: Conference Series. 2022. Vol. 2319, no. 1. P. 012032. URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2319/1/012032>.
6. Tomaszewska E. J. Barriers related to the implementation of intelligent transport systems in cities – the Polish local government's perspective. Engineering Management in Production and Services. 2021. Vol. 13, no. 4. P. 131–147. URL: <https://doi.org/10.2478/emj-2021-0036>.
7. Stepanchuk O., Reizen E., Bieliatynskyi A. Моделювання транспортних потоків на вулично-дорожній мережі міст. Proceedings of National Aviation University. 2014. С. 10–29.
8. Самчук Г. О., Копитков Д. М. Методичні рекомендації до організації самостійної роботи та проведення практичних занять із навчальної дисципліни «Інтелектуальні транспортні системи» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної і заочної форм навчання спеціальності 275”, Транспортні технології (за видами)). Харків : Харк. нац. акад. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекет, 2023.
9. Широкун К. Від «Євро-0» до «Євро-6»: Які стандарти викидів авто діють в Україні. URL: <https://www.rbc.ua/rus/news/vid-evro-0-evro-6-ki-standarti-vikidiv-avto-1715631306.html>.

АКТУАЛЬНІ АСПЕКТИ РОЗРОБКИ ТА ВИКОРИСТАННЯ БІОПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ОДНОРАЗОВОГО ПАКОВАННЯ

Самойленко Н.М., Гадаєва Ю.С.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

вул. Кирпичова, 2, 61002, м. Харків

nataliia.samoilenko@khpi.edu.ua, yuliia.hadaieva@mit.khpi.edu.ua

У статті представлено огляд сучасного стану та тенденції виробництва і використання біополімерів для одноразового пакування. Проведено порівняння з традиційними пластиками та зроблено акцент на екологічних перевагах і механізмах біодеградації пластиків, здатних до біологічного розкладання. Визначено недоліки біополімерів, які перешкоджають їх поширенню використанню та заміні пластмас на основі викопної сировини, серед яких відзначаються нижчі експлуатаційні властивості, вища вартість, нерозвиненість інфраструктури збору, сортування та компостування. Проаналізовано основні типи біополімерів для одноразового пакування. Визначено, що у теперішній час серед біополімерів, які розкладаються, найбільші обсяги виробництва припадають на полілактид (37,1%), що майже у 7–8 разів перевищує цей показник для інших досить популярних біорозкладних матеріалів і робить його найперспективнішим матеріалом у пакуванні.

Особливу увагу приділено композитним сумішам на основі полілактиду, крохмалю та целюлози, які володіють синергетичним ефектом компонентів, високою біорозкладністю та механічною міцністю. Розглянуто перспективні напрямки досліджень щодо створення нових складів біополімерів з використанням сільськогосподарських відходів, зокрема, коноплі, бавовни, льону, очерету, соломи зернових, які поліпшують властивості матеріалів та мають сприяти зменшенню їх вартості.

Проаналізовано актуальні дослідження у напрямку модифікації біопластиків із застосуванням нанотехнологій та введенням наночасток оксиду цинку, срібла, діоксиду титану, міді і інших сполук, що дозволяють покращити механічні характеристики, термічну стабільність, регульовану біорозкладність біополімерам та надати матеріалам антимікробних властивостей.

В статті наголошується на необхідності інформування споживачів стосовно правильного сортування біорозкладних пакувальних матеріалів одноразового використання та відзначається необхідність удосконалення управління відходами біорозкладного пакування щодо створення інфраструктури збору, сортування та компостування таких відходів. *Ключові слова:* біополімери, одноразове пакування, біодеградація, полілактид, композити, наноматеріали, сільськогосподарські відходи, управління відходами, екологічна безпека.

Current aspects of the development and use of biopolymer materials for disposable packaging. Samoilenko N., Hadaieva Yu.

The article provides an overview of the current state and trends in the production and use of biopolymers for disposable packaging. A comparison with traditional plastics is conducted, emphasizing the environmental benefits and biodegradation mechanisms of biodegradable plastics. The disadvantages of biopolymers that hinder their widespread use and replacement of fossil-based plastics are identified, including lower performance properties, higher cost, and underdeveloped collection, sorting, and composting infrastructure. The main types of biopolymers for disposable packaging are analyzed.

It has been determined that, at present, among biodegradable biopolymers, polylactic acid (PLA) accounts for the largest share of production (37.1%), which is 7–8 times higher than other widely used biodegradable materials, making it the most promising material for packaging.

Particular attention is given to composite blends based on polylactic acid, starch, and cellulose, which exhibit a synergistic effect of components, high biodegradability, and mechanical strength. Promising research directions for developing new biopolymer compositions using agricultural waste—such as hemp, cotton, flax, reed, and cereal straw—are examined, as these materials improve properties and may help reduce costs.

Recent studies on modifying bioplastics using nanotechnology are analyzed, including the incorporation of nanoparticles of zinc oxide, silver, titanium dioxide, copper, and other compounds. These modifications enhance the mechanical properties, thermal stability, and controlled biodegradability of biopolymers while also providing antimicrobial properties.

The article highlights the importance of informing consumers about the correct sorting of biodegradable disposable packaging materials and emphasizes the need to improve biodegradable packaging waste management by developing a collection, sorting, and composting infrastructure. *Key words:* biopolymers, disposable packaging, biodegradation, polylactic acid, composites, nanomaterials, agricultural waste, waste management, environmental safety.

Постановка проблеми. На виробництво та переробку пластику припадає близько 3% світових викидів парникових газів. Зменшення вуглецевого сліду та накопичення відходів шляхом переробки не є ефективним, бо менше ніж 10% від сотень млн т щорічно виготовленого пластику переробляється у новий продукт.

Згідно зі звітом Програми ООН з навколишнього середовища, забруднення пластиком може скоротитися на 80% до 2040 року, якщо країни і компанії здійнять глибокі політичні та ринкові зміни, використовуючи існуючі технології [1]. На цьому шляху нові наукові розробки можуть мати практичну цінність, спонукаючи до розробки

нових екологічних технологій виготовлення пластичних матеріалів.

У даному зв'язку біополімерні матеріали стають ефективною заміною традиційного пластику, значну частину якого складає одноразове упакування. Порівняно з викопними пластмасами, біопластик може мати менший вуглецевий слід і демонструє вигідні властивості матеріалів, передбачаючи абсолютно нові функції, такі як здатність до компостування та в деяких випадках оптимізовані бар'єрні властивості [2].

Зважаючи на зазначене, розробка та впровадження біополімерів для одноразового пакування є важливим науково-практичним завданням для зменшення екологічного навантаження на довкілля та розвитку циркулярної економіки.

Розробці і використанню біопластику у одноразовому пакуванні присвячено багато досліджень, які розглядають питання складу біополімерів [3] використання на ринку [4], деградабельності [5]. Водночас ці питання вимагають більшої уваги та оцінки з точки зору їх практичного застосування в Україні, стан пакувальної індустрії якої погіршився під час війни і вимагає аналітичного підходу до її розвитку. Тому розгляд останніх досліджень у галузі пакувальних матеріалів, здатних до біорозкладу, може стати корисним при формуванні тенденцій розвитку пакувальної сфери в країні та запровадження в ній екоінновацій.

Актуальність дослідження. Пакування використовується для різних потреб та має багато функцій. Незважаючи на сучасні тенденції і зусилля щодо зменшення застосування пластикового пакування (перехід на пакування іншими матеріалами, обмеження щодо ваги товару, який упаковується, та ін.), його обсяги та, відповідно, утворені відходи залишаються надзвичайно великими. Попит на пластмаси постійно зберігається, а пакувальний сектор за даними 2021 року займає найбільшу частину ринку (44%), за ним, для порівняння, зі значно меншими показниками відзначається будівництво (18%), автомобільна промисловість (8%) та інші сфери [6].

Особливу проблему створює одноразове пакування, що загалом складає найбільшу частку пакувальних матеріалів, а також відходів пластмас, що формують тверді побутові відходи. Як зазначається [3], кожного року світова промисловість виробляє більше 300 млн т пластмаси та біля 50% цього обсягу викидається після одного використання.

Динаміка та прогнози світового виробництва біорозкладного пакування визначають, що його виробництво досягне 22 млн т до 2030 року навіть на тлі посилення екологічного регулювання [4], а у 2029 році складе приблизно 5,73 млн т [7]. У цьому зв'язку на сьогодні відзначається збільшення кількості досліджень та розробок щодо біорозкладних полімерів, а їх виробництво характеризується перспективністю.

Зважаючи на це, та на поширення користування наявними даними і науковими результатами щодо даної сфери, доцільним є аналіз найбільш розповсюджених у виробництві і використанні біополімерів, а також виявлення напрямків перспективних наукових досліджень щодо розробки та управління відходами біополімерів одноразового пакування.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними. Авторський доробок зосереджений на аналізі найбільш поширених на сьогодні у виробництві та на ринку одноразових біорозкладних пакувальних матеріалів, а також визначенні актуальних тенденцій у розробці та перспективному застосуванні біополімерів для одноразового пакування, здатних до розкладання. Особлива увага приділяється вирішенню нагальних екологічних проблем, пов'язаних із накопиченням та рециклінгом пластикових відходів пакувальної продукції. Дослідження має значну теоретичну та практичну цінність для України, оскільки сприяє обґрунтуванню можливостей розробки та впровадження інноваційних екотехнологій у сфері пакувальної індустрії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останні дослідження підкреслюють потенціал біорозкладних матеріалів, таких як полілактид (PLA), крохмаль та целюлоза, для заміни традиційних пластиків, що зменшує вуглецевий слід і забруднення довкілля. Дослідження [2, 3] підтверджують, що ці матеріали є перспективними для сталого розвитку. Українські науковці [4] наголошують на розвитку вітчизняного ринку біопластиків, відповідного європейським екологічним стандартам.

Використання сільськогосподарських відходів для виробництва PLA [8, 9] та вдосконалення його властивостей за рахунок натуральних волокон робить ці матеріали перспективними для екологічного пакування. Композити на основі PLA, крохмалю та целюлози [5, 10] поєднують високу біорозкладність із механічною міцністю, що підкреслюється також у роботах [2, 3]. Зазначається, що нанотехнології [11] відкривають нові можливості для покращення бар'єрних, антимікробних та механічних властивостей біополімерів. Водночас у наукових публікаціях відсутній широкий аналіз поточного стану наукових досліджень щодо найбільш затребуваних біорозкладних матеріалів одноразового використання та обмежено розглядається перспективність їх наукових розробок на поточний період.

Таким чином, розробка біополімерів для пакування є ключовим напрямком, який поєднує інноваційні технології та екологічний підхід для зменшення впливу на навколишнє середовище.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. У статті проаналізовано актуальні проблеми використання біополімерів одноразового пакування, зокрема, щодо недостатньої експлуатаційної ефек-

тивності існуючих біополімерів і її підвищення, а також забруднення довкілля відходами та обмеженого розуміння механізмів їх біодеградації. Зроблено певний внесок у вирішення проблеми стосовно відсутності стратегій масштабного впровадження біопластиків у паковальну індустрію, а також недостатньої уваги до використання відновлюваної сировини, такої як сільськогосподарські відходи. Ці аспекти можуть стати одними з ключових для подальшого розвитку екологічно безпечних пластикових паковальних матеріалів.

Новизна. Дослідження полягає у вивченні сучасних біополімерів для одноразового пакування, зокрема, найбільш використовуваних композитів на основі PLA, крохмалю та целюлози, з акцентом на їх екологічні переваги, механізми біодеградації та вплив на довкілля. Вперше систематизовано та розширено проаналізовано дані щодо тенденцій у виробництві та споживанні біорозкладних пакувальних матеріалів одноразового використання та наукові дослідження стосовно покращання властивостей даних матеріалів, у тому числі з застосуванням нанотехнологій, а також перспектив використання сільськогосподарських відходів для виробництва біополімерів у контексті українських реалій.

Методологічне загальнонаукове значення дослідження полягає у застосування наукового підходу до оцінки біополімерів для одноразового пакування з точки зору їх актуального практичного використання у поєднанні з результатами наукових досліджень щодо підвищення їх властивостей, а також перспективних напрямків наукових досліджень з метою їх широкого впровадження.

Результати дослідження створюють основу для розробки ефективних рішень у сфері екологічно безпечного пакування, що сприяє зменшенню впливу на довкілля та підтримці переходу до сталого виробництва. Це відкриває нові можливості для впровадження інноваційних біорозкладних матеріалів для одноразового пакування, які відповідають сучасним екологічним вимогам та сприяють розвитку циркулярної економіки.

Викладення основного матеріалу. Біопластики – це полімери, отримані з природних або поновлюваних джерел, які поділяють на матеріали на біоснові, біорозкладні або ж розглядають їх як ті та інші. Перші повністю або частково отримані з відновлювальної сировини; «біорозкладні» ж природним способом розкладаються на CO_2 та H_2O у ґрунті чи воді під дією мікроорганізмів [3].

Полімери, здатні до біорозкладання, поділяються на біодеградовані, що розкладаються природним шляхом, та ті, що компостуються в особливих умовах.

Виділяються такі основні групи матеріалів:

- пластмаси на біологічній основі або частково на біологічній основі, які не піддаються біологічному розкладанню, такі як PE, PP або PET і технічні полімери на біологічній основі, такі як PTT або TPC-ET;

- пластмаси на біологічній основі та здатні до біологічного розкладання, такі як PLA, PHA або PBS;

- пластмаси, виготовлені на основі викопних ресурсів і піддаються біологічному розкладанню, наприклад PBAT [7].

Біопластик, представлений на ринку, поділяється на три основні групи [3]:

1) біопластик, що має біологічне походження та потенціал до біологічного розкладання (наприклад, крохмаль, целюлоза, білок, лігнін та хітозан);

2) біопластик, що виготовляється з біологічних та відновлюваних ресурсів, але не піддається біологічному розкладанню (наприклад, біо-ПВХ, біо-ПЕ, біо-ПП та біо-ПС);

3) біопластик, який розкладається на біологічно розкладні викопні (небіологічні) ресурси, такі як полібутиленсукцинат (PBS), полікапролактон (PCL) та полі (бутилен-адипат-ко-терефталат) (PBAT).

Серед біопластику, що розкладається, найбільший відсоток припадає на виробництво PLA (37,1%), значно менше – на SCPC (5,7%), PBAT (4,6%), PHA (4,1%) та PBS (1,3%) [7]. Найпоширенішими комерційними біопластиками на ринку є пластик на основі PLA та крохмалю.

Незважаючи на те, що властивості біополімерів в останній час значно покращилися, їх застосування як досконалого варіанту заміни традиційним полімерам є неоднозначним. Відзначаючи значні переваги даних біополімерів, слід визнати, що у порівнянні з пластиками на основі викопної сировини, такі матеріали у короткостроковий період ще не можуть стати альтернативою останнім. Основні переваги та недоліки біопластикового пакування представлені у таблиці 1.

Характеристика найбільш розповсюджених біопластиків одноразового застосування. PLA – один із найпоширеніших біополімерів у пакуванні, у тому числі харчовому, так як є безпечним при контакт з їжею. Він широко використовується для виробництва різної пакувальної продукції, має добрі експлуатаційні властивості, однак зважаючи на порівняно знижену термостійкість та газопроникність, обмежено застосовується для гарячих продуктів і газованих напоїв. Незважаючи на це, екологічність і здатність до біорозкладання робить PLA перспективним матеріалом для пакування [9]. Крім того, слід зазначити, що PLA краще піддається термічній обробці, ніж інші біопласти, і цей матеріал можна переробляти литтям під тиском, термоформуванням, екструзією плівки та видувним формуванням [3].

Сучасні тенденції у дослідженнях та виробництві біопластиків стосуються змішаних пластиків, здатних до розкладання з метою отримання матеріалів, що за своїми експлуатаційними характеристиками відповідають традиційним або ж перевищують їх та мають невисоку вартість. У цьому сенсі пер-

Таблиця 1

Переваги та недоліки біопластикового пакування

<i>Переваги</i>	<i>Недоліки</i>
Менший вуглецевий слід у порівнянні з традиційними пластиками	Нижчі експлуатаційні властивості, менший термін використання у порівнянні з пластиками на основі сировини викопного походження
Економія мінеральних ресурсів, залучення відходів у циркулярну економіку	Вища вартість у порівнянні з традиційними пластмасами
Зменшення відходів, розміщених на полігонах	Проблеми збирання, сортування відходів, не розвиненість чи практична відсутність об'єктів інфраструктури компостування
	При масштабному виробництві біополімерів можливе виникнення сільськогосподарських та інших проблем щодо забезпечення первинної сировини
	Можливий негативний потенційний вплив PLA та інших біорозкладних пластиків і потенційних побічних продуктів деградації на едафічні організми [12]

спективним матеріалом для одноразового пакування є композиційна суміш на основі полілактиду (PLA), крохмалю та целюлози, яка проявляє синергетичний ефект компонентів та має високу біорозкладність, механічну міцність та придатність для виробництва плівкових матеріалів. Крохмаль підвищує швидкість біодеградації [10], целюлозні волокна – механічні властивості [8], а PLA забезпечує необхідну пластичність та водостійкість [9, 13]. Властивості цих композитів суттєво залежать від співвідношення компонентів, методів обробки та додаткових модифікаторів, що використовуються різними виробниками. Експериментальні дослідження показують, що загальний вуглецевий слід біополімерів на основі PLA, крохмалю та целюлози є значно нижчим за аналогічні показники поліетилену (PE) та поліетилентерефталату (PET) [14, 15].

Для покращення гнучкості та ударної міцності PLA додаються синтетичні біополімери, такі як полі(бутилен-адипат-ко-терефталат) (PBAT) та полікапролактон (PCL). Наприклад, суміші PLA/PBAT демонструють покращену біорозкладність і механічні властивості, що робить їх придатними для виробництва плівок та пакетів [7].

Поліпшення фізичних характеристик та показників біорозкладання в композитах з полімолочної кислоти може бути здійснено шляхом введення лісових відходів, які виконують роль наповнювачів [16]. За результатами досліджень гідрофобність композитів PLA/біомаса суттєво підвищилася, а також зросли міцність на розрив композиту і його біорозкладність.

Іншими дослідженнями доведено, що використання відпрацьованої кавової гущі у поєднанні з гуміновими речовинами значно збільшує характеристики міцності композитів на основі полілактиду [17].

У пакувальній індустрії широко використовуються плівки на основі крохмалю. Крохмальні плівки відрізняються високою біорозкладністю, доступністю сировини, низькою вартістю, але часто

потребують модифікації для покращення механічних властивостей [5]. Додаючи у суміш пластифікатори (гліцерин, гліколь, сорбіт) отримують термопластичний крохмаль, який є найбільш розповсюдженим біопластиком. Але такий біопластик має високу чутливість до вологи і погані механічні та термічні властивості. Тому виробники біопластиків часто змішують термопластичний крохмаль з іншими біорозкладними поліестерами, такими як PBAT, полівініловий спирт (PVOH), PLA і PCL, щоб покращити його незадовільне водопоглинання і слабкі механічні характеристики [3].

Крім зазначених матеріалів у пакувальній сфері використовуються целюлозні плівки та целюфан (регенерована целюлоза). Целюлозні плівки, зокрема, целюфан, мають високу прозорість, гнучкість і бар'єрні властивості щодо газів, що робить їх ідеальними для пакування харчових продуктів [18].

Біодеградація біорозкладних матеріалів. Найважливішою характеристикою біопластику є процес біодеградації, ефективність якої залежить від типу біополімеру, його структури та умов довкілля, таких як вологість, температура, pH та наявність мікроорганізмів. Біотичні процеси (мікроорганізми) та абіотичні процеси (фотодеградація, хімічний гідроліз) сприяють розкладанню матеріалів [19]. Слід зазначити, що деградація PLA відбувається лише в умовах промислового компостування, де температури є набагато вищими, ніж для ті, що зазвичай розкладаються в морському середовищі та прісноводних системах (біля 20 °C).

Біополімерні композити на основі сумішей PLA, крохмалю та целюлози поєднують функціональні властивості синтетичних пластиків із здатністю до повної біодеградації в природних умовах. Під дією ґрунтових мікроорганізмів такі матеріали розкладаються до діоксиду вуглецю, води, метану та інших низькомолекулярних сполук [5].

Дослідження біодеградації полілактиду та його сумішей з крохмалем становить інтерес з точки зору

їх широкого запровадження у сферу виробництва та споживання. Суміші крохмалю/PLA демонструють високу здатність до біорозкладання, з мінералізацією понад 60%, що підтверджує їхню екологічну безпеку [20]. Компостування сумішей крохмалю/PLA протягом 30 днів призводить до повного розкладання без залишкових слідів [18].

Целюлозні плівки показують високу здатність до біодеградації [21, 22]. Целюлозна плівка повністю розкладається в ґрунті за 4 тижні, на відміну від поліетилену, який не розкладається [22]. З урахуванням цього додавання целюлози у суміш PLA/крохмаль та утворення потрібної суміші підвищує ефективність біорозкладання. Крохмаль легко розкладається мікроорганізмами, що робить його корисним наповнювачем особливо в ґрунтових умовах; целюлоза також сприяє розкладанню завдяки ферментам, які виробляють мікроорганізми. Даний ефект спостерігається і в умовах компостування.

У загальному випадку деградація PLA проходить через гідроліз складних ефірних зв'язків під дією ферментів (ліпаза, естераза, протеаза) та мікроорганізмів. У ґрунті PLA гідролізується до CO_2 та води. Експериментальні дослідження виявили, що PLA може повністю розкладатися за 3 тижні в компості [23]. Додавання хітозану прискорює біодеградацію, що підтверджується утворенням тріщин на поверхні полімеру [24, 25]. Тести на екоотоксичність показують, що компост безпечний для рослин [26].

Перспективні напрямки у наукових дослідженнях біополімерів. Аналіз даних щодо виробництва біополімерів показує, що виробники віддають перевагу виготовленню біорозкладного пакування з використанням біопластику PLA та його композицій з крохмалем і целюлозою. Водночас проведені дослідження щодо застосування інших речовин показують доцільність стратегії розробки біопластиків, отриманих із біорозкладаних матеріалів та доповнених рослинною біомасою від сільськогосподарської діяльності. Використання сільськогосподарських відходів для виробництва молочної кислоти забезпечує стійку та економічно ефективну сировину, а також допомагає зменшити викиди парникових газів, зменшуючи відходи на звалищах та залежність від викопного палива [12]. Щоб задовольнити вимогам масового виробництва, відпрацьована фітотомаса повинна бути достатньою, легкодоступною та недорогою.

Натуральне волокно, одне з основних відходів, що викидаються з рослин після культивування, є перспективним джерелом армування композитів на основі PLA. Сільськогосподарські відходи таких рослин як кокос, банан, коноплі, бавовна, льон, олійна пальма, очерет, солома зернових та ін. використовувалися як біоволокна з різними полімерними матричними композитами. Ці натуральні волокна демонструють низьку щільність і кращі механічні властивості, що робить їх ефективними

для армування PLA та збільшення застосування полімерних композитів [8]. В інших дослідженнях пропонується використовувати дрібно подрібнену шкаралупу горіхів як недорогий наповнювач з антиоксидантною активністю для мульчі на основі PLA [12], а також лігноцелюлозні нановолокна, отримані з пшеничної соломи, для композиту PLA та PBAT [27].

Останні досягнення у одноразовому біопластичному пакуванні, що знаходять практичне використання, передбачають введення спеціальних добавок (антибактеріальних, протигрибкових та антиоксидантних агентів), які надають матеріалу додаткові переваги та унікальні властивості. Так, інтеграція антибактеріальних добавок у біопластик дає змогу створювати активне харчове пакування, яке продовжує термін зберігання продуктів харчування, пригнічуючи бактерії та мікроорганізми, що спричиняють псування [9].

Перспективним напрямком є створення біорозкладних пакувальних матеріалів з використанням нанотехнологій. Нанокompозити на основі полі молочної кислоти та наноцелюлози мають покращені бар'єрні властивості порівняно з традиційними біополімерами [4]. Як зазначається у дослідженнях [11], біопластик, підсилений наноматеріалами, є перспективним у різних сферах, включаючи пакування харчових продуктів та біомедичне застосування.

Інноваційні дослідження останнього часу показують, що введення наночастинок, таких як оксид цинку (ZnO), наночастинок срібла (AgNPs), діоксид титану (TiO_2), наночастинок міді (CuNPs), відновлений оксид графену (RGO) та наноглини в біопластик, дозволило отримати матеріали з покращеними показниками міцності на розрив, модулем Юнга, термічною стабільністю та зниженою проникністю для водяної пари. Інтеграція наноматеріалів у біопластик покращила фізико-механічні властивості та надала їм підвищену антимікробну ефективність, фотозахист від ультрафіолетового випромінювання та регульовану біорозкладність. У даних біополімерах наночастинок ZnO і TiO_2 значно збільшили механічну міцність і бар'єрні властивості, а RGO і CuNPs продемонстрували потужну антимікробну активність [11].

Крім експериментальних розробок, у останніх публікаціях приділяється увага питанням непоінформованості споживача щодо напрямку використання відходів одноразового біорозкладного пакування. Таке пакування не підлягає рециклінгу разом із загальним потоком відходів пластмас, а також не може бути компостованим з органічними відходами, про що слід повідомляти користувача.

Головні висновки. На сьогодні зменшити негативні впливи, що здійснюються пластмасами на довкілля, неможливо тільки за рахунок збільшення виробництва та використання біопластику.

По-перше, обсяги традиційного пластику, необхідного для різного роду потреб надзвичайно великі. За даними [28], наразі понад 99% пластикового пакування виготовляються з використанням полімерів на нафтовій основі. Практично здійснити їх заміну біопластиком у короткостроковий період не представляється ймовірним, зважаючи на стан забезпеченості технологіями, відповідною сировиною, а також проблемами щодо збирання використаної упаковки, сортування та організованого компостування. По-друге, експлуатаційні характеристики біопластику не завжди є задовільними, що обмежує його широке використання. По-третє, екологічні властивості даних матеріалів у багатьох випадках не кращі ніж у пластика на основі викопних копалин. Є і інші недоліки щодо виробництва та поширеного використання біопластику, включаючи проблеми деструкції. Зважаючи на це, необхідно проводити дослідження щодо створення нових і більш досконалих матеріалів такого виду та розробляти ефективні стратегії збільшення сфери використання екобезпечного біорозкладного пакування одноразового застосування.

Нижчий за бажаний рівень використання компостування біодеградабельних полімерів потребує розширення досліджень щодо процесів біорозкладу, у тому числі з акцентом на безпечність впливу продуктів деструкції на едафічні організми. Ключовим завданням є розробка нових способів компостування, а також забезпечення сучасних потреб у об'єктах промислового компостування.

Доцільним може стати розширення первинної сировинної бази складових біополімерів з сільськогосподарських відходів та відходів харчування, що не потребує використання відповідної сільськогосподарської продукції та знизить вартість біополімерного пакування.

Стратегічно перспективними є дослідження зі створення біорозкладних паковальних матеріалів з використанням нанотехнологій та наноматеріалів. Водночас, слід зазначити, що у літературних джерелах відсутня інформація стосовно досліджень впливу наночастинок на елементи довкілля та біоти.

Невирішеними питаннями, які потребують розв'язання, є незадовільна поінформованість споживачів щодо поведінки з одноразовим біорозкладним пакуванням. Також нагальною постає проблема удосконалення управління даними відходами, що передбачає їх збір, сортування, компостування.

Перспективи використання результатів дослідження. Систематизовані дані та аналіз наукових розробок, представлених у статті, можуть бути використані при розгляді тенденцій розвитку паковального сектора в Україні та поточного виробництва одноразових паковальних біополімерів, здатних до розкладання. Також отримані результати оцінки наукових досліджень можуть бути корисними при обґрунтуванні та виборі подальшої дослідницької роботи у сфері біорозкладного пакування та впровадження наукових інновацій для вирішення проблеми зменшення негативного впливу на довкілля пластмасового пакування.

Література

1. UNEP. Solutions to Cut Global Plastic Pollution. *UNEP*, 2023. URL: <https://www.unep.org/news-and-stories/press-release/un-roadmap-outlines-solutions-cut-global-plastic-pollution> (дата звернення: 18.03.2025).
2. Rosenboom J.-G., Langer R., Traverso G. Bioplastics for a circular economy. *Nature Reviews Materials*, 2022, vol. 7, no. 2, p. 117–137. URL: <https://doi.org/10.1038/s41578-021-00407-8>.
3. Ghasemlou M., Daver F., Ivanova E. P., Adhikari B. Bio-inspired sustainable and antimicrobial bioplastics for food packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 2024, vol. 34, art. 101279. DOI: 10.1016/j.fpsl.2024.101279.
4. Гавриленко О. В., Плішивий В. В. Біодеградація полімерних матеріалів: проблеми та перспективи. *Науковий вісник УжНУ. Серія: Біологія*, 2023, вип. 47, с. 125–136. DOI: 10.32782/2413-9971/2023-47-28.
5. Rudnik E. Biodegradable Polymers: Features and Fundamentals. *Encyclopedia*, 2023. DOI: 10.3390/encyclopedia3040117.
6. Abang Z., Shakeri A., Heidarian P., Saeb M. R. Biodegradable polymers for sustainable packaging applications. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 2023, vol. 8(4), pp. 92–109. DOI: 10.1016/j.jobab.2023.06.005.
7. European Bioplastics. Materials. URL: <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/materials/> (дата звернення: 18.03.2025).
8. Ramakrishnan K., Khandelwal M., Sharma R. K., Joshi G. Advances in bio-based plastics: Recent progress and future prospects. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2025, vol. 251. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2025.141353.
9. Auras R., Harte B., Selke S. An Overview of Polylactides as Packaging Materials. *John Wiley & Sons*, 2011, 688 p. DOI: 10.1002/9780470649848.
10. Ishigaki T., Sugano W., Nakanishi A., Tateda M., Ike M., Fujita M. The degradability of biodegradable plastics in aerobic and anaerobic waste landfill model reactors. *Chemosphere*, 2004, vol. 54(3), pp. 225–233. DOI: 10.1016/S0045-6535(03)00750-1.
11. Chandra R., Rustgi R. Biodegradable Polymers. *Cleaner and Circular Bioeconomy*, 2025, vol. 55, art. 100140. DOI: 10.1016/j.clcb.2025.100140.
12. Chandra Sekhar Paul M., Gupta K. Biodegradable polymers and their applications in soil conservation. *Plant Soil Environ.*, 2024, vol. 70(3), pp. 115–126. DOI: 10.17221/416/2024-PSE.
13. Jiménez A., Fabra M.J., Talens P., Chiralt A. Edible and biodegradable starch films: Effect of glycerol and natural additives on their properties. *Food and Bioprocess Technology*, 2012, vol. 5, pp. 2058–2071. DOI: 10.1007/s11947-012-0835-4.
14. Yates M. R., Barlow C. Y. Life cycle assessments of biodegradable, commercial biopolymers – A critical review. *Resources, Conservation and Recycling*, 2013, vol. 78, pp. 54–66. DOI: 10.1016/j.resconrec.2013.06.010.

15. Hottle T. A., Bilec M. M., Landis A. E. Biopolymer production and end-of-life comparisons using life cycle assessment. *Polymer Degradation and Stability*, 2013, vol. 98(9), pp. 1898–1907. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2013.06.016.
16. Choi J.-H., Ahn M. R., Yoon C.-H., Lim Y.-S., Kim J. R., Seong H., Jung C.-D., You S.-M., Kim J., Kim Y., Cha H. G., Lee J.-W., Kim H. Enhancing compatibility and biodegradability of polylactic acid/biomass composites through torrefaction of forest residue. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 2025, vol. 10(1), pp. 51–61. DOI: 10.1016/j.jobab.2024.10.003.
17. Лебедєв В.В., Мірошніченко Д.В., Тихомирова Т.С. та ін. Дослідження гібридних екологічно безпечних біодеградабельних композитів на основі полілактиду, кавової гущі та гумінових речовин. *Інтегровані технології та енергозбереження*, 2022, № 4. С. 46-54. DOI: <https://doi.org/http://doi.org/10.20998/2078-5364.2022.4.05>
18. Mohanty A. K., Misra M., Drzal L. T. Sustainable biocomposites from renewable resources: Opportunities and challenges in the green materials world. *Journal of Polymers and the Environment*, 2002, vol. 10, pp. 19–26. DOI: 10.1023/A:1021013921916.
19. Polman E. M. N., Gruter G.-J. M., Parsons J. R., Tietema A. Comparison of the aerobic biodegradation of biopolymers and the corresponding bioplastics: A review. *Science of the Total Environment*, 2021, vol. 753, art. 141953. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.141953.
20. Rudeekit Y., et al. Biodegradation of starch/PLA composites. *Journal of Polymers and the Environment*, 2012, vol. 20(1), pp. 123–129. URL: <http://eprints.utar.edu.my/574/1/CL-2012-0805039-1.pdf>.
21. Zhang L., Liu H., Zheng L., Zhang J., Du Y. Biodegradability of regenerated cellulose films in soil. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 1996, vol. 35(12), pp. 4687–4692. DOI: 10.1021/ie950624r.
22. Ai F., et al. Comparative study of biodegradation of polyethylene and cellulose films. *Waste Management*, 2019, vol. 85, pp. 1–9. URL: [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(23\)08582-1](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(23)08582-1).
23. Zaaba N. F., Jaafar M. A review on degradation mechanisms of polylactic acid: Hydrolytic, photodegradative, microbial, and enzymatic degradation. *Polymer Engineering & Science*, 2020, vol. 60(9), pp. 2061–2075. DOI: 10.1002/pen.25511.
24. Qi X., et al. Study on the biodegradability of modified starch/polylactic acid (PLA) composite materials. *RSC Advances*, 2020, vol. 10(9), pp. 5026–5036. URL: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2020/ra/d0ra00274g>.
25. Kalita N. K., Nagar M. K., Mudenur C., Kalamdhad A. Biodegradation of modified Poly(lactic acid)-based biocomposite films under thermophilic composting conditions. *Polymer Testing*, 2019, vol. 79, art. 106032. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2017.09.023.
26. Rodrigues C. A., Tofanello A., Nantes I. L., Rosa D. Biological oxidative mechanisms for degradation of poly(lactic acid) blended with thermoplastic starch. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2015, vol. 3(11), pp. 2756–2766. DOI: 10.1021/acssuschemeng.5b00639.
27. Bascón-Villegas I., Pereira M., Espinosa E., Sánchez-Gutiérrez M., Rodríguez A., Pérez-Rodríguez F. A new eco-friendly packaging system incorporating lignocellulose nanofibres from agri-food residues applied to fresh-cut lettuce. *Journal of Cleaner Production*, 2022, vol. 372, art. 133597. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.133597.
28. Kumar S., Dubey N., Choi I., Jeon J., Kim M. Combating micro/nanoplastic pollution with bioplastic: Sustainable food packaging, challenges, and future. *Environmental Pollution*, 2024, vol. 363(Part 1), art. 125077. DOI: 10.1016/j.envpol.2024.125077.

ПРАВОВІ ЗАСАДИ ЕКОЛОГІЧНОЇ ПОЛІТИКИ У СТРАТЕГІЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ МІСТ

Геков М.В., Сакун А.О.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

вул. Кирпичова, 2, 61002, м. Харків

Maksym.Hekov@mit.khpi.edu.ua, antonina.sakun@khpi.edu.ua

У статті розглянуто організаційно-правові основи сталого розвитку міст, включаючи комплексний науковий аналіз діяльності міжнародного співтовариства та його інституційних структур з питань сталого розвитку. Також проаналізовано іноземний досвід та узагальнено нормативно-правову базу України щодо сталого розвитку.

У роботі аналізуються теоретико-правові аспекти, пов'язані з осмисленням і реалізацією концепції сталого розвитку. В умовах нестабільності сучасного глобалізованого світу, який усе частіше зіштовхується з кризовими явищами, важливо досягти рівноваги між соціально-економічними та екологічними інтересами суспільства. Розглядається можливість досягнення цієї мети через застосування положень концепції сталого розвитку – однієї з сучасних моделей взаємодії суспільства і природи, методологічні основи якої дозволяють чітко визначити її сутність і зміст. Принципи та цілі цієї концепції, закріплені в міжнародних документах, мають ключове значення для вдосконалення українського законодавства у сфері сталого розвитку. Основне завдання її реалізації – розробка та юридичне закріплення індикаторів і критеріїв сталого розвитку.

Авторами підкреслено важливість інноваційних технологій та розвитку «зелених» інфраструктур для забезпечення сталого розвитку. Розуміння концепції сталого розвитку як методологічної основи організації суспільного розвитку нерозривно пов'язане з об'єктивними причинами її виникнення, серед яких визначальне значення мають глобальні та регіональні екологічні проблеми, а також нові загрози національній безпеці на міжнародному та національному рівнях у екологічній сфері. Правові засади екологічної політики є важливим інструментом для досягнення сталого розвитку українських міст, однак для їх ефективної реалізації необхідно забезпечити належне фінансування, координацію між органами влади різних рівнів та підвищення рівня екологічної обізнаності серед громадян.

Планування соціоекологічного розвитку урбанізованих територій міста є комплексним управлінським завданням, яке забезпечує системний підхід до вирішення багатьох проблем муніципального менеджменту. *Ключові слова:* сталий розвиток, екологічна безпека, екологічна політика, соціально-економічний розвиток.

Legal principles of environmental policy in the strategy for sustainable urban development. Hekov M., Sakun A.

The article examines the organizational and legal foundations of sustainable urban development, including a comprehensive scientific analysis of the activities of the international community and its institutional structures on issues of sustainable development. It also analyzes foreign experience and summarizes Ukraine's regulatory framework concerning sustainable development.

The paper analyzes the theoretical and legal aspects related to understanding and implementing the concept of sustainable development. In the context of the instability of the modern globalized world, which increasingly faces crisis phenomena, it is essential to achieve a balance between the socio-economic and environmental interests of society. The possibility of achieving this goal is considered through the application of the provisions of the sustainable development concept—one of the modern models of interaction between society and nature, whose methodological foundations allow for a clear definition of its essence and content. The principles and objectives of this concept, enshrined in international documents, are crucial for improving Ukrainian legislation in the field of sustainable development. The primary task of its implementation is the development and legal establishment of indicators and criteria for sustainable development.

The authors emphasize the importance of innovative technologies and the development of “green” infrastructures to ensure sustainable development. Understanding the concept of sustainable development as a methodological basis for organizing societal development is closely connected with the objective reasons for its emergence, among which global and regional environmental issues, as well as new threats to national security at the international and national levels in the environmental sphere, are of particular significance.

The legal foundations of environmental policy are essential tools for achieving sustainable development in Ukrainian cities. However, their effective implementation requires adequate funding, coordination among government bodies at various levels, and raising environmental awareness among citizens.

Planning the socio-ecological development of urbanized areas is a complex management task that ensures a systematic approach to solving many problems of municipal management. *Key words:* sustainable development, environmental security, environmental policy, socio-economic development.

Постановка проблеми. У сучасних умовах швидкої урбанізації та інтенсивного використання природних ресурсів питання правового регулювання екологічної політики набуває особливої актуальності. Міста є центрами економічного розвитку, проте їх стрімке зростання супроводжується знач-

ним антропогенним навантаженням на довкілля, що призводить до забруднення повітря, води, деградації ґрунтів та зниження якості життя населення. Впровадження ефективних правових механізмів у сфері екологічної політики є ключовим елементом стратегії сталого розвитку міст, що вимагає комплексного наукового підходу та оновлення нормативно-правової бази.

Актуальність дослідження. Забезпечення екологічної безпеки в умовах урбанізації є одним із пріоритетних завдань сталого розвитку, визначених як на міжнародному, так і на національному рівні. Відповідно до європейських екологічних стандартів та міжнародних угод, міста повинні впроваджувати політику, спрямовану на зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. В Україні існує значний розрив між задекларованими нормами екологічної політики та їх реалізацією, що обумовлено як недосконалістю законодавства, так і слабким контролем за його виконанням. Тому дослідження правових засад екологічної політики у стратегії сталого розвитку міст є важливим для створення ефективних правових механізмів управління екологічною безпекою в міських агломераціях.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження спрямоване на аналіз правових засад екологічної політики у стратегії сталого розвитку міст, що є актуальним як у науковій, так і в практичній площині. Важливість цього питання зумовлена сучасними глобалізаційними процесами, які впливають на міське середовище, створюючи екологічні виклики та загрози. Враховуючи міжнародні ініціативи, такі як «Порядок денний у сфері сталого розвитку до 2030 року», дослідження пропонує механізми адаптації цих принципів у національну правову систему для покращення екологічної стабільності українських міст.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема розвитку міст набуває особливої актуальності в умовах швидкої урбанізації та екологічних викликів, що привертає увагу багатьох дослідників [1-7]. У роботах [1] акцентується увага на інтеграції цілей сталого розвитку міст у глобальні програми, а також на політичних та технічних труднощах, що виникають при створенні індикаторів, які точно відображають функціонування міста. Дослідники наголошують, що міське середовище – це складна система, де часто не враховуються локальні особливості, що може призвести до хибних висновків. Їхні роботи підкреслюють важливість співпраці з місцевими органами влади для створення ефективних стратегій сталого розвитку міст.

У свою чергу, [2] пропонує альтернативний підхід до сталого міського планування, аналізуючи взаємозв'язок між міським розвитком та екологічними наслідками. Автор критикує традиційні підходи до планування міст за їхню неспроможність збалансу-

вати економічне зростання з екологічним управлінням [3]. Зокрема, наголошується на важливості інтеграції екологічних принципів у міське середовище для покращення якості життя.

Особливу увагу приділено інвестиціям у розвиток зелених зон, енергоефективності та підтримці міських екосистем, що є ключовими елементами досягнення сталого урбаністичного розвитку. Аналізуючи міста як екологічні системи, [4] демонструє розрив між сучасними підходами до планування та реальним екологічним станом міст. Це доповнює існуючі стратегії сталого розвитку, спрямовані на одночасне вирішення екологічних та соціально-економічних викликів [4-7].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Незважаючи на наявність законодавчих механізмів щодо регулювання екологічної політики в містах, їх ефективна реалізація залишається проблемною. Основними викликами є недостатнє фінансування екологічних програм, відсутність системної координації між органами влади різних рівнів, низька ефективність впровадження інноваційних технологій та недостатній рівень екологічної освіти населення. Дослідження спрямоване на визначення шляхів подолання цих проблем та формування ефективних правових механізмів забезпечення сталого розвитку міст.

Новизна. У статті здійснено комплексний аналіз екологічної політики сталого розвитку міст з урахуванням як міжнародних нормативно-правових актів, так і національного законодавства. Особливістю дослідження є акцент на практичну реалізацію екологічної політики через законодавчі механізми та муніципальні стратегії, що дозволяє визначити основні напрями вдосконалення нормативно-правового регулювання. Запропоновані підходи до впровадження «розумного міста», модернізації інфраструктури та розвитку зеленої енергетики мають перспективу для подальших наукових і прикладних досліджень.

Методологічне значення роботи полягає в застосуванні міждисциплінарного підходу, що поєднує правові та екологічні аспекти сталого розвитку міських територій. В основі дослідження лежить аналіз нормативно-правової бази України, що дозволяє визначити ефективність чинних механізмів та запропонувати шляхи їх удосконалення.

Виклад основного матеріалу. Глобалізаційні процеси, що впливають на сучасний світ, породжують виклики, які можуть загрожувати екологічній стабільності міст та їхньому сталому розвитку. Це зумовлює необхідність розроблення ефективних механізмів подолання екологічних загроз та забезпечення гармонійного розвитку міських територій. Одним із ключових міжнародних документів, що окреслює основні проблеми сталого розвитку міст, включно з екологічними аспектами, є «Перетворення нашого світу: Порядок денний у сфері сталого

розвитку до 2030 року», ухвалений на 70-й сесії Генеральної Асамблеї ООН у вересні 2015 року. Цей документ визначає глобальні цілі сталого розвитку, досягнення яких повинно забезпечити прогрес у різних сферах, зокрема в екології, соціальній сфері та економіці. Враховуючи ці міжнародні рекомендації, Україна адаптувала глобальні цілі сталого розвитку до національних потреб, що знайшло відображення в Національній доповіді «Цілі сталого розвитку: Україна», підготовленій Міністерством економічного розвитку і торгівлі України в 2017 році [8]. Доповідь визначає конкретні завдання та підходи до впровадження сталого розвитку в Україні, зокрема у сфері міського управління та екологічної безпеки. Для забезпечення сталого розвитку міст в Україні важливу роль відіграють нормативно-правові акти, які регулюють міське управління, планування, інфраструктуру та екологічну безпеку. До основних законів, що безпосередньо впливають на сталий розвиток міст, можна віднести наступні:

1. **Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності» (2011)** [9] визначає правові основи містобудівної діяльності в Україні, встановлюючи правила для організації, проєктування, будови та реконструкції міських територій. Цей закон також враховує аспекти сталого розвитку в контексті міського середовища, зокрема стійкість міських територій до змін клімату та інших екологічних загроз.

2. **Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища»** [10] регулює питання охорони довкілля на всіх рівнях, включаючи міські території. Він створює механізми для забезпечення екологічної стабільності міст, враховуючи вплив на навколишнє середовище.

3. **Закон України «Про основи містобудування»** [11] окреслює принципи та процедури для розвитку міських територій, зокрема щодо задоволення інфраструктурних потреб, створення комфортного середовища для мешканців і забезпечення сталого розвитку.

4. **Закон України «Про благоустрій населених пунктів»** [12] визначає вимоги до благоустрою міських територій, а також охорони навколишнього середовища, підтримки естетичного вигляду міст та створення належних умов для проживання.

5. Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» [13] встановлює правові та організаційні засади оцінки впливу на довкілля, що є обов'язковою процедурою для планованої діяльності, яка може мати значний вплив на навколишнє середовище.

6. **Закон України «Про енергетичну ефективність будівель»** [14] сприяє підвищенню енергоефективності будівель, що зменшує енергоспоживання та негативний вплив на навколишнє середовище. Це важливий крок у забезпеченні сталого розвитку міст.

7. **Закон України «Про екологічний аудит»** [15] сприяє здійсненню екологічного аудиту на міс-

цевому рівні. Це дозволяє оцінювати екологічні наслідки міських проєктів і забезпечувати сталість місцевих екосистем.

Основними напрямками досягнення цілей сталого розвитку в Україні визначено екологічну рівновагу, збереження природних ресурсів, розвиток міської інфраструктури з урахуванням екологічних аспектів та ефективне використання енергетичних ресурсів. У межах цих напрямів передбачено заходи щодо зменшення рівня забруднення повітря та води, ефективного управління відходами, розвитку зеленої інфраструктури, збереження біорізноманіття та пом'якшення наслідків змін клімату.

Відповідно до Указу Президента України від 30.09.2019 № 722/2019 [16], розвиток міст має ґрунтуватися на принципах екологічної концепції сталого розвитку, що передбачає гармонійне поєднання економічного зростання, соціального благополуччя та збереження навколишнього середовища.

Важливими напрямками розвитку міст є:

1. **Екологічна модернізація інфраструктури** – запровадження енергоефективних технологій, перехід на відновлювані джерела енергії, розвиток екологічного транспорту.

2. **Раціональне використання природних ресурсів** – ефективне управління водними, земельними та лісовими ресурсами, зменшення кількості відходів і розвиток системи їх переробки.

3. **Озеленення та збереження біорізноманіття** – створення парків, скверів, зелених коридорів у містах, зменшення рівня забруднення повітря.

4. **Інтеграція «розумних» технологій** – впровадження цифрових рішень для управління міською інфраструктурою, моніторинг екологічного стану.

5. **Громадська участь та екологічна освіта** – залучення мешканців до екологічних ініціатив, формування екологічної культури населення.

Згідно з [16], «міське середовище» є генератором виникнення значної кількості екологічних проблем в Україні, зокрема у промислово розвинених містах (Кривий Ріг, Запоріжжя, Маріуполь) і мегаполісах (Київ, Дніпро, Львів, Харків), де спостерігається висока забрудненість повітря, незважаючи на те, що в них вже протягом тривалого часу працюють переважно підприємства сфери послуг. Однак ці проблеми вирішуються досить повільно, і показники енергоефективності, викидів парникових газів та накопичення твердих побутових відходів залишаються незмінними. Автор [17] вважає, що це є результатом відсутності «системної державної і міської політики в даному напрямі та економічних стимулів для розвитку зеленої економіки в містах», [18] визначає основні складові еколого-орієнтованого розвитку міста, які включають розвиток відновлювальної енергетики, зокрема вітрової, сонячної та геотермальної енергетики, а також будівництво енергоефективних будинків з мінімальним споживанням електричної та теплової енергії. Додатково

важливим є зменшення потреби в автомобільному транспорті через оптимальне планування території, розвиток велосипедного транспорту та покращення роботи громадського транспорту. Також необхідно забезпечити наявність значної частки зелених зон у містах, підтримувати стійкість природних систем і біорізноманіття, а також зменшувати утворення твердих побутових відходів, забезпечуючи їх сортування та глибоку переробку [18]. Рішення цих завдань неможливе без забезпечення збалансованого функціонування соціо-екологосистеми території, про що зазначають [18]. Вони розглядають завдання економічної, соціальної та екологічної сфер, підкреслюючи, що в економічній сфері важливим є підвищення ефективності використання регіональних ресурсів (природних, трудових, фінансових тощо) та досягнення економічної ефективності, що відповідає конкурентоспроможному вектору розвитку національної економіки. В екологічній сфері основними завданнями є збереження середовища проживання, розширення відтворення відновлювальних ресурсів біосфери, а також розвиток альтернативних технологій виробництва [19, 20].

Сьогодні Україні концепція сталого розвитку міст в Україні активно впроваджується у міську політику, враховуючи специфіку країни та її територіальні особливості. Протягом останніх років багато українських міст почали активніше працювати над впровадженням принципів сталого розвитку, розробляючи на основі глобальних ініціатив локальні стратегії розвитку, що враховують потреби мешканців та місцеві екологічні умови. Важливу роль у цьому процесі відіграє адаптація Цілей сталого розвитку ООН до реалій українських міст. Зокрема, серед пріоритетних напрямків можна виділити розвиток сталої інфраструктури, збереження природних ресурсів, впровадження енергозберігаючих технологій, покращення умов для громадян та зменшення соціальної нерівності. Міста в Україні, реалізуючи стратегії сталого розвитку, часто орієнтуються на приклади європейських міст і міжнародні ініціативи, адаптуючи їх до національних реалій. Одним з таких прикладів є стратегія розвитку міста «Дніпро-2030», яка визначає пріоритети для сталого розвитку цього міста. Вона охоплює ключові сфери, такі як екологія, економіка, транспорт, соціальна сфера і культурна спадщина. Завдяки такому комплексному підходу місто прагне досягти економічного зростання без шкоди для навколишнього середовища та здоров'я своїх мешканців. Не менш важливим є впровадження інноваційних технологій для сталого розвитку міст. Це включає розвиток «розумних міст», впровадження систем управління, які допомагають знижувати витрати енергії, покращувати міську мобільність та зменшувати забруднення. У Києві, наприклад, активно розвиваються інтелектуальні транспортні системи, такі як SPARC, які дозволяють зменшити затори та сприяють розвитку екологічно

чистого транспорту, зокрема електричних автобусів. Технічні інновації в управлінні енергетикою, зокрема впровадження енергозберігаючих технологій у житлово-комунальному господарстві, дозволяють зменшити витрати енергії та знизити негативний вплив на екологію.

Але впровадження принципів сталого розвитку в українських містах супроводжується низкою викликів. По-перше, це недостатнє фінансування, яке обмежує можливості для реалізації масштабних інфраструктурних проектів, спрямованих на сталий розвиток. В умовах економічної нестабільності важко виділити достатньо коштів для розвитку «зелених» технологій, екологічно чистого транспорту, впровадження новітніх енергозберігаючих технологій. По-друге, для забезпечення сталого розвитку необхідна ефективна і чітка законодавча база. Однак законодавчі ініціативи часто залишаються на етапі розробки, і навіть при їх прийнятті є труднощі з їх реалізацією на місцях. Однією з найбільших проблем є слабка координація між різними рівнями влади, що ускладнює виконання завдань сталого розвитку на місцевому рівні. Місцеві органи влади, хоч і мають певну автономію, не завжди мають достатньо ресурсів та повноважень для реалізації масштабних проектів. Крім того, необхідно активно залучати бізнес-сектор до процесу сталого розвитку, оскільки підприємства також можуть впливати на екологічні та соціальні процеси в містах. Ще однією проблемою є недостатній рівень екологічної освіти та обізнаності серед населення. Для успішного впровадження сталого розвитку важливо, щоб мешканці розуміли важливість збереження навколишнього середовища та були готові активно брати участь у розвитку свого міста. Освітні програми, інформування громадськості про переваги сталого розвитку та екологічні проблеми, з якими стикаються міста, можуть стати важливими інструментами для створення відповідальної екологічної культури. Зважаючи на усі ці виклики, для успішного впровадження сталого розвитку в українських містах необхідно вжити низку заходів. Важливим є створення та впровадження ефективної державної політики, яка забезпечить фінансування проектів сталого розвитку та стимулюватиме розвиток інфраструктури «зелених» технологій. Для цього потрібно збільшити фінансування національних і місцевих програм, спрямованих на збереження екології, підтримку відновлювальних джерел енергії та інноваційних технологій. Водночас важливо залучати міжнародні інвестиції, оскільки багато екологічних ініціатив потребують значних коштів, яких немає у державному бюджеті. Не менш важливою є ефективна міжурядова координація. Для цього необхідно забезпечити тісну взаємодію між центральними органами влади та місцевими органами самоврядування, а також активніше залучати громадські організації та бізнес до процесів планування та реалізації проектів сталого розвитку.

Головні висновки. Правові засади екологічної політики у стратегії сталого розвитку міст відіграють ключову роль у забезпеченні екологічної стабільності та гармонійного розвитку урбанізованих територій. Глобальні ініціативи, зокрема «Порядок денний у сфері сталого розвитку до 2030 року», адаптовані Україною у Національній доповіді «Цілі сталого розвитку: Україна», визначають пріоритети державної політики у сфері екологічної безпеки міст. Відповідне нормативно-правове регулювання в Україні охоплює широкий спектр законодавчих актів, які спрямовані на планування та розвиток міських територій з урахуванням екологічних аспектів. Серед них особливу роль відіграють закони, що регулюють містобудівну діяльність, охорону навколишнього середовища, екологічну експертизу, водокористування та енергетичну ефективність. Значним викликом для сталого розвитку міст України є збереження екологічної рівноваги в умовах урбанізації та індустріалізації. Попри наявність законодавчих механізмів, їхня ефективна реалізація гальмується через низку проблем, серед яких недостатнє фінансування екологічних програм, складнощі в координації між органами влади різних рівнів, низька ефективність впровадження інноваційних екологічних технологій та недостатня екологічна обізнаність населення. Разом з тим, позитивним аспектом є адаптація міжнародного досвіду сталого розвитку міст, що передбачає створення локальних стратегій із урахуванням екологічних та соціально-економічних факторів. Запровадження принципів «розумного міста», модернізація інфраструктури, розвиток зеленої енергетики, удосконалення транспортних систем та впровадження енергоефективних технологій є ключовими напрямками для досягнення екологічної безпеки міст.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати цього дослідження можуть бути використані у кількох напрямках, зокрема для розробки та вдосконалення законодавчої бази, оскільки отримані дані можуть стати основою для створення нових нормативно-правових актів або внесення змін до чинного законодавства з метою посилення екологічної політики в міському управлінні. Також вони можуть сприяти створенню муніципальних програм сталого розвитку, адже висновки дослідження можуть бути використані для формування місцевих стратегій, що враховуватимуть екологічні, соціальні та економічні аспекти розвитку міст. Крім того, результати можуть застосовуватися у наукових дослідженнях та освітніх програмах, зокрема у подальших дослідженнях у сфері екологічного права, урбаністики та сталого розвитку, а також інтегруватися в освітні програми для підготовки фахівців у галузі екологічного менеджменту. Важливим напрямом є міжнародне співробітництво та обмін досвідом, оскільки аналіз ефективності екологічної політики в містах України дозволяє порівняти її з міжнародною практикою та сприяє запозиченню передового досвіду у сфері сталого розвитку. Крім того, результати можуть бути практично впроваджені в муніципальному управлінні, адже їх використання органами місцевого самоврядування дозволить розробити ефективні управлінські рішення у сфері екологічної безпеки міст. Загалом, дослідження правових засад екологічної політики у контексті сталого розвитку міст дозволяє не лише оцінити сучасний стан нормативно-правового регулювання, а й запропонувати шляхи його вдосконалення для досягнення екологічної стійкості урбанізованих територій в Україні.

Література

1. Бобровська О.В., Каховська О. Сталый розвиток територій: проблеми та шляхи вирішення. *Аналітична записка*. 2024. № 9-10. С. 87-92.
2. Мураєв Є. В. Український досвід впровадження концепції смарт-міст: основні досягнення та проблеми. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2020. № 2. С. 91-95.
3. Matveieva, O., Navumau, V. Empowering Ukrainian civil society in the context of the war: background, approaches, digital technologies. 2023. *Public Administration and National Security*. № 1. P. 1-12.
4. Унінець І. М. Перспективи післявоєнного відновлення в Україні на засадах розумної економіки. *Проблеми сучасних трансформацій*. Серія: економіка та управління. 2022. Вип. 4. С. 1-8 URL: https://reicst.com.ua/pmt/issue/view/issue_3_2022
5. Mohanty R., Kumar B. P. Urbanization and smart cities. *Solving Urban Infrastructure Problems Using Smart City Technologies. Handbook on Planning, Design, Development, and Regulation*. 2021. № 1. P. 143-158.
6. Балюк С., Клаунінг Н., Четвертухіна Л., Коваль-Гончар М. Екологічні тренди в Україні: погляд громадян. Зміна клімату, енергетика та навколишнє середовище. 2021. № 1. С. 1-58. URL: <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/ukraine/17805.pdf>
7. Кожем'якіна С., Шабранська Н. Цілі розвитку людського капіталу в стратегіях розвитку та відновлення Києва і Київської області. *Економіка та суспільство*. 2023. № 56. С. 1-8. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-56-59DOI>
8. Цілі сталого розвитку: Україна Un.org.ua. URL: http://un.org.ua/images/SDGs_NationalReportUA_Web_1.pdf (дата звернення 13.04.2025).
9. Про регулювання містобудівної діяльності : Закон України від 17.02.2011 № 3038-VI / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text> (дата звернення: 26.08.2016).
10. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 25.06.1991 № 1264-XII : станом на 15 листоп. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text> (дата звернення: 13.04.2025).
11. Про основи містобудування : Закон України від 16.11.1992 № 2780-XII / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2780-12#Text> (дата звернення: 13.04.2025).

12. Про благоустрій населених пунктів : Закон України від 06.09.2005 № 2807-IV / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2807-15#Text> (дата звернення: 13.04.2025).
13. Про оцінку впливу на довкілля : Закон України від 23.05.2017 № 2059-VIII / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text> (дата звернення: 13.04.2025).
14. Про енергетичну ефективність будівель : Закон України від 22.06.2017 № 2118-VIII / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text> (дата звернення: 13.04.2025).
15. Про екологічний аудит : Закон України від 24.06.2004 № 1862-IV / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1862-15#Text> (дата звернення: 13.04.2025).
16. Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року : Указ Президента України від 30.09.2019 № 722/2019. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text> (дата звернення: 28.03.2025).
17. Ушенко Н., Тупіка А. Сталий розвиток міст України в умовах глобалізації: зарубіжні та вітчизняні підходи. *Herald of Khmelnytskyi National University. Economic Sciences*. 2025. № 338(1). С. 354-363. URL: <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2025-338-52>
18. Анфілов Д. Стратегії та перспективи сталого розвитку міст України. *Herald of Khmelnytskyi National University*. 2025. Т. 338, № 1. С. 334–342. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2025-338-50> (дата звернення: 28.03.2025).
19. Koval, V., Olczak, P., Vdovenko, N., Boiko, O., Matuszewska, D., Mikhno, I. Ecosystem of environmentally sustainable municipal infrastructure in Ukraine. *Sustainability*. 2021. №. 13. Р. 10223. DOI: <https://doi.org/10.3390/su131810223>.
20. Виговська О.В., Дехтяренко Ю.Ф. Екологічні аспекти розвитку сучасних українських міст. *Державне управління: удосконалення та розвиток*. 2021. № 10. С. 2-7.

ЕНЕРГІЯ ПРИРОДИ: ЯК ЗЕЛЕНІ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗВИВАЮТЬ ЛОКАЛЬНІ СПІЛЬНОТИ

Сабельніков М.П., Сакун А.О.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

вул. Кирпичова, 2, 61002, м. Харків

mykyta.sabielnikov@mit.khpi.edu.ua, antonina.sakun@khpi.edu.ua

У статті досліджується роль «зелених» технологій у трансформації локальних спільнот України в контексті сталого розвитку та екологічної модернізації. Автори розглядають ці технології не лише як засіб зменшення екологічного навантаження, а й як каталізатор соціальних, економічних та управлінських змін на місцевому рівні. Значну увагу приділено адаптації європейських екологічних підходів, зокрема Європейського зеленого курсу, до українських реалій через інструменти Місцевих зелених курсів. Визначено ключові напрями впровадження: розвиток відновлюваних джерел енергії, підвищення енергоефективності, формування циркулярної економіки, екологічний транспорт, сталий урбанізм і цифровізація систем управління довкіллям.

Розглянуто соціальні, економічні й управлінські аспекти реалізації сталих практик, з акцентом на законодавчі засади та інструменти локального впровадження. Підкреслено провідну роль органів місцевого самоврядування у просуванні екологічних інновацій шляхом взаємодії з громадськістю, бізнесом і міжнародними партнерами. Наведено приклади з практики українських громад, які демонструють ефективне застосування відновлюваної енергетики та інших екологічних рішень.

Інтеграція зелених технологій у розвиток локальних спільнот розглядається як важлива умова досягнення екологічної, соціальної й економічної стійкості. Такий підхід сприяє децентралізації, зміцненню громадянської участі, соціальній інклюзії та підвищенню економічної стійкості. Автори підкреслюють необхідність упровадження новітніх управлінських підходів, формування партнерств та залучення системної підтримки з боку держави й міжнародних структур. Лише завдяки широкому залученню усіх зацікавлених сторін і розвитку культури відповідального споживання можливе успішне впровадження екологічних інновацій на місцях. У публікації представлено концептуальне бачення зеленої трансформації локальних спільнот як стратегічного елементу сталого розвитку України у відповідь на глобальні виклики та відповідно до європейських орієнтирів. *Ключові слова:* зелені технології, сталий розвиток, локальні громади, Місцеві зелені курси, відновлювана енергетика, Європейський зелений курс, екологічні інновації.

The power of nature: the role of green technologies in the development of local communities. Sabelnikov N., Sakun A.

The article explores the role of “green” technologies in the transformation of local communities in Ukraine within the context of sustainable development and ecological modernization. The authors view these technologies not only as a means to reduce environmental impact but also as a catalyst for social, economic, and governance changes at the local level. Particular attention is given to the adaptation of European environmental approaches—especially the European Green Deal—to Ukrainian realities through the mechanisms of Local Green Deals. Key directions of implementation are identified, including the development of renewable energy, enhancement of energy efficiency, establishment of a circular economy, promotion of eco-friendly transport, sustainable urban planning, and the digitalization of environmental governance systems.

The article analyzes the social, economic, and managerial dimensions of implementing sustainable practices, with a focus on legislative frameworks and local implementation tools. It emphasizes the leading role of local self-government in advancing environmental innovations through community engagement, business partnerships, and the use of international technical assistance. Practical examples from Ukrainian communities are presented, demonstrating effective use of renewable energy and other ecological initiatives.

The integration of green technologies into the development of local communities is seen as a crucial condition for achieving environmental, social, and economic sustainability. This approach fosters decentralization, strengthens civic participation, enhances social inclusion, and improves economic resilience. The authors highlight the need for innovative management strategies, partnership building, and systematic support from the state and international organizations. Successful implementation of ecological innovations at the local level is possible only through the active involvement of all stakeholders and the cultivation of a culture of responsible consumption. The publication presents a conceptual vision of green transformation in local communities as a strategic prerequisite for Ukraine’s sustainable development in the face of global challenges and in alignment with EU strategic objectives. *Key words:* green technologies, sustainable development, local communities, Local Green Deals, renewable energy, European Green Deal, environmental innovations.

Постановка проблеми. У сучасних умовах загострення глобальних екологічних викликів, енергетичної кризи та соціально-економічної нестабільності все більшої актуальності набуває питання переходу до сталого розвитку на місцевому рівні. Локальні спільноти, як осередки життєдіяльності населення, стикаються з необхідністю адаптації до

нових умов, забезпечення енергетичної безпеки, збереження довкілля та підвищення якості життя. У цьому контексті «зелені» технології, зокрема ті, що базуються на використанні відновлюваних джерел енергії, стають не лише інструментом зменшення антропогенного впливу на природу, але й потужним чинником розвитку місцевих громад.

Проте в Україні процес впровадження таких технологій у громадах стикається з низкою бар'єрів: законодавчих, інституційних, фінансових та інформаційних. Водночас відсутність системного підходу до інтеграції екологічних інновацій на місцевому рівні стримує потенціал «зеленої» трансформації. Отже, постає потреба в глибшому дослідженні того, як саме енергія природи може стати основою для сталого розвитку громад, які механізми сприяють або, навпаки, перешкоджають ефективному впровадженню «зелених» технологій, і яку роль у цьому процесі відіграють місцеве самоврядування, бізнес та громадянське суспільство.

Актуальність дослідження. В умовах зростаючих екологічних загроз, зміни клімату та виснаження традиційних енергетичних ресурсів, перехід до відновлюваних джерел енергії та впровадження «зелених» технологій стає нагальною потребою для всіх рівнів управління. Україна, як держава, що прагне до інтеграції з Європейським Союзом і впровадження принципів Європейського зеленого курсу, потребує ефективних рішень для екологічної модернізації своїх громад. Саме на рівні місцевих спільнот відкриваються нові можливості для реалізації інноваційних підходів до енергозабезпечення, управління ресурсами та формування сталого середовища для життя.

Зелені технології сприяють не лише зменшенню екологічного навантаження, а й стимулюють соціальну згуртованість, економічну активність, створення нових робочих місць та зміцнення енергетичної незалежності громад. Однак для досягнення реального ефекту необхідно подолати низку викликів, зокрема, забезпечити належне фінансування, підтримку з боку держави та розвиток інституційної спроможності на місцях. Тому дослідження ролі «зеленої» енергетики у розвитку локальних спільнот є надзвичайно актуальним у контексті формування стійкої моделі майбутнього, заснованої на принципах екологічної безпеки, соціальної відповідальності та економічної ефективності.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Авторський доробок спрямований на вивчення потенціалу «зелених» технологій як інструменту зміцнення локальних спільнот та вирішення міждисциплінарних завдань, що поєднують екологічні, соціальні, економічні та управлінські аспекти.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Тематика «зелених» технологій активно вивчається вітчизняними та закордонними науковцями. Так, ресурсорієнтований підхід до інвестицій у «зелені» технології проаналізовано у праці [1]. Автори акцентують увагу на довгостроковій економічній та соціальній доцільності таких вкладень, особливо у контексті сталого розвитку та енергетичної незалежності громад. [2] дослідила інноваційні підходи до забезпечення екологічної стійкості в оновленні міського

середовища, окресливши потенціал адаптації екотехнологій у середовищі місцевих громад. Актуальність зелених інвестицій у контексті повоєнного відновлення України розкривають у [3], вказуючи на важливість їх інтегрування у стратегічні плани відбудови регіонів. Суттєвий внесок у розробку концепції сталого розвитку міст на основі «зелених» технологій зробила [4], яка окреслила міждисциплінарні підходи до формування міського середовища через призму екологічної відповідальності. [5] запропонували концептуальні основи зеленого менеджменту у SMART-містах, актуалізуючи важливість цифрових технологій у поєднанні з природоорієнтованими рішеннями. Попри розмаїття наукових досліджень, недостатньо розкритим залишається питання безпосереднього впливу зелених технологій на розвиток локальних спільнот – зокрема, як екологічні ініціативи змінюють соціальну динаміку, економічні можливості та участь громадян у прийнятті рішень на місцевому рівні.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Попри значну увагу наукової спільноти до питань сталого розвитку та екологічної трансформації, окремі аспекти впровадження «зелених» технологій на локальному рівні в Україні залишаються недостатньо дослідженими. Зокрема, бракує цілісного аналізу того, яким чином саме локальні спільноти можуть стати активними агентами «зеленої» трансформації, а не лише об'єктами державної політики. Недостатньо розкрито специфіку адаптації європейських екологічних ініціатив, таких як Європейський зелений курс, до соціально-економічних і управлінських умов українських громад.

Новизна полягає у комплексному аналізі ролі «зелених» технологій як багатовекторного інструменту розвитку локальних спільнот України в умовах екологічної трансформації та децентралізації.

Методологічне значення. У роботі застосовано системний аналіз для виявлення взаємозв'язків між екологічними інноваціями, управлінськими практиками та соціальними ефектами на місцевому рівні.

Виклад основного матеріалу. У сучасних умовах глобальних кліматичних змін, загострення екологічної кризи та виснаження природних ресурсів, сталий розвиток набуває ключового значення для забезпечення соціальної, економічної та екологічної рівноваги. Європейський зелений курс (ЄЗК) [6], як стратегічна ініціатива Європейського Союзу, має на меті трансформацію економіки країн-членів ЄС у кліматично нейтральну, інклюзивну та ресурсоефективну до 2050 року. Одним із ключових інструментів реалізації цієї мети на локальному рівні є Місцеві зелені курси (МЗК), які покликані забезпечити впровадження цілісного підходу до зеленого переходу в міському середовищі. Місцевий зелений курс являє собою комплексний, міждисциплінарний план дій, спрямований на інтеграцію сталого

розвитку у всі сфери діяльності місцевої влади. Він спирається на чинні стратегічні документи (зокрема, плани дій зі сталого енергетичного розвитку і клімату, програми з циркулярної економіки тощо), нормативно-правову базу, фінансові стимули та ринкові механізми. Такий підхід не лише адаптує цілі ЄЗК до місцевого контексту, а й сприяє участі бізнесу та громадськості в процесах прийняття рішень і впровадження інноваційних екологічних рішень. Ключовою передумовою ефективного впровадження МЗК є наявність інтегрованого механізму управління, який передбачає горизонтальну та вертикальну координацію між різними секторами, рівнями влади та зацікавленими сторонами. Традиційні підходи до міського управління, що ґрунтуються на фрагментарному вирішенні проблем, є недостатніми для досягнення системних змін. Натомість МЗК спрямовані на подолання інституційної ізольованості шляхом запровадження наскрізних рішень у сферах декарбонізації, циркулярної економіки, енергоефективності, сталих продовольчих систем та соціальної інклюзії. Важливо підкреслити, що Місцеві зелені курси не є окремою стратегією або новим набором цілей, а радше – способом їх реалізації через співтворення, спільне проєктування та багаторівневе партнерство. Вони забезпечують консолідоване впровадження політик сталого розвитку шляхом узгодження регуляторних механізмів, фінансування, інноваційної діяльності та залучення громадян. При цьому акцент робиться на практичні кроки, які можуть реалізовуватись через конкретні локальні ініціативи – наприклад, створення енергоефективних кварталів, розвиток зеленої інфраструктури, цифровізація транспортної системи тощо [7]. На відміну від Міських кліматичних договорів, які сфокусовані переважно на досягненні кліматичної нейтральності до 2030 року через зменшення викидів парникових газів, МЗК охоплюють ширший спектр питань – від енергетичної трансформації до управління сировинними ресурсами, екодизайну та соціального добробуту. Обидві ініціативи є взаємодоповнюючими інструментами реалізації Європейського зеленого курсу на місцях [8]. Незважаючи на значний потенціал, впровадження МЗК стикається з численними викликами, серед яких – обмежене фінансування, низький рівень участі зацікавлених сторін, фрагментація нормативного поля та нестача управлінських ресурсів. У цьому контексті підтримка з боку Європейської Комісії (зокрема, у межах ініціативи «Виклик розумних міст», місії «100 кліматично нейтральних і розумних міст», платформи Smart Cities Marketplace тощо) є критично важливою для забезпечення сталого локального розвитку. З огляду на нагальні соціальні, економічні та екологічні виклики, що постали перед країнами ЄС, включно з наслідками пандемії COVID-19, війни в Україні та пов'язаними з нею енергетичними і продовольчими кризами, роль місцевих зелених курсів зростає.

Зелені технології є ключовими засобами реалізації ЄЗК. Вони включають:

- системи відновлюваної енергетики;
- екологічно чистий транспорт;
- циркулярну економіку;
- розумне планування міського простору;
- ефективне управління природними ресурсами [9].

Зелені технології становлять сукупність інноваційних рішень, спрямованих на зменшення негативного впливу на навколишнє середовище, підвищення енергоефективності, оптимізацію використання природних ресурсів та забезпечення сталого розвитку. У контексті Європейського Союзу ці технології стали фундаментом для реалізації Європейського зеленого курсу – стратегічної ініціативи, спрямованої на досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року. Зелені технології охоплюють, зокрема, системи відновлюваної енергетики, екологічно чистий транспорт, циркулярну економіку, розумне міське планування та управління ресурсами.

Одна з ключових засад державної екологічної політики України полягає в обов'язковому врахуванні екологічних вимог у процесі розроблення та затвердження документів державного планування. У цьому контексті актуальним постає питання нормативного регулювання впровадження екологічно орієнтованих технологій у сфері будівництва з метою підвищення рівня екологічної безпеки. Зокрема, важливу роль у цьому процесі відіграє розвиток напрямку «зеленого будівництва», в межах якого значна увага приділяється вертикальному озелененню як інструменту підвищення якості урбанізованого середовища. [10] підтверджую позитивний вплив вертикального озеленення фасадів на екологічну рівновагу урбанізованих систем, а також на покращення акустичних характеристик міського простору. Застосування таких технологій сприяє зниженню рівнів шуму та формуванню більш комфортного середовища для життя. Досвід європейських країн, зокрема Німеччини, демонструє високий рівень розвитку альтернативних систем озеленення міських територій, зокрема дахового озеленення, що активно впроваджується в умовах обмежених земельних ресурсів. Протягом останніх десятиліть площа таких зелених дахів у Німеччині зростає стабільно щороку, що свідчить про ефективність і сталу популярність цієї практики [11].

Водночас вертикальне озеленення відіграє важливу роль і в контексті покращення якості повітря у приміщеннях. Результати досліджень демонструють здатність рослин фільтрувати повітря від токсичних речовин, що особливо актуально для сучасних будівель із високим рівнем забруднення повітря внутрішнього середовища. Успішне поєднання природних властивостей рослин із інженерними рішеннями в межах архітектурного проєктування дозволяє досягати значних екологічних переваг, зокрема зниження рівня вуглецевих викидів та енергоспоживання.

Таким чином, зелені технології створюють нову реальність для українських громад, де питання енергетичної стійкості, освітньої інтеграції, фінансової самодостатності та екологічної безпеки вирішуються у взаємозв'язку. Вони сприяють зміцненню ролі громад як автономних і проактивних суб'єктів енергетичної трансформації, що є запорукою успішного енергетичного переходу на національному рівні.

Висновки. Зелені технології відіграють ключову роль у розвитку локальних спільнот, особливо в умовах енергетичної нестабільності, кліматичних змін та соціальних трансформацій. Комплексний підхід до реалізації зелених технологій, який охоплює технічні рішення, освітні ініціативи, інформаційно-аналітичну підтримку та інституційну взаємодію, створює передумови для сталого та довготривалого розвитку громад, що особливо актуально в умовах воєнного часу. Однак результати дослідження також засвідчили наявність низки бар'єрів, які

стримують більш широке впровадження екотехнологій в Україні. Серед них варто виокремити обмежений доступ до фінансування на місцевому рівні, недостатню кількість фахівців у сфері відновлюваної енергетики, фрагментарну нормативно-правову базу, а також низький рівень обізнаності громадян щодо переваг екологічно сталого способу життя. Для усунення цих бар'єрів необхідним є формування цілісної державної політики щодо розвитку зеленої енергетики, яка б передбачала оновлення законодавства, створення фінансових механізмів стимулювання зелених ініціатив, зокрема через податкові пільги, пільгові кредити, державні субсидії та інвестиційні програми. Також доцільним є посилення ролі освіти, зокрема включення екологічної тематики до навчальних програм, організація тренінгів та семінарів для представників громад, а також забезпечення ширшого обміну досвідом між регіонами.

Література

1. Росола У. В., Волкова А. О., Чума М. І. Актуальність інвестиції в «зелені» технології. Екологічне право. 2024. № 2. С. 45–49.
2. Казноська В. С. Зелені технології та сталість в оновленні міст: інноваційні підходи до забезпечення екологічної сталості у Вінниці : дис. ... канд. техн. наук. Вінниця : ВНТУ, 2023. 215 с.
3. Решетченко А. «Зелені» технології в концепції сталого розвитку міст України. Collection of scientific papers «ΛΟΓΟΣ». 2022. № 1. С. 109–110.
4. Лень К. О., Воронкова В. Г. Концептуальні засади стратегій зеленого менеджменту SMART-міста. The 29th International scientific and practical conference “Business culture in the conditions of socio-cultural transformation of society” (July 23–26, 2024) Lyon, France. International Science Group. 2024. С. 131.
5. Чередніченко А. О., Ушенко Н. В. Зелені інновації у сталому розвитку міста. Екологічне право. 2021. № 4. С. 88–92.
6. Пристемський О., Єфремов А. О. Зелені інвестиції та їх значення у повоєнному відновленні України. Альманах права. 2024. № 1. С. 102–107.
7. Європейський Зелений Курс. URL: <https://ecoaction.org.ua/ievropejskyj-zelenyj-kurs.html>
8. Атаманчук З. А., Неголюк Ю. В. Інвестиційне забезпечення «зеленої» економіки як пріоритетний напрям розвитку держави на засадах сталого розвитку. Економіка і організація управління. 2021. № 1 (41). С. 6–14. <https://doi.org/10.31558/2307-2318.2021.1.1>
9. Данилюк М. М., Дмитришин М. В. Зелене будівництво у досягненні сталого регіонального розвитку. Актуальні проблеми розвитку економіки регіону. 2020. Т. 1, Вип. 16. С. 153–162.
10. Гришова І., Гришова Р. Державна політика сталого розвитку у контексті циркулярної моделі економіки. *Перспективи розвитку освіти, науки та бізнесу у глобальній середовищі*. Матеріали VIII Міжнародної наукової конференції, 2020. С. 45–47.
11. Balian A., Gryshova I., Shabatura T.S. Realities of state support for development agricultural production in Ukraine. *Scientific Papers of Legislation Institute of Verkhovna Rada of Ukraine*. 2021. № 2. Р. 156–167. <https://doi.org/10.32886/instzak.2021.02.16>

УДК 502.33

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.2-59.52>

ПРИНЦИПИ ЕКОСИСТЕМНОГО ПІДХОДУ ДО ГОСПОДАРЮВАННЯ У КАРПАТСЬКОМУ РЕГІОНІ УКРАЇНИ (НА ПРИКЛАДІ БОРЖАВСЬКОГО ГІРСЬКОГО МАСИВУ)

Станкевич-Волосянчук О.І., Цап І.Ю.

Державний вищий навчальний заклад «Ужгородський національний університет»

вул. Університетська, 14, 88000, м. Ужгород

oksana.stankiewicz-volosianchuk@uzhnu.edu.ua, ishtvan.tsap@uzhnu.edu.ua

Планування великих індустріальних та будівельних проєктів на територіях великої природоохоронної цінності потребують застосування екосистемного підходу, який включає оцінку екосистемних послуг. На прикладі Боржавського гірського хребта ідентифіковано основні типи екосистем за загальноприйнятою типологією: лісисті зони та ліси, річки та озера і високогірні пасовища (полонини). На сьогодні у планах є два великих проєкта, реалізація яких впливатиме на екосистеми Боржавського гірського хребта. Найбільших змін зазнає полонина. Для цієї екосистеми визначено та оцінено основні 17 екосистемних послуг, від яких залежить добробут місцевих громад.

Ідентифіковано 5 забезпечувальних біотичних екосистемних послуг: продукти вівчарства – сир, бринза та вовна; заготівля дикоростучих ягід; генетичний матеріал диких рослин і тварин. Ще 3 забезпечувальні абіотичні екосистемні послуги – питна вода поверхнева та питна вода ґрунтова і енергія вітру на полонині. Дві екосистемні послуги, пов'язані з питною водою, напряду залежать від здатності екосистеми надавати інші підтримувально-регуляційні екосистемні послуги. Ці послуги пов'язані з водорегуляцією та інфільтрацією, а також контролем швидкості ерозії та захисту ґрунтів від ерозії.

До підтримувально-регуляційних біотичних екосистемних послуг полонини Боржавського гірського хребта належать 6 ідентифікованих: контроль швидкості ерозії ґрунту; гідрологічний цикл і регулювання потоку води; захист ґрунтів від ерозії та підтримання структури; процес розкладання, фіксації та вплив на якість ґрунту; регулювання ґрунтових вод; забезпечення місць проживання для рослин і тварин. Здатність екосистеми надавати ці екосистемні послуги залежить від її цілісності та наявності біорізноманіття.

Ще 3 екосистемні послуги – культурні. Це характеристики живих систем, які забезпечують діяльність людей, сприяють здоров'ю, одужанню чи насолоді через активну взаємодію: піший гірський туризм, гірський велотуризм, парапланеризм, гірськолижний спорт та сільський туризм. Це самі ті види активного туризму, які сьогодні дуже стрімко розвиваються у громадах, розташованих у підніжжі Боржавського гірського хребта. Інша група екосистемних послуг полонини Боржавського хребта – це інтелектуальна та репрезентативна взаємодія з природним довкіллям через науку (наукові дослідження), освіту (проведення семінарів, літніх шкіл, тренінг-курсів) та естетичний досвід (проведення пленерів, пейзажної та анімалістичної фотозйомки, зйомка фільмів). До культурних екосистемних послуг полонини Боржавського хребта належить також духовні, символічні взаємодії з природою чи розваги (дуже відомий хіпі-фестиваль «Шипот», який традиційно збирає тисячі неформалів).

Масштабні проєкти, пов'язані зі спорудженням 32 вітроустановок вздовж усього гірського хребта значною мірою порушать цілісність рослинного та ґрунтового покриву полонини, змінить рельєф та негативно вплине на біорізноманіття. Промислове використання 1 екосистемної послуги – енергії вітру, знизить здатність екосистеми надавати інші 16 екосистемних послуг. Найбільше постраждають підтримувально-регуляційні послуги, від яких залежить сила повеней, якість і кількість поверхневих вод та рівень підземних вод. Втраченим буде також ландшафтне та субальпійське біорізноманіття, збереження якого є зобов'язанням держави.

Розвиток масового туризму на чутливих гірських територіях також можливий лише після оцінки гранично допустимого рекреаційного навантаження на цінні екосистеми. *Ключові слова:* природоохоронні території, Боржавський гірський хребет Карпат, високогір'я, екосистемні послуги, екосистемний підхід.

Principles of the ecosystem approach to management in the Carpathian region of Ukraine (on the example of the Borzhava mountain range). Stankiewicz-Volosianchuk O., Tsap I.

Planning large industrial and construction projects in areas of high conservation value requires the application of an ecosystem approach. It includes an assessment of ecosystem services. Using the Borzhava mountain range as an example, we identified the main types of ecosystems according to the generally accepted typology: forests and woodland, rivers and lakes, and subalpine grassland. Currently, there are two major projects planned that will affect the ecosystems of the Borzhava mountain range. The subalpine grassland will undergo the greatest changes. For this ecosystem, the main 17 ecosystem services on which the well-being of local communities depends have been identified and assessed.

Five (5) supporting biotic ecosystem services have been identified: sheep products such as cheese, brynza and wool; harvesting of wild berries; and genetic material of wild plants and animals. Another 3 supporting abiotic ecosystem services are surface water and groundwater and wind energy in the subalpine grassland. Two ecosystem services related to drinking water directly depend on the ability of the ecosystem to provide other supporting and regulating ecosystem services. These services are related to water regulation and infiltration, as well as erosion control and soil protection.

The maintenance and regulatory biotic ecosystem services of the Borzhava mountain range include 6 identified ones: control of soil erosion rate; hydrological cycle and regulation of water flow; protection of soils from erosion and maintenance of structure; decomposition, fixation and impact on soil quality; regulation of groundwater; provision of habitats for plants and animals. The ability of an ecosystem to provide these ecosystem services depends on its integrity and biodiversity.

Another 3 ecosystem services are cultural. These are the characteristics of living systems that enable activities promoting health, recuperation or enjoyment through passive or observational interactions: mountain hiking, mountain biking, paragliding, skiing and rural tourism. These are the very types of active tourism that are currently developing very rapidly in the communities located at the foot of the Borzhava mountain range. Another group of ecosystem services of the Borzhava mountain range is intellectual and representative interaction with the natural environment through science (scientific research), education (seminars, summer schools, training courses) and aesthetic experience (plein airs, landscape and animal photography, film making). The cultural ecosystem services of the Borzhava Ridge subalpine grassland also include spiritual, symbolic interactions with nature or entertainment (the very famous hippie festival 'Shipot', which traditionally gathers thousands of informal people).

Large-scale projects involving the construction of 32 wind turbines along the entire mountain range will significantly disrupt the integrity of the plant and soil cover of the subalpine grassland, change the topography and negatively affect biodiversity. The industrial use of 1 ecosystem service, wind energy, will reduce the ability of the ecosystem to provide the other 16 ecosystem services. Maintenance and regulating services, on which floods, surface water quality and quantity, and groundwater levels depend, will be most affected. Landscape diversity and subalpine biodiversity, which is the responsibility of the state to preserve, will also be lost.

The development of mass tourism in sensitive mountainous areas is also possible only after an assessment of the maximum permissible recreational load on valuable ecosystems. *Key words*: protected areas, Borzhava mountain range of the Carpathians, subalpine grassland, ecosystem services, ecosystem approach.

Постановка проблеми. Проблема сталого розвитку та захисту гірських регіонів у світі дискутується уже тривалий час. Гірські екосистеми є особливо чутливими до антропогенних впливів. Водночас вони залишаються осередками високого ландшафтного та біорізноманіття, які потребують заходів зі збереження. Результатом цих дискусій є розуміння того, що для досягнення цілей збалансованого природокористування на нашій планеті необхідно застосовувати екосистемний підхід. Екосистемний підхід – це інструмент, який дає змогу розглядати взаємозв'язки екосистем з іншими екосистемами і людьми, які є їх частиною [4, 20]. Цей підхід має на меті забезпечити збалансоване природокористування та створення умов для довгострокового збереження біорізноманіття [2, 3]. Він нерозривно пов'язаний з концепцією екосистемних послуг, які, у свою чергу, базуються на екологічних функціях екосистем, таких як, водорегуляція, інфільтрація, депонування вуглецю тощо [15, 17].

Актуальність дослідження. Боржавський гірський масив є частиною Полонинського хребта в Українських Карпатах. Полонина Боржава є ключовою територією екомережі Українських Карпат та об'єктом Смарагдової мережі України (№ UA0000263). На схилах цього гірського масиву знаходяться також 9 об'єктів і територій ПЗФ загальною площею 3953,04 га [7, 12]. Це переважно лісові і загальнозоологічний заказники загальнодержавного та місцевого значення, заповідні урочища та гідрологічні пам'ятки природи місцевого значення водоспад «Шипіт» та Озеро на полонині Боржава. Будь-яке рішення про впровадження планованої економічної діяльності на території Боржавського гірського масиву – чи то будівництво високогірної ВЕС, чи то гірськолижного курорту олімпійського типу, має базуватись на екосистемному підході до управління природними ресурсами. Екосистемний підхід дозволяє визначити потенційні екологічні та соціальні ризики для реалізації великих інфраструктурних проєктів ще на етапі планування.

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

типи екосистем та їх послуг Боржавського гірського масиву, які потребують застосування екосистемного підходу для досягнення сталого розвитку території та місцевих громад, тісно пов'язаних з Полониною Боржавою. Визначені типи екосистем – гірські ліси, річки та високогірні пасовища, відповідають типології екосистем, яка сьогодні застосовується у країнах ЄС [18, 21].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За останні 15-20 років концепція екосистемних послуг набула стрімкого розвитку. Значна частка наукових досліджень у світі зосереджена на оцінці екосистемних послуг, які залежать від біорізноманіття. Тому ці дослідження також активно ведуться зокрема й у межах природоохоронних територій [24]. Фокус таких досліджень спрямовано на дослідження взаємозв'язків між біорізноманіттям та спектром культурних, забезпечувальних та підтримувально-регуляційних послуг [19, 23, 25]. Ряд досліджень, зокрема і в Україні, стосуються оцінки вартості екосистемних послуг морських, річкових та водно-болотних екосистем [9, 10, 19], а також впливу гідроенергетики та здатність річкових екосистем надавати повний спектр цих послуг [16, 22]. Також відомі публікації, де розглянуто основні підходи до розвитку вітроенергетики в Українських Карпатах [5, 8].

Метою роботи є проаналізувати потенційний вплив великих інфраструктурних проєктів з вітроенергетики та туризму у межах високогірного Боржавського хребта на біорізноманіття та екосистемні послуги гірських лісів, річок та високогірних пасовищ (полонин).

Новизна. Для двох типів екосистем Боржавського гірського масиву визначено основні екосистемні послуги полонини, які мають безпосередній зв'язок із збереженням біорізноманіття та добробутом місцевих громад.

Методологічне значення. На основі міжнародної класифікації екосистемних послуг CICES V5.1 [14], а також методик прямої та непрямой оцінки екосистемних послуг [1, 11], визначено спектр забезпечувальних, підтримувально-регуляційних та культурних послуг лісових та полонинських екосис-

тем Боржавського гірського масиву в Українських Карпатах. Проаналізовано потенційний вплив проектів з розвитку вітроенергетики та розвитку великих інфраструктурних туристичних проектів на здатність екосистем надавати визначені екосистемні послуги.

Викладення основного матеріалу. Боржавський гірський масив розташований у межах Полонинського хребта в Українських Карпатах між річками Ріка та Віча. Довжина хребта складає 50 м, а ширина – в середньому 5 км. Хребет починається біля смт. Міжгір'я масивом гори Кук (за іншими даними – хребтом Палений Грунь), далі через перевал Присліп (938 м) і гору Ополонюк (1171 м) тягнеться на північний захід з поступовим набором висоти. Від гори Великий Верх (1598 м) у тому ж напрямку (на Воловець) висоти зменшуються – Плай (1350 м), Темнатик (1344 м), а на південний захід збільшуються до гори Стій (1681 м), далі хребет дуже різко обривається. Хребет є високогірним – розташований у субальпійському поясі та відіграє вагоме значення у ландшафтному різноманітті України.

У високогірній частині Боржавського хребта беруть початки р. Боржава, яка у низинній частині Закарпатської області впадає у р. Тиса, р. Оса, яка впадає у р. Віча – притоку р. Латориця, та численні струмки, які впадають у р. Ріка. Усі ці річки належать до басейну р. Тиса.

Схили Боржавського хребта від підніжжя 600 м над р. моря до 900-1100 м над р. моря (у деяких місцях до 1320 м над р. моря) вкриті буковими, буково-яворовими та буково-ялицевими лісами, ідентифікованими, як праліси та квазі-праліси [12]. Усі ці ліси, а також р. Оса разом з лісовою частиною площі водозбору, мають статус природно-заповідних територій (3950,7 га). Водночас високогірна частина Боржавського хребта – полонина – отримала статус території Смарагдової мережі (Polonyna Borzhava: UA0000263), площею 4520 га.

Екосистемні послуги – це переваги, які людство отримує від функціонування світу природи. До еко-

системних послуг належать постачання продуктів харчування, палива та матеріалів, а також більш базові процеси, як формування ґрунтів, контроль і очищення води, депонування вуглецю чи насичення атмосферного повітря киснем. Сюди ж належать також нематеріальні процеси, такі як зручності, відпочинок та естетика. Хоча більшість цих послуг ми не помічаємо і сприймаємо, як належне, однак всі вони рівною часткою мають вирішальне значення для виживання та соціального й економічного розвитку людського суспільства [6, 11]. За загальноприйнятою класифікацією екосистемних послуг CICES V5.1 виділяють три основні групи: забезпечувальні екосистемні послуги, підтримувально-регуляційні та культурні.

Відповідно до типології екосистем, у межах Боржавського гірського масиву ідентифіковано 3 типи екосистем: ліси, річки та озера і високогірні пасовища (табл. 1).

Полонина Боржавського хребта представлена субальпійською флорою та чорничниками. Ще у 50-х роках ХХ ст. чорничники складали 30 % площі полонини. За сучасними даними чорничники складають понад 60 % площі [12]. Така ситуація є наслідком масового випасу багатотисячного поголів'я овець колгоспами у радянський період. Результатом перевипасу на полонині є заміщення деградованих площ субальпійських луків заростями чорничників та брусничників. Такою ж залишається загроза для вцілілих площ субальпійських луків, до складу флори яких належать 32 види судинних рослин, включених до Червоної книги України [13], у разі провадження діяльності на полонині, результатом якої антропогенне навантаження перевищуватиме гранично допустиме.

Оскільки великі інфраструктурні проекти будівництва ВЕС та великого гірськолижного курорту «Боржава» плануються до реалізації безпосередньо на полонині Боржавського хребта, ми у цій статті фокусуємо увагу на екосистемних послугах цієї екосистеми (табл. 2).

Таблиця 1

Типи екосистем за загальноприйнятою типологією в країнах ЄС [18]

MAES Рівень 1 Категорії екосистем	MAES Рівень 2 Тип екосистеми	Опис
наземні	пасовища	Території, вкриті сумішшю однорічних та багаторічних трав та трав'янистих недревних порід (зокрема високі різнотрав'я, мохи та лишайники) з незначним деревним покривом, або без нього. Два основних типи – це пасовища, що знаходяться під управлінням, та напівприродні (широко керовані) луки. У нашому випадку – це високогірні пасовища (полонини)
	лісисті зони та ліси	Території, на яких переважає деревна рослинність різного віку або суцільна клімаксічна рослинність на більшій частині території, що підтримує багато екосистемних послуг. Інформація про структуру екосистеми (віковий клас, видове різноманіття тощо) особливо важлива для цього типу екосистем. У нашому випадку – це переважно праліси і квазіпраліси.
прісноводні	річки та озера	Постійні прісні наземні поверхневі води, зокрема водотоки та водойми

Таблиця 2

**Екосистемні послуги високогірного пасовища (полонини) Боржавського гірського масиву
(відповідно до класифікації CICES V5.1)**

Біотичні екосистемні послуги				
Розділ	Клас	Група	Код групи	Екосистемна послуга та її опис
1	2	3	4	5
Забезпечувальні послуги	Біомаса	Вирощені наземні тварини для харчування, матеріалів або енергії	1.1.3	Продукти харчування. Випас овець, кіз та корів досі має значення для цього регіону. Худобу щороку на сезон виганяють на полонину з метою виробництва коров'ячого, овечого та козячо-овечого сиру і вурди. З цього сиру місцеве населення традиційно виробляє бринзу, яку споживає, а надлишок продає на ринку. Матеріали. Також овець щороку стрижуть для виготовлення шерстяної нитки. У с. Річка (Пилипецька ТГ), яке знаходиться під г. Кичера (одна з вершин Боржавського хребта) відроджено виробництво гуні (верхнього одягу горян з вовняного кошлатого сукна). Місцевий музей «Шлях гуні» є туристичною родзинкою цього регіону.
		Дикі рослини (наземні та водні) для харчування, матеріалів або енергії	1.1.5.	Продукти харчування. Місцеве населення щороку активно заготовляє чорницю (яфіну) на схилах полонини. Чорниця заготовляється у промислових масштабах. Заготівля чорниці контролюється органами місцевого самоврядування територіальних громад. У Керецьківській ТГ є плани залучення інвестицій для будівництва переробного заводу дикоростучих ягід. Заготівля чорниці є суттєвою статтею річного доходу для місцевого населення.
	Генетичний матеріал з усієї біоти (включаючи насіння, спори або гамети)	Генетичний матеріал рослин, водоростей або грибів	1.2.1.	Генетичний матеріал диких рослин та грибів. Це дуже цінний генетичний ресурс для майбутнього. Може бути використаний для відтворення вимерлих споріднених видів, для селекції стійкий до хвороб, шкідників та змін клімату місцевих сортів окультурених рослин.
		Генетичний матеріал тварин	1.2.2.	Генетичний матеріал диких тварин. Це дуже цінний генетичний ресурс для майбутнього. Може бути використаний для відтворення вимерлих споріднених видів, для селекції стійкий до хвороб, шкідників та змін клімату місцевих порід одомашнених тварин.
Підтримувально-регулюючі послуги	Регулювання фізичних, хімічних, біологічних умов	Регулювання базових потоків і екстремальних явищ	2.2.1.	Контроль швидкості ерозії. Ця екосистемна послуга пов'язана зі здатністю рослинності запобігати або зменшувати ерозію ґрунту. Водна ерозія на полонині Боржавського хребта – дуже небезпечне явище через стрімке збільшення площі та небезпеку сходження зсуву ґрунту та селів під час інтенсивних опадів. Окрім того, водна ерозія спричинює забруднення водотоків завислими частинками та формуванням острівних наносів у руслі річок. Тож ця екосистемна послуга зменшує шкоду (і пов'язаних з цим витрат) надходження наносів у водотоки та регулює екзогенні явища у горах. Гідрологічний цикл і регулювання потоку води (включаючи контроль за повеннями та захист узбережжя) Ця екосистемна послуга пов'язана зі здатністю щільного рослинного покриву полонини утримувати воду та повільно її віддавати. Ця здатність при існуванні цілісного рослинного покриву запобігає формуванню паводків та захищати населені пункти у районі гірського хребта.

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5
Підтримувально-регулюючі послуги	Регулювання фізичних, хімічних, біологічних умов	Підтримка життєвого циклу, захист середовища проживання та генофонду	2.2.2.	Забезпечення місць проживання диких рослин і тварин. Екосистемна послуга полягає у наявності екологічних умов (зазвичай середовищ існування), необхідних для підтримки популяцій видів. Знищення середовища існування призводить до втрати біорізноманіття.
		Регулювання якості ґрунту	2.2.4.	Захист ґрунтів від вітрової та водної ерозії та підтримання структури ґрунтів. Наявність природного рослинного покриву заважає вивітрюванню і вимиванню ґрунтів, а також формує специфічну структуру ґрунту. Ця екосистемна послуга запобігає водній ерозії на полонині, а також створює стабільні умови для проживання ґрунтової фауни, яка формує структуру ґрунту. Процеси розкладання та фіксації та їх вплив на якість ґрунту. Ґрунтова фауна та бактерії частково руйнують рослинні залишки, перетворюючи їх на детри, а згодом – на родючий шар ґрунту, гумус. Цей процес супроводжується депонуванням вуглецю в ґрунті. Руйнування ґрунту призводить до емісії вуглецю в атмосферу та збіднення ґрунту.
		Регулювання запасів прісних вод	2.2.5.	Регулювання ґрунтових вод. Коріння рослин сприяє транспортуванню води атмосферних опадів у підземні водні горизонти. Трав'яниста рослинність зменшує випаровування води з ґрунту. Відбувається переведення поверхневих води у підземні.
Культурні послуги	Безпосередня взаємодія із ситуацією та з живими системами, що залежить від присутності в середовищі	Фізична та експериментальна взаємодія з природним середовищем	3.1.1.	Характеристики живих систем, які забезпечують діяльність, сприяючи здоров'ю, одужанню чи насолоді через активну взаємодію чи взаємодію з зануренням На Боржавському хребті добре розвинені: піший гірський туризм, гірський велотуризм, гірськолижний туризм, парапланеризм, сільський туризм (садиби, готелі, ресторани, екологічні стежки, розваги, риболовля)
		Інтелектуальна та репрезентативна взаємодія з природним довкіллям	3.1.2.	Наука Наукові дослідження Освіта Семінари і конференції Естетичний досвід Фото і відео зйомка Пленери
	Непряма, віддалена, часто внутрішня взаємодія з живими системами, які не потребують присутності в середовищі	Духовні, символічні та інші взаємодії з природним середовищем	3.2.1.	Символічні та розваги Хіпі-фестиваль «Шипіт» на схилах г. Гимба поблизу водоспаду «Шипіт». Зараз на фестиваль приїждять неформали з усієї Європи. Фестиваль засновано у 1993 році
Абіотичні екосистемні послуги				
Забезпечувальні послуги	Вода	Поверхневі води, що використовуються для харчування, матеріалів або енергії	4.2.1.	Питна вода. У частині населених пунктів довкола Боржавського гірського хребта водозабори наповнюються водою з гірських річок. Достатня кількість та якість води прямо залежить від стану водозборів – цілісності рослинного покриву, здатності регулювати поверхневий стік та ґрунтові води, запобігати ерозії ґрунту тощо.

1	2	3	4	5
Забезпечувальні послуги	Вода	Грунтові води для харчових продуктів, матеріалів та енергії	4.2.2.	Питна вода. Частина населених пунктів довкола Боржавського гірського хребта живляться ґрунтовими водами з колодязів. Це не артезіанські джерела, це ґрунтові горизонти, наповнення яких залежить від комплексу підтримувально-регуляційних екосистемних послуг, пов'язаних з цілісним рослинним та ґрунтовим покривом та водорегуляцією.
	Виходи неводної природної абіотичної екосистеми	Немінеральні речовини або властивості екосистеми, що використовуються для харчування, матеріалів або енергії	4.3.2.	Енергія вітру. Вітер на високогір'ї може використовуватись для отримання вітрової електроенергії.

Ми ідентифікували й описали 17 основних екосистемних послуг, якими щодня користується місцеве населення, що живе у підніжжі Боржавського гірського хребта та туристи, які приїжджають відпочивати у довколишні села довкола Боржавського хребта. Серед цих екосистемних послуг ідентифіковано 5 забезпечувальних біотичних екосистемних послуг: продукти вівчарства – сир, бринза та вовна; заготівля дикоростучих ягід та генетичний матеріал диких рослин і тварин. А також 3 забезпечувальні абіотичні екосистемні послуги – питна вода поверхнева та ґрунтова, енергія вітру на полонині. Дві екосистемні послуги, пов'язані з питною водою, напряду залежать від здатності екосистеми надавати інші підтримувально-регуляційні екосистемні послуги. Ці послуги пов'язані з водорегуляцією та інфільтрацією, а також контролем швидкості ерозії та захисту ґрунтів від ерозії.

До підтримувально-регуляційних біотичних екосистемних послуг Боржавського гірського хребта належать 6 ідентифікованих: контроль швидкості ерозії ґрунту; гідрологічний цикл і регулювання потоку води; захист ґрунтів від ерозії та підтримання структури; процес розкладання, фіксації та вплив на якість ґрунту; регулювання ґрунтових вод; забезпечення місць проживання для рослин і тварин. Здатність екосистеми надавати ці екосистемні послуги залежить від її цілісності та наявності біорізноманіття.

Ще 3 екосистемні послуги – культурні. Передусім, це характеристики живих систем, які забезпечують діяльність людей, сприяють здоров'ю, одужанню чи насолоді через активну взаємодію: піший гірський туризм, гірський велотуризм, парашанеризм і дельтапланеризм, гірськолижний спорт та сільський туризм. Це самі ті види активного туризму, які сьогодні дуже стрімко розвиваються у громадах, розташованих у підніжжі Боржавського гірського хребта. Інша група екосистемних послуг полонини Боржавського хребта – це інтелектуальна та репре-

зентативна взаємодія з природним довкіллям через науку (наукові дослідження), освіту (проведення семінарів, літніх шкіл, тренінг-курсів) та естетичний досвід (проведення пленерів, пейзажної та анімалістичної фотозйомки, зйомка фільмів). До культурних екосистемних послуг належить також духовні, символічні взаємодії з природою чи розваги. Наприклад, на схилах г. Гімба поблизу водоспаду Шипіт щороку проводять хіпі-фестиваль «Шипіт» – один із найкращих і єдиний самоорганізований та найстаріший фестиваль в Україні. Кульмінація фестивалю – це святкування Івана Купала у ніч із 6 на 7 липня.

Висновки. Пропонуємо підсумувати викладене такими головними висновками:

1. Планування будь-якої масштабної діяльності на цінних природних та природоохоронних територіях має базуватись на принципах екосистемного підходу, який враховує ідентифікацію та оцінку екосистемних послуг.

2. Будівництво індустріального майданчика ВЕС у високогір'ї призведе до втрати частини рослинного покриву, зміни рельєфу та втрати частини біорізноманіття. Це стане причиною автоматичного зниження екосистемних послуг полонини, пов'язаних з контролем ерозійних процесів та підтримання структури ґрунту, здатності утримувати воду на переводити поверхневий стік у підземні горизонти, формування шару гумусу завдяки ґрунтовому біорізноманіттю. А це, у свою чергу, позначиться на продуктивності полонин, здатності субальпійського біорізноманіття самовідтворюватись. Наслідком зниження здатності полонинських екосистем регулювати стік води і ґрунтові води є повені у період максимальних опадів та зниження рівня ґрунтових вод, а отже, зниження водності гірських річок, зокрема у період межені.

3. Зміна рельєфу та спотворення ландшафту знизить туристичну привабливість гірського хребта. Промислове використання енергії вітру, як однієї екосистемної послуги, призведе до різ-

ною мірою зниження здатності полонинської екосистеми надавати інші 16 екосистемних послуг – забезпечувальних, підтримувально-регуляційних та культурних.

4. Планування великого туристичного комплексу «Боржава» має ґрунтуватись винятково на обрахунках граничного допустимого рекреаційного навантаження на полонину Боржавського хребта. В іншому разі ця екосистема зіштовхнеться з про-

блемою витоптування та втрати цінних осередків субальпійських луків і локалітетів раритетних видів рослин і тварин. Результатом буде зниження біорізноманіття, яке сьогодні знаходиться під захистом держави.

5. Наслідки надмірного використання однієї-двох екосистемних послуг за рахунок інших 15 не менш важливих негативно позначаються, у першу чергу, на добробуті місцевих громад.

Література

1. Василюк О., Варуха А., Куземко А. та ін. Екосистемний добробут: методика обрахунку екосистемних послуг непрямыми методами. Чернівці, 2023. 184 с.
2. Варуха А. Огляд підходів з оцінки екосистемних послуг через призму їхнього застосування для визначення збитків, завданих військовими діями РФ на території України. Львів: «Компанія «Манускрипт», 2022. 56 с.
3. Гаврилюк Р., Станкевич-Волосянчук О., Савченко С. Екосистемні послуги та гідроенергетика: пілотне застосування європейських інструментів у річкових басейнах країн Східного партнерства. Кейс України / Національний екологічний центр України. Київ, 2021. 32 с.
4. Дейнега М. А. Екосистемний підхід до використання природних ресурсів: правовий аспект. *Наук. вісник публічного та приватного права*, 2018, 2. С. 131-135.
5. Деревська К. І. Бурлаченко Ю. В., Борисенко К. А. Проблема вибору місць розташування ВЕС. Приклад Полонини Боржава в Українських Карпатах. Шоста міжнародна науково-практична конференція «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування». Трускавець, 2019. С. 320-325.
6. Ільмінська Л. Запилення рослин комахами. Екосистемні послуги / БО «БФ «Фонд захисту біорізноманіття України». Київ, 2020. URL: https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2020/08/EcoPoslugy_Zapylennya_pr5_str.pdf (дата звернення: 26.02.2025).
7. Каталог типів оселищ Українських Карпат і Закарпатської низовини / Ред. Б. Проць та О. Кагало. Львів: Меркатор, 2012. 294 с.
8. Лопушанська М. Р., Іванов Є. А., Біланюк В. І. та ін. Екосистемні послуги при плануванні та експлуатації об'єктів відновлювальної енергетики (на прикладі Львівської області). *Екологічні науки: науково-практичний журнал* / гол. ред. О. І. Бондар. Київ: Видав. дім «Гельветика», 2024, № 4 (55). С. 95-99 DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.4-55.15>
9. Сафранов Т. А., Берлінський М. А., Ель Хадрі Ю., Сліже М. О. Оцінка екосистемних послуг північно-західної частини Чорного моря: стан, проблеми та перспективи. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*, 2022, 56. С. 255-263. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-19>
10. Станкевич-Волосянчук О., Гаврилюк Р., Шаравара В. Екосистемні послуги гірських річок Українських Карпат. Ужгород: РІК-У, 2019. 32 с.
11. Станкевич-Волосянчук О., Тимченко І., Савченко С. Методичні рекомендації щодо оцінки вартості послуг екосистем. Ужгород, 2023. 46 с. URL: <https://ekospha.org/wp-content/uploads/2023/06/methodology-of-ecosystem-services.pdf> (дата звернення: 26.02.2025).
12. Фельбаба-Клушина Л. М., Гукливська А. В. Раритетна флора і рослинність Боржавського гірського масиву Українських Карпат та перспективи їх охорони. *Біологія та екологія*, 2021, 7 (1). С. 96-104 DOI: <https://doi.org/10.33989/2021.7.1.243457>
13. Червона книга України. Рослинний світ / під ред. Я. П. Дідуха. Київ: Глобалконсалтинг, 2009. 912 с.
14. Common International Classification of Ecosystem Services. CICES V5.1. URL: <https://cices.eu/> (дата звернення: 26.02.2025).
15. Fürst C., Luque S., Geneletti D. Nexus thinking – how ecosystem services can contribute to enhancing the cross-scale and cross-sectoral coherence between land use, spatial planning and policy-making. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management*, 2017, 13(1). P. 412-421. DOI: <https://doi.org/10.1080/21513732.2017.1396257>
16. Havrilyuk R., Gabrielian A., Sultanov E., Trombitsky I., Stankiewicz-Volosianchuk O., Tarasova O. Implementation of ecosystem approach and ecosystem services in hydropower sector of EaP countries: state and challenges. Kyiv, 2019. 76 p.
17. Lique C., Cid N., Lanzanova D., Grizzetti B., Reynaud A. Perspectives on the link between ecosystem services and biodiversity: The assessment of the nursery function. *Ecological Indicators*, 2016, 63. P. 249-257 DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.11.058>
18. Maes J. Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services: An analytical framework for ecosystem condition / J. Maes, A. Teller, M. Erhard et al. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018. 78 p.
19. Shome, A., Kumar, A., Singh, A. N. et al. Assessing the importance of Indian wetland plants for multiple ecosystem services using trait-service linkage framework. *Wetlands Ecological Management*, 2025, 33 (23). DOI: <https://doi.org/10.1007/s11273-025-10039-2>
20. Steinhoff-Knopp B., Kuhn T. K., Burkhard B. The impact of soil erosion on soil-related ecosystem services: development and testing a scenario-based assessment approach. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2021, 193 (1). P. 274-292 DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08814-0>
21. Sumarga E., Hein L., Edens B., Suwarno A. Mapping monetary values of ecosystem services in support of developing ecosystem accounts. *Ecosystem Services*, 2015, 12. P. 71-83 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.02.009>
22. Tymchenko I., Havriliuk R., Stankiewicz-Volosianchuk O., Savchenko S. Assessment of the economic value of ecosystem services of the Oleksandrivskyi Reservoir of the South Bug River basin. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 2024, 33 (2). P. 387-397. DOI: <https://doi.org/10.15421/112436>

-
23. Vörösmarty C.J., McIntyre P.B., Gessner M.O., Dudgeon D., Prusevich A., Green P., Glidden S., Bunn S.E., Sullivan C.A., Liermann C.R., Davies P.M. Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, 2010, 467. P. 555–61. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature09440>
 24. Zhao X., He Y., Yu Ch., Xu D., Zou W. Assessment of Ecosystem Services Value in a National Park Pilot. *Sustainability*, 2019, 11. 6609 DOI: <https://doi.org/10.3390/su11236609>
 25. Yan, Y., Liu, X., Lin, T., Li, P., Min, J., Zhu, P., Liu, X., & Wang, C. Analysis of the Interrelationships and Drivers of Ecosystem Services in the Heihe River Basin. *Sustainability*, 2025, 17(5), 1942 DOI: <https://doi.org/10.3390/su17051942>

СТВОРЕННЯ ЛОКАЛЬНОГО БРЕНДУ ЯК ЕЛЕМЕНТ СТАЛОГО УПРАВЛІННЯ ПРИРОДООХОРОННИМИ ТЕРИТОРІЯМИ

Тихомирова Т.С., Новожилова Т.Б., Місик Я.Т., Крючкова В.В., Чікірякін К.В.
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
вул. Кирпичова, 2, 61002, м. Харків
tetiana.tykhomyrova@khp.edu.ua

Стале управління природоохоронними територіями базується на збалансованому розвитку окремих складових таких територій у трьох основних напрямках: економічному, соціокультурному та еколого-просвітницькому. При цьому економічний розвиток територій є важливим елементом, який у випадку природоохоронних територій не повинен призводити до погіршення якості навколишнього природного середовища та не повинен призводити до неможливості відтворювати продукцію чи послугу в майбутньому з визначеними унікальними властивостями.

У роботі наведено геосистемний підхід до формування локального бренду природоохоронних територій. Проаналізовані екосистемні послуги, які може надавати національний природний парк. Наведено власне трактування та визначення поняття локального екологічного бренду. Систематизовані принципи створення такого бренду, наведені переваги наявності такого бренду, в тому числі при подачі грантової заявки та як елемент формування екологічної культури туристів.

В якості об'єкта дослідження було обрано національний природний парк «Синевир», який має унікальний та добре впізнаний географічний об'єкт у своєму складі – високогірне озеро Синевир. Навколо цієї назви самозайняте населення та місцеві бізнесмени ініціювали створення локального екобренду «СиневирЕКО». У роботі наведено основні переваги у створенні локального екобренду природоохоронних територій у порівнянні з отриманням охоронного документу на географічне зазначення. Серед основних принципів створення локального бренду природоохоронних територій та територій громад, пов'язаних з ними, слід відзначити підтримку як з боку керівництва природоохоронних територій, так й населення, а також добровільність участі у використанні. Без такої співпраці та підтримки бренд може не стати інструментом підвищення популярності територій, його використання може бути обмежено виключно територією національного парку чи заповідника. *Ключові слова:* бренд, стале управління, природоохоронні території, екосистемні послуги, геосистемний підхід, екологічна культура, грантова заявка.

Local brand's creation as an element of natural protected areas sustainable management. Tykhomyrova T., Novozhylova T., Misyk Ya., Kryuchkova V., Chikiriakin K.

Protected areas' sustainable management is based on the individual components balanced development of such territories in three main directions: economic, socio-cultural, ecological, and educational. At the same time, territories' economic development is an important element, which, in the case of protected areas, should not lead to decreasing environmental quality or the impossibility to reproduce a product or service in the future with certain unique properties.

The work presents a geosystemic approach to forming a local brand of protected areas. The ecosystem services that a national park can provide are analyzed. The actual interpretation and definition of a local ecological brand concept are presented. The principles of creating such a brand are systematized, and the advantages of having such a brand are given, including when submitting a grant application and as an element of forming an ecological culture of tourists.

The Synevyr National Nature Park was chosen as the study object, which has a unique and well-recognized geographical object in its composition – the high-mountain lake Synevyr. Around this name, the self-employed population and local businessmen created a local eco-brand, "SynevyrEKO." The paper presents the main advantages of creating a local eco-brand for protected areas compared to obtaining a protection document for a geographical indication. Among the main principles for local brand creating for protected areas and communities territories associated with them, it should be noted that support from both the management of protected areas and the population, as well as voluntary participation in use. Without such cooperation and support, the brand may not become a tool for increasing the territories' popularity; its use may be limited exclusively to the national park or reserve territory. *Key words:* brand, sustainable management, protected areas, ecosystem services, geosystem approach, ecological culture, grant application.

Постановка проблеми. Управління природоохоронними територіями – це складний багатовекторний процес, головна мета якого розробити збалансовану та раціональну стійку еколого-економічну систему. Тотальна заборона на ведення будь-якої господарської діяльності на природоохоронних територіях суттєво обмежує їх розвиток. Баланс між господарською діяльністю, максимально допустимим втручанням в природні процеси та збереженням екосистем для кожної конкретної природоохоронної території має свою унікальність особливості, пов'язану з кліматичними, географічними, культурними та соціо-історичними умовами. Існують різні підходи до формування впізнаності конкретних природоохоронних територій, серед яких останні роки набуває популярності створення локальних екологічних брендів.

Актуальність дослідження. Дослідження необхідності створення локальних екологічних брендів в контексті зв'язку їх з природоохоронними територіями є перспективним напрямком для сталого управління такими територіями. Основні переваги

створення локальних екологічних брендів для природоохоронних територій є малодослідженими в Україні, що зумовлює актуальність даної роботи.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Тема дослідження пов'язана з завданнями сталого розвитку 8.3 «Підвищити рівень зайнятості населення», 15.2 «Сприяння сталому управлінню лісами», 15.4 «Збереження гірських екосистем», які закріплені у Національній доповіді «Цілі сталого розвитку: Україна» [1, с. 62; 1, с. 108].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Впровадження сучасних smart та digital ресурсів при створенні аншлагів як елемента управління природно-заповідними територіями детально досліджено у роботі [2, с. 8]. Особливу увагу автори цього наукового дослідження приділили створенню digital аналогів аншлагів як інструменту підвищення обізнаності громадськості про природно-заповідні території та для можливості швидкого оновлення інформації. Необхідність наукових основ та використання сучасних цифрових інструментів при розробці маршрутів з метою надання рекреаційних та еколого-освітніх послуг природоохоронними зонами досліджено авторами [3, с. 223].

При сталому управлінні природоохоронними територіями важливим аспектом є врахування інтересів всіх зацікавлених осіб. Ключові стейкхолдери природоохоронних територій детально охарактеризовані у роботі [4, с. 22] й визначено, що громадськість є одним з ключових стейкхолдерів у цьому випадку. Серед громадськості як стейкхолдерів автори виділяють різні групи, серед яких є й науковці, й екологічні активісти. Зазначено, що інтереси ключових стейкхолдерів можуть бути діаметрально протилежними, що ускладнює стале управління природоохоронними територіями.

Методичні, методологічні та інші аспекти створення бренду розглядаються фахівцями в сфері економіки та маркетингу переважно з точки зору просування на ринку певної продукції чи послуги [5, с. 3]. Новітні технології маркетингу та їх вплив на управління брендом детально проаналізовані у роботі авторів [6, с. 8]. Необхідність та перспективність створення бренду територій як драйверу їх розвитку проаналізовані автором у [7, с. 3], а проблема просування екологічних брендів та шляхи удосконалення інструментів для поширення таких брендів розглянуті авторами у дослідженні [8, с. 2].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Малодослідженим є питання переваг для ключових стейкхолдерів створення локального бренду природоохоронних територій як елемента їх сталого управління та покращення якості надання екосистемних послуг такими територіями. Також майже не дослідженим є питання екобренду як необхідного елемента при фандрайзингу.

Новизна. У роботі вперше систематизовані принципи та переваги створення локального екобренду природоохоронних територій на основі геосистемного підходу з визначенням унікальних географічних характеристик територій.

Методологічне або загальнонаукове значення. Методологічне значення роботи полягає у формуванні геосистемного підходу до еко-брендування, який базується на ідентифікації унікальних природних характеристик територій, що не мають аналогів, та можуть бути основою для створення географічних брендів екопродукції і послуг. Формулювання необхідних принципів створення локального бренду природоохоронних територій, а також систематизація переваг створення такого бренду на конкретному прикладі може бути використано при формуванні стратегій сталого управління іншими природоохоронними територіями.

Викладення основного матеріалу. Локальний екологічний бренд – це звукові або графічні унікальні образи, які чітко ідентифікують конкретні природоохоронні території, екологічну продукцію або послугу, які пов'язані з такими територіями. Фактично це візитівка території, яка може бути використана для популяризації та привернення уваги, розвитку, сталого управління природоохоронними територіями та засвідчує дотримання певних екологічних імперативів при здійсненні будь-якого типу діяльності на таких територіях. На думку авторів роботи, доцільним є створення перш за все звукового образу локального бренду, тоді як графічний образ може бути доповненням до звукового та не є обов'язковим, хоча й корисним для просування сучасними інструментами маркетингу.

У даній роботі в якості об'єкта дослідження виступає національний природний парк «Синевир» (НПП «Синевир») та створений локальний екобренд «СиневирЕКО». Сама по собі назва НПП однозначно асоціюється з найкрасивішим та найбільшим в Україні гірським озером Синевир. Саме озеро Синевир є головним об'єктом природоохоронної території, який приваблює туристів, проте дана територія може надавати ціли комплекс екосистемних послуг (рис. 1), серед яких в останні роки послуги для соціальної сфери, особливо в розрізі реабілітації ветеранів та осіб, постраждалих від військової агресії росії, набули особливого значення та розвитку.

Належне адміністративне управління та ефективний польовий контроль у поєднанні із високоякісними даними досліджень і наукової роботи, а також оптимізація територіальної структури призводять до сталого управління та використання природних компонентів і ресурсів (наприклад, луків, лісів, лікарських рослин тощо), а також до забезпечення можливостей для сталого туризму, психоемоційної та фізичної реабілітації та ефективної екологічної освіти. Останнє сприяє отриманню відвідувачами та місцевими громадами повноцінного досвіду та пози-

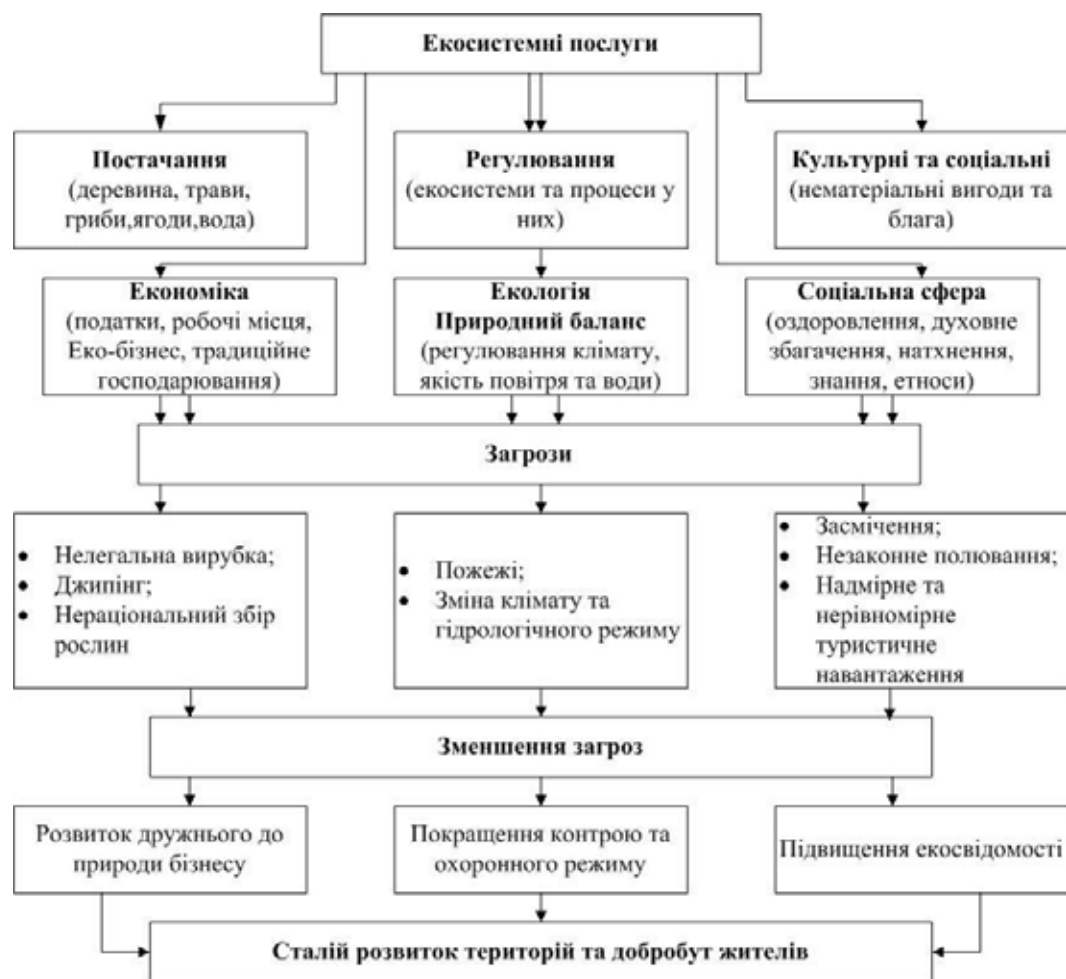


Рис. 1. Екосистемні послуги НПП «Синевир» та загрози, пов'язані з їх наданням

тивного емоційного зв'язку з природоохоронною територією, що додатково сприяє сталому управлінню природоохоронною територією.

Хороші умови для сталого екотуризму, разом з належним адміністративним управлінням, контролем і обґрунтованим управлінням природними ресурсами, створюють громадську підтримку роботи адміністрації. Підвищення обізнаності громадськості та розуміння важливості національного природного парку, в свою чергу, сприяє дотриманню правил, а це полегшує контроль і стає управління природними компонентами (табл. 1, рис. 2).

Зростаючий попит у всьому світі загалом, та в Україні зокрема, на продукцію, яка може бути класифікована як екологічна та/або органічна призводить до посилення конкуренції серед виробників. Конкуренція, в свою чергу, вимагає від виробників пошуку можливості розширення цільової аудиторії своєї продукції та побудову маркетингової стратегії просування продукції з огляду на унікальність та особливість.

Екосистемні послуги постачання та економіки для природоохоронних територій мають свою неповторну унікальність, адже напряду пов'язані з особливостями географічного розташування та кліматичних

умов територій. Наприклад, лікувальні та смакові якості чаїв на основі зборів трав та сушених ягід, вирощених у різних географічних районах Карпат, можуть відрізнятися. Це відкриває перспективу для захисту унікальності продукції чи товару через отримання охоронного документа на географічне зазначення, яке стає об'єктом права інтелектуальної власності. Згідно [9, с. 1] географічне зазначення це найменування місця, що ідентифікує товар, який походить з певного географічного місця та має особливу якість, репутацію чи інші характеристики, зумовлені головним чином цим географічним місцем походження, і хоча б один з етапів виробництва якого (виготовлення (видобування) та/або переробка, та/або приготування) здійснюється на визначеній географічній території. Проте, процедура отримання такого охоронного документу вимагає значних часових та фінансових витрат, а також не може охоплювати: всю територію НПП – оскільки вона занадто велика та має різні кліматичні умови в різних точках; всіх виробників продукції; не стосується надавачів послуг.

У такому випадку створення локального екологічного бренду природоохоронних територій, є альтернативним інструментом для ідентифікації продукції

Таблиця 1

Характеристика ключових компонентів екотуризму НПП «Синевир»

Найменування компоненту екотуризму	Стисла характеристика компоненту екотуризму
Ознайомлення з природою	Подорожі передбачають навчальні моменти, де туристи отримують нові знання про навколишнє середовище
Реабілітація	Під час екскурсій туристам надається можливість спостерігати природні краєвиди, залишитись з ними на якийсь час наодинці, подихати чистим повітрям, яке містить фітонцидні елементи завдяки рослинному біорізноманіттю, що у підсумку сприяє зменшенню психоемоційного навантаження
Збереження природних ресурсів	Туристи та туроператори беруть участь у заходах із захисту екосистем, забезпечуючи екологічно відповідальну поведінку
Повага до місцевого населення	Дотримання місцевих законів, звичаїв та активний внесок у соціально-економічний розвиток регіонів



а



б

Рис. 2. Туристичні ресурси НПП «Синевир»

а – природні рекреаційно-туристичні ресурси; б – культурні рекреаційно-туристичні ресурси

та послуг. Автори роботи виділяють наступні принципи успішного створення локального екобренду, який пов'язаний з природоохоронними територіями:

- 1) наявність унікальних властивостей об'єктів природоохоронного фонду;
- 2) зацікавленість місцевих представників бізнесу, в тому числі самозайнятих осіб;
- 3) зацікавленість керівництва природоохоронних територій в сталому економічному розвитку природоохоронних об'єктів;
- 4) добровільність використання екобренду;
- 5) наявність мінімальних вимог до продукції та послуг, які надають право використання екобренду;
- 6) коротка чітка назва екобренду, яка формує стійку асоціацію з природоохоронними територіями. Якщо назва заповідника, заказника чи природного парку довга та складна, доцільно знайти коротку назву якогось географічного об'єкту в межах природоохоронних територій, при чому така назва може бути як офіційною, так й локальним топонімом;
- 7) можливість трансформування екобренду на англійську мову без втрати асоціації з природоохоронними територіями;
- 8) необхідність розробки критеріїв для заборони використання бренду в разі доведення фактів, які можуть призвести до репутаційних втрат бренду.

На прикладі бренду «СиневирЕКО», який англійською мовою може мати назву «SynevyrECO», можна виділити ключові аспекти локального екобренду – культурні, екологічні та соціальні:

1 – бренд «СиневирЕКО» сприяє збереженню та популяризації культурної спадщини регіону, включаючи традиції, мистецтво та обряди місцевого населення. Це забезпечує культурну ідентичність та автентичність, що є важливими для розвитку туристичного потенціалу та формування позитивного іміджу території;

2 – в основі діяльності бренду лежить принцип екологічної сталості. «СиневирЕКО» акцентує увагу на збереженні природних ресурсів, відновленні екосистем та захисті біорізноманіття. Цей підхід дозволяє не лише зберегти природне середовище, але й забезпечити здорове майбутнє для наступних поколінь;

3 – бренд також прагне до соціальної відповідальності, що включає підтримку місцевих громад та залучення їх до процесу розвитку. «СиневирЕКО» активно співпрацює з місцевими жителями, забезпечуючи їм можливості для економічного зростання та поліпшення якості життя. Цей аспект є ключовим для створення соціальної згуртованості та підвищення добробуту населення.

Основні переваги від створення локального екобренду, який пов'язаний з природоохоронними територіями, можна сформулювати наступним чином:

1) створення стійкої асоціації «продукція/ послуга – природоохоронна територія» у споживачів, туристів, екоактивістів, лідерів суспільних думок;

2) можливість швидкого просування як самого бренду, так й продукції/послуги з його використанням з використанням сучасних маркетингових інструментів, в тому числі у соціальних мережах;

3) підвищення економічної активності у громадах, прилеглих чи пов'язаних з природоохоронними територіями;

4) розширення цільової аудиторії продукції/ послуги;

5) можливість реєстрації торгової марки на певний перелік товарів та послуг, яка співпадає з екобрендом;

6) чітка ідентифікація продукції/ послуги/ території при фандрайзингу

Окремо зупинимось на перевагах наявності локального екобренду природоохоронних територій для процедур фандрайзингу. При пошуку фінансування (фандрайзингу) для реалізації будь-яких проєктів на природоохоронних територіях найчастіше використовується система подачі та отримання гранту. Переваги наявності локального екобренду при подачі грантової заявки та реалізації грантового проєкту такі:

1) індикатор для донорів згуртованості громади навколо природоохоронних територій;

2) формування у донорів переконання, що грантовий проєкт має підтримку місцевих мешканців та бізнесу, оскільки бренд ними вже використовується;

3) можливість залучити грантові кошти на створення графічної інтерпретації екобренду або на його просування сучасними інструментами маркетингу;

4) автоматична популяризація бренду при використанні його у грантовому проєкті.

Головні висновки: Створення та просування локального бренду природоохоронних територій є простим, проте ефективним способом активізації бізнес процесів як на самих таких територіях, так й пов'язаних з ними громадами. В системі сталого управління природоохоронними територіями наявність локального бренду є важливим елементом для підтвердження стійкого зв'язку «економіка-суспільство-охорона довкілля». На відміну від отримання охоронного документу на географічне зазначення, локальний екобренд не вимагає багато фінансових та часових витрат, проте сприяє фактичній ідентифікації та створенню стійких асоціацій між екологічними товарами/послугами та власно природоохоронною територією.

Серед основних принципів формування екобренду природоохоронних територій треба відзначити добровільність участі та ініціативність місцевих мешканців. Наявність локального екобренду може бути корисним при подачі грантових заявок та, в першу чергу, засвідчити зацікавленість малих виробників та самозайнятого населення у сталому розвитку природоохоронних територій та прилеглих до них громад.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження можуть бути використанні іншими громадами та керівництвом НПП, заповідників та заказників для підвищення обізнаності про наявність унікальних особливостей природоохоронних територій в системі сталого їх управління, для активізації бізнес процесів у громаді тощо.

Література

1. Національна доповідь «Цілі сталого розвитку: Україна» / Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/natsionalna-dopovid-csr-Ukrainy.pdf> (дата звернення: 10.12.2024).
2. Бондар О.І., Шевченко Р.Ю. Аудит контенту аншлагів природно-заповідних територій України та їх smart-ресурсів. *Екологічні науки*. 2024. № 6 (57). С. 7-14.
3. Шевченко Р.Ю., Іваненко І.Б., Мовчан М.М., Акименко С.Г. Просторова характеристика еколого-освітніх дестинацій регіонального ландшафтного парку «Трахтемирівський» та природного заповідника «Древлянський». *Екологічні науки*. 2024. № 1(52). Том 1. С. 222-231.
4. Пацева І.Г., Хрутьба Ю.С., Хрутьба О.В. Характеристика та класифікація стейкхолдерів природоохоронних територій. *Екологічні науки*. 2024. № 6 (57). С. 20-24.
5. Самодай, В., Машина, Ю., & Ковтун, Г. Методичні засади створення бренду. *Економіка та суспільство*. 2023. № 47. С. 1-8. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-47-3> (дата звернення 09.04.2025)
6. Кітченко О.М., Лялько К.А. Формування стратегії бренду за допомогою новітніх технологій маркетингу. *Ефективна економіка*. 2024. № 5. С 1-15. URL: <http://doi.org/10.32702/2307-2105.2024.5.81> (дата звернення 09.04.2025)
7. Метла М.В. Територіальний бренд як каталізатор соціально-економічних змін у громадах. *Проблеми сучасних трансформацій. Серія: право, публічне управління та адміністрування*. 2024. № 11. С. 1-6. URL: <https://doi.org/10.54929/2786-5746-2024-11-02-09> (дата звернення 09.04.2025).
8. Чукурна О.П., Кофман В.Ю. Маркетингові інструменти просування екологічних брендів в парадигмі сталого розвитку. *Економіка та суспільство*. 2023. Вип.48. С. 1-9. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-48-45> (дата звернення 09.04.2025).
9. Про правову охорону географічних зазначень: Закон України від 16.06.1999 № 752-XIV. *Відомості Верховної Ради України*. 1999. № 32. Ст. 267.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Андрєєва Олена Юрїївна (Житомир) – доктор біологічних наук, доцент, професор кафедри лісового та садово-паркового господарства, Поліський національний університет;

Андрейчук Юрій Михайлович (Львів) – кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри конструктивної географії і картографії, Львівський національний університет імені Івана Франка;

Бабенко Михайло Григорович (Дніпро) – кандидат сільськогосподарських наук, провідний науковий співробітник, Дніпровський державний аграрно-економічний університет;

Байрачний Володимир Борисович (Харків) – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Барабаш Олена Василівна (Київ) – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний транспортний університет;

Барсукова Олена Анатоліївна (Одеса) – кандидат географічних наук, доцент кафедри агрометеорології та агроєкології, Одеський національний університет імені І.І. Мечникова;

Билина Лілія Вікторівна (Бердичів) – викладач, Бердичівський медичний фаховий коледж;

Блага Анастасія Олександрівна (Одеса) – аспірант кафедри гідрології суші факультету гідрометеорології і екології, Одеський національний університет імені І.І. Мечникова;

Боярчук Олена Дмитрівна (Миргород) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри анатомії, фізіології людини та тварин, Державний заклад «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»;

Бредун Віктор Іванович (Полтава) – кандидат технічних наук, доцент кафедри прикладної екології, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»;

Буднік Ігор Петрович (Малин) – кандидат сільськогосподарських наук, викладач, Малинський фаховий коледж;

Ваньо Назар Олегович (Львів) – аспірант кафедри конструктивної географії і картографії, інженер навчальної лабораторії геоінформаційного моделювання і картографування, Львівський національний університет імені Івана Франка;

Василенко Ольга Володимирівна (Умань) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, завідувач кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Уманський національний університет;

Василенко Ольга Миколаївна (Житомир) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та географії, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

Васільєва Людмила Анатоліївна (Житомир) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри наук про Землю, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Весельський Микола Францович (Житомир) – асистент кафедри лісового та садово-паркового господарства, Поліський національний університет;

Вишневська Аліна Олексіївна (Житомир) – студентка IV курсу природничого факультету, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

Власенко Олег Васильович (Київ) – аспірант кафедри екологічного аудиту та технологій захисту довкілля, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Восвода Лілія Ігорівна (Умань) – кандидат сільськогосподарських наук, старший викладач кафедри захисту і карантину рослин, Уманський національний університет;

Войтків Петро Степанович (Львів) – кандидат географічних наук, доцент кафедри конструктивної географії і картографії, Львівський національний університет імені Івана Франка;

Волошин В'ячеслав Степанович (Київ) – доктор технічних наук, професор кафедри охорони праці та навколишнього середовища, Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний університет»;

Гаврилюк Ірина Володимирівна (Ужгород) – магістр з екології, начальник лабораторії, ТОВ «ТС Комерц»;

Гадаєва Юлія Сергіївна (Харків) – аспірантка кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Галактіонов Микола Сергійович (Полтава) – аспірант кафедри прикладної екології, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»;

Галла-Бобик Світлана Василівна (Ужгород) – кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Державний вищий навчальний заклад «Ужгородський національний університет»;

Геков Максим Віталійович (Харків) – аспірант кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Герасимчук Олена Леонтіївна (Житомир) – кандидат педагогічних наук, доцент, завідувач кафедри наук про Землю, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Голодовська Олена Ярославівна (Львів) – кандидат технічних наук, асистент кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності, Інститут сталого розвитку імені В'ячеслава Чорновола Національного університету «Львівська політехніка»;

Грановський Олексій Едуардович (Миргород) – PhD, доцент, доцент кафедри анатомії, фізіології людини та тварин, Державний заклад «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»;

Гуреля Іван Володимирович (Умань) – аспірант кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Уманський національний університет;

Данилова Тетяна Григорівна (Київ) – кандидат технічних наук, доцент кафедри охорони праці та навколишнього середовища, Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний університет»;

Дмитренко Тетяна Володимирівна (Харків) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерної екології міст, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова;

Долженкова Олена Вікторівна (Дніпро) – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри безпеки життєдіяльності, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

Дригулич Петро Григорович (Київ) – кандидат геологічних наук, менеджер відділу екологічної та радіаційної безпеки, НАК «Нафтогаз України»;

Дригулич Сергій Петрович (Івано-Франківськ) – аспірант кафедри екології, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;

Дунаєвська Оксана Феліксівна (Житомир) – доктор біологічних наук, професор кафедри екології, Поліський національний університет;

Душечкіна Наталія Юрївна (Умань) – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри хімії та екології, Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини;

Єгорова Оксана В'ячеславівна (Черкаси) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Черкаський державний технологічний університет;

Жукова Олена Григорівна (Київ) – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці, Київський національний університет будівництва та архітектури;

Захарко Ярослава Михайлівна (Львів) – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та збалансованого природокористування, Інститут сталого розвитку імені В'ячеслава Чорновола Національного університету «Львівська політехніка»;

Зіньковський Артем Олександрович (Харків) – аспірант кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Зубцова Інна Володимирівна (Суми) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри екології та ботаніки, Сумський національний аграрний університет;

Зудіков Андрій Олександрович (Дніпро) – аспірант кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»;

Зудіков Олександр Борисович (Дніпро) – директор з розвитку, ТОВ «ІнЕкоТех України»;

Іванов Євген Анатолійович (Львів) – доктор географічних наук, професор, завідувач кафедри конструктивної географії і картографії, Львівський національний університет імені Івана Франка;

Іванюк Тетяна Миколаївна (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри лісового та садово-паркового господарства, Поліський національний університет;

Івашенко Тарас Григорович (Київ) – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри екологічного аудиту та технологій захисту довкілля, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Кагукіна Анастасія Максимівна (Житомир) – аспірант кафедри екології та природоохоронних технологій, асистент кафедри наук про Землю, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Калашник Тарас Вікторович (Харків) – аспірант кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Кірейцева Ганна Вікторівна (Житомир) – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій; Державний університет «Житомирська політехніка»;

Климчук Олександра Олександрівна (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри лісового та садово-паркового господарства, Поліський національний університет;

Книш Іван Богданович (Львів) – асистент кафедри екологічної та інженерної геології і гідрогеології, Львівський національний університет імені Івана Франка;

Коваленко Данило Віталійович (Київ) – аспірант кафедри екологічного аудиту та технологій захисту довкілля, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Ковальчук Олег Миколайович (Житомир) – доктор філософії, завідувач вимірювальною лабораторією, Поліський національний університет;

Ковров Олександр Станіславович (Дніпро) – доктор технічних наук, професор, професор кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»;

Ковтунов Олександр Володимирович (Київ) – аспірант кафедри екологічного аудиту та технологій захисту довкілля, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Кособуцька Олена Олександрівна (Миколаїв) – аспірантка кафедри екології та природоохоронних технологій, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова;

Котов Іван Дмитрович (Дніпро) – студент III курсу факультету суспільних наук і міжнародних відносин, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

Кравців Степан Степанович (Львів) – кандидат технічних наук, доцент кафедри конструктивної географії і картографії, Львівський національний університет імені Івана Франка;

Кратюк Олександр Леонідович (Житомир) – доктор біологічних наук, професор, професор кафедри лісового та садово-паркового господарства, Поліський національний університет;

Кривенко Галина Мирославівна (Івано-Франківськ) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій захисту навколишнього середовища та безпеки праці, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;

Кривохижа Євген Михайлович (Тернопіль) – доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, професор кафедри агробіотехнологій, Західноукраїнський національний університет;

Крючкова Валерія Валеріївна (Харків) – асистент кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Кулікова Дар'я Володимирівна (Дніпро) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»;

Курбет Тетяна Володимирівна (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Лагутенко Оксана Тарасівна (Київ) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, вчитель вищої категорії, вчитель біології, Гімназія «Троєщина» II–III ступенів Деснянського району;

Лемішко Світлана Миколаївна (Дніпро) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри агрохімії, Дніпровський державний аграрно-економічний університет;

Лялюк-Вітер Галина Дмитрівна (Івано-Франківськ) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри технологій захисту навколишнього середовища та безпеки праці, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;

Максєв Павло Валентинович (Харків) – аспірант кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Маркіна Людмила Миколаївна (Київ) – доктор технічних наук, професор кафедри екологічного аудиту та технологій захисту довкілля, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Махінько Роман Григорович (Житомир) – аспірант кафедри екології, Поліський національний університет;

Махняк Андрій Ярославович (Львів) – аспірант кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності, Національний університет «Львівська політехніка»;

Мислюк Ольга Олександрівна (Черкаси) – кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Черкаський державний технологічний університет;

Мільович Степан Степанович (Ужгород) – кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Державний вищий навчальний заклад «Ужгородський національний університет»;

Місик Яна Тарасівна (Харків) – магістр кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Мостов'як Світлана Миколаївна (Умань) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри захисту і карантину рослин, Уманський національний університет садівництва;

Наумовська Олена Іванівна (Київ) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, завідувач кафедри екології агросфери та екологічного контролю, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

Нікітченко Богдан Ярославович (Київ) – аспірант кафедри екології агросфери та екологічного контролю, Національний університет біоресурсів і природокористування України; асистент кафедри екології агросфери та екологічного контролю, Національний університет біоресурсів і природокористування України; молодший науковий співробітник, Українська лабораторія якості і безпеки продукції агропромислового комплексу України;

Нікішкін Костянтин Петрович (Львів) – директор, ТОВ «Екоенергоресурси»;

Новожилова Тетяна Борисівна (Харків) – доцент кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Овдіюк Олена Миколаївна (Житомир) – кандидат економічних наук, доцент кафедри екології та географії, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

Орфанова Марія Михайлівна (Івано-Франківськ) – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри екології, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;

Патрушева Лариса Іванівна (Миколаїв) – кандидат географічних наук, доцент кафедри екології, Чорноморський національний університет імені Петра Могили;

Пацева Ірина Григорівна (Житомир) – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Пацюк Марина Костянтинівна (Житомир) – доктор біологічних наук, доцент, доцент кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

Пикало Сергій Володимирович (с. Центральне) – кандидат біологічних наук, старший дослідник, провідний науковий співробітник відділу біотехнології, генетики і фізіології, Миронівський інститут пшениці імені В.М. Ремесла Національної академії аграрних наук України;

Пилипчук Олег Ярославович (Київ) – доктор біологічних наук, професор кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Державний університет інфраструктури та технологій Міністерства охорони здоров'я України;

Пітак Інна Вячеславівна (Харків) – кандидат технічних наук, доцент кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Пічкур Тетяна Валеріївна (Київ) – кандидат історичних наук, доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Державний університет інфраструктури та технологій Міністерства охорони здоров'я України;

Покшевницька Тетяна Василівна (Київ) – аспірантка кафедри екології та технологій захисту навколишнього природного середовища, Національний транспортний університет;

Поліщук Ангеліна Сергіївна (Житомир) – учениця 10 класу, Науковий ліцей Житомирського державного університету імені Івана Франка;

Польовий Анатолій Миколайович (Одеса) – доктор географічних наук, професор кафедри агрометеорології та агроєкології, Одеський національний університет імені І.І. Мечникова;

Попович Олена Романівна (Львів) – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та збалансованого природокористування, Інститут сталого розвитку імені В'ячеслава Чорновола Національного університету «Львівська політехніка»;

Примиська Світлана Олексіївна (Київ) – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри технічних та програмних засобів автоматизації, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Рижов Гліб Олегович (Київ) – аспірант кафедри екологічного аудиту та технологій захисту довкілля, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Рудий Микола Григорович (Харків) – кандидат геолого-мінералогічних наук, начальник, Харківська комплексна геологічна партія;

Рушак Володимир Олегович (Івано-Франківськ) – аспірант кафедри екології, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;

Сабельніков Микита Павлович (Харків) – аспірант кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Сакун Антоніна Олегівна (Харків) – доктор філософії в галузі екології, доцент кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Самойленко Наталія Миколаївна (Харків) – кандидат наук, доцент, професор кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Семчук Ярослав Михайлович (Івано-Франківськ) – доктор технічних наук, професор, професор кафедри технології захисту навколишнього середовища та безпеки праці, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;

Соболєв Сергій Анатолійович (Харків) – аспірант кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Совгіра Світлана Василівна (Умань) – доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри хімії та екології, Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини;

Соколов Юрій Петрович (Харків) – незалежний дослідник;

Сокульський Ігор Миколайович (Житомир) – кандидат ветеринарних наук, доцент кафедри нормальної і патологічної морфології, гігієни та експертизи, Поліський національний університет;

Станкевич-Волосянчук Оксана Ігорівна (Ужгород) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри зоології, Державний вищий навчальний заклад «Ужгородський національний університет»;

Старжинський Павло Станіславович (Київ) – аспірант кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці, Київський національний університет будівництва та архітектури;

Стасевич Сергій Павлович (Львів) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності, Національний університет «Львівська політехніка»;

Тараймович Ірина Володимирівна (Луцьк) – кандидат технічних наук, доцент кафедри харчових технологій та хімії, Луцький національний технічний університет;

Тихомірова 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;

Усенко Андрій Юрійович (Дніпро) – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри енергетичних систем та енергоменеджменту, Український державний університет науки і технологій;

Федонюк Віталіна Володимирівна (Луцьк) – кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Луцький національний технічний університет;

Форись Світлана Миколаївна (Дніпро) – кандидат технічних наук, доцент кафедри енергетичних систем та енергоменеджменту, Український державний університет науки і технологій;

Харитонов Микола Миколайович (Дніпро) – доктор сільськогосподарських наук, головний науковий співробітник, Дніпровський державний аграрно-економічний університет;

Харченко Михайло Володимирович (с. Центральне) – кандидат сільськогосподарських наук, науковий співробітник відділу біотехнології, генетики і фізіології, Миронівський інститут пшениці імені В.М. Ремесла Національної академії аграрних наук України;

Хоменко Олена Михайлівна (Черкаси) – кандидат хімічних наук, доцент, завідувач кафедри екології, Черкаський державний технологічний університет;

Хоменко Світлана Володимирівна (Житомир) – аспірант кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Хрутьба Юлія Сергіївна (Київ) – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри транспортного права та логістики, Національний транспортний університет;

Цап Іштван Юліусович (Ужгород) – аспірант кафедри зоології, Державний вищий навчальний заклад «Ужгородський національний університет»;

Чепурний Ігор Валерійович (Івано-Франківськ) – кандидат геологічних наук, доцент, доцент кафедри геодезії та землеустрою, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;

Чичул Христина-Марія Миколаївна (Івано-Франківськ) – директор магазину Агромат, ТОВ «Новас»;

Чікірякін Кирило Віталійович (Харків) – аспірант кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Чомко Дмитро Федорович (Київ) – кандидат геологічних наук, завідувач кафедри гідрогеології та інженерної геології, Навчально-науковий інститут «Інститут геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

Шадчина Тамара Михайлівна (с. Центральне) – доктор біологічних наук, старший науковий співробітник, головний науковий співробітник лабораторії якості зерна, Миронівський інститут пшениці імені В.М. Ремесла Національної академії аграрних наук України;

Шакіризанова Жаннетта Рашидівна (Одеса) – доктор географічних наук, професор, професор кафедри гідрології суші, Одеський національний університет імені І.І. Мечникова;

Шаріков Сергій Ігорович (Київ) – аспірант кафедри гідрогеології та інженерної геології, Навчально-науковий інститут «Інститут геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

Швець Марина Василівна (Житомир) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри лісового та садово-паркового господарства, Поліський національний університет;

Шевченко Валентина Григорівна (Київ) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Український державний університет імені Михайла Драгоманова;

Шевчук Лариса Миколаївна (Житомир) – доктор біологічних наук, професор, професор кафедри наук про Землю, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Шестопапов Олексій Валерійович (Харків) – кандидат технічних наук, доцент кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Щепотко Софія Юріївна (Київ) – учениця 11 класу, Гімназія «Троєщина» II–III ступенів Деснянського району;

Юрченко Тетяна Василівна (с. Центральне) – кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник, завідувачка відділу біотехнології, генетики і фізіології, Миронівський інститут пшениці імені В.М. Ремесла Національної академії аграрних наук України;

Яковишина Тетяна Федорівна (Дніпро) – доктор технічних наук, професор, професор кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»;

Яковлєв Валерій Володимирович (Харків) – доктор геологічних наук, доцент, професор кафедри інженерної екології міст, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова; професор кафедри фундаментальної і прикладної геології, Харківський державний університет імені В.Н. Каразіна; головний гідрогеолог, ТОВ «Лабораторія якості води «ПЛАЯ»;

Ярмуш Самір Халідович (Одеса) – аспірант кафедри агрометеорології та агроєкології, Одеський національний університет імені І.І. Мечникова.

ЕКОЛОГІЧНІ НАУКИ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

2(59)

- **Екологія і виробництво**
- **Екологія водних ресурсів**
- **Екологія земельних ресурсів**
- **Екологічний моніторинг**
- **Екологічні наслідки воєнних дій**
- **Теоретична екологія**
- **Рослинництво**
- **Біологічна безпека**
- **Загальні проблеми екологічної безпеки**
- **Зміна клімату**
- **Збереження біологічного та ландшафтного різноманіття**
- **Управління відходами**
- **Інноваційні технології**
- **Сталий розвиток**

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. Інглезі, 6/1
Тел. +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua

Підписано до друку 28.04.2025. Формат 64x84/8.

Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman. Цифровий друк.
Ум. друк. арк. 41,85. Тираж 100. Замовлення № 0725/595.
Ціна договірна. Віддруковано з готового оригінал-макета