

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

1(52) Том 1



Видавничий дім
«Гельветика»
2024

Екологічні науки : науково-практичний журнал / Головний редактор Бондар О.І. – К. :
Видавничий дім «Гельветика», 2024. – № 1(52). Т. 1. – 236 с.

Головний редактор: Бондар О.І., доктор біологічних наук

Заступник головного редактора: Нагорнева Н.А.

Науковий редактор: Машков О.А., доктор технічних наук

Відповідальний редактор: Сікачина В.Г.

Редакційна колегія:

Гандзюра В.П., доктор біологічних наук

Єрмаков В.М., доктор технічних наук

Захматов В.Д., доктор технічних наук

Іващенко Т.Г., кандидат технічних наук

Конішук В.В., доктор біологічних наук

Лукаш О.В., доктор біологічних наук

Машков В.А., доктор технічних наук

Михайленко Л.Є., доктор біологічних наук

Нецветов М.В., доктор біологічних наук

Ольшевський С.В., доктор технічних наук

Риженко Н.О., доктор біологічних наук

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

доктор географічних наук, доктор технічних наук

Улицький О.А., доктор геологічних наук

Фінін Г.С., доктор фізико-математичних наук

Шматков Г.Г., доктор біологічних наук

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

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

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

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

ЗМІСТ

| | |
|---|-----|
| ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ВОЄННИХ ДІЙ | 7 |
| Бондар О.І., Гандзюра В.П., Матвієнко М.Г. ВПЛИВ ВОЄННИХ ДІЙ ТА ЇХ НАСЛІДКІВ НА ДОВКІЛЛЯ УКРАЇНИ | 7 |
| Долженкова О.В. НАСЛІДКИ ВПЛИВУ РАКЕТНИХ УДАРІВ НА СТАН АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В УКРАЇНІ | 16 |
| Дунаєвська О.Ф., Сокульський І.М., Мельник Н.В., Піциль А.О. ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ | 22 |
| ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ | 28 |
| Бондар О.І., Артющин Л.М., Машков О.А., Присяжний В.І., Оводенко Т.С. НАУКОВІ ПРОБЛЕМИ СТВОРЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО ЗАСТОСУВАННЯ «РОЮ» БЕЗПЛОТНИХ АПАРАТІВ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ | 28 |
| Давибида Л.І., Карпінський Б.В. МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАФТОГАЗОВОГО КОМПЛЕКСУ НА СТАН ДОВКІЛЛЯ (НА ПРИКЛАДІ КАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ) | 36 |
| Ігнатишин В.В., Малицький Д.В., Іжак Т.Й., Молнар Д.С.С., Рац А.Й., Ігнатишин А.В., Ігнатишин М.Б. ВАРІАЦІЇ АСТРОФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА СУЧАСНІ ГОРИЗОНТАЛЬНІ РУХИ КОРИ В ЗОНІ ОАШСЬКОГО ГЛИБИННОГО РОЗЛОМУ ЗА 2022 РІК | 42 |
| Сагайдак Д.А., Боголюбов В.М. АНАЛІЗ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В МІСТІ КИЄВІ | 51 |
| Сопов Д.С., Кирпичова І.В., Мацай Н.Ю., Чередниченко І.В., Сопова Н.В., Винограденко С.О., Садовий І.І. ВИКОРИСТАННЯ ОНЛАЙН-ІНСТРУМЕНТІВ ГІС ДЛЯ АНАЛІЗУ ПРИРОДНИХ РЕКРЕАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ | 59 |
| Ткачук О.П., Мазур О.В. ПРОБЛЕМИ АДАПТАЦІЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В УКРАЇНІ ДО ВИМОГ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ | 65 |
| Федорчак Е.Р. ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА СТАНУ МІСТА КРИВИЙ РІГ МЕТОДОМ АНАЛІЗУ СТЕРИЛЬНОСТІ ПИЛКУ | 71 |
| ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ | 77 |
| Бондар О.І., Загороднюк К.Ю., Брук-Левінсон Е.Т., Загороднюк Ю.В., Салтанюк В.М. РОЛЬ ТА МІСЦЕ МЕТОДУ МАГНІТНОЇ СЕПАРАЦІЇ В ІНТЕГРОВАНІЙ СИСТЕМІ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ СОЛОДОВЕНЬ ПИВОВАРЕНИХ ЗАВОДІВ (НА ПРИКЛАДІ ПРАТ «ОБОЛОНЬ») | 77 |
| Палій О.В. ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ РУЙНУВАНЬ В УКРАЇНІ: ВИКОРИСТАННЯ ПЕРЕРОБЛЕНОГО МАТЕРІАЛУ ДЛЯ СТАЛОГО БУДІВНИЦТВА | 84 |
| Поліщук М.М., Ролік О.І. ДРОН ДЛЯ ЗБОРУ СМІТТЯ НА ВОДОЙМАХ: ПРОЄКТУВАННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ | 89 |
| Самойленко Н.М., Катенін В.Д. МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ УТВОРЕННЯ ВІДХОДІВ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ В УКРАЇНІ | 95 |
| Сорочинська О.Л., Лук'янова В.В., Ничкалюк Г.В. РЕЦИКЛІНГ – СУЧАСНИЙ ШЛЯХ УПРАВЛІННЯ І ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ | 101 |
| ЕКОЛОГІЯ І ВИРОБНИЦТВО | 108 |
| Bosiuk A., Shestopalov O., Sacun A., Tykhomyrova T., Kulinich S. CORRELATION OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT AND INTENSIFICATION OF WASTEWATER TREATMENT IN THE CONTEXT OF ENSURING ENVIRONMENTAL SAFETY OF MACHINE-BUILDING ENTERPRISES | 108 |
| Давидова І.В., Шомко О.М. ПЕРСПЕКТИВИ РЕКРЕАЦІЙНОЇ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ЗЕМЕЛЬ, ПОРУШЕНИХ ВНАСЛІДОК ВИДОБУТКУ ЛЬМЕНІТУ | 114 |
| Кривенко Г.М. ОЦІНКА ВПЛИВУ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН НА АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ ПІД ЧАС БУРІННЯ СВЕРДЛОВИН | 120 |

| | |
|---|------------|
| Лопушанська М.Р., Іванов Є.А., Вижда А.М., Циганок Л.В. МЕТОДИКА ОЦІНКИ ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ ДЛЯ ОБ'ЄКТІВ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ (НА ПРИКЛАДІ ОБ'ЄКТІВ ВІТРОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ У ЛЬВІВСЬКІЙ ОБЛАСТІ)..... | 126 |
| Навольнєв І.Ю., Максимова Н.М. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ «ЗЕЛЕНОЇ» МЕТАЛУРГІЇ В КОНТЕКСТІ МІНІМІЗАЦІЇ ВПЛИВУ НА АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ..... | 134 |
| Салій І.В., Кияшко В.Т., Орехова О.В., Павленко О.І. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ШАХТНОЇ ВОДИ КРИВОРІЗЬКОГО ЗАЛІЗОРУДНОГО БАСЕЙНУ..... | 139 |
| Тараймович І.В., Демчук Л.І., Тихонова О.М. ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИРОБНИЦТВА ТА СПОЖИВАННЯ: ВПЛИВ НА ЗАБРУДНЕННЯ ТА ВИЧЕРПАННЯ ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ..... | 145 |
| Ткачук О.П., Врадій О.І. ВПЛИВ СВИНОКОМПЛЕКСІВ НА ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ..... | 151 |
| Федонюк В.В., Панькевич С.Г., Федонюк М.А. ВІТРОВИЙ РЕЖИМ ТА ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ЛУЦЬКА..... | 156 |
| Чернова О.Т., Кривенко Г.М. ЧИННИКИ НЕБЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ЗБЕРІГАННЯ СКРАПЛЕНИХ ПРИРОДНИХ ГАЗІВ У РЕЗЕРВУАРАХ..... | 162 |
| ЗЕМЕЛЬНІ РЕСУРСИ І ҐРУНТИ..... | 166 |
| Білоус М.А., Микитась Д.О., Гунько С.О., Рець Ю.М., Громова І.Ю., Куракова Н.О. ДОСЛІДЖЕННЯ ВЕРТИКАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ҐРУНТУ ЯК ЕЛЕМЕНТУ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ВІД РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ..... | 166 |
| Войтків П.С., Іванов Є.А. ЕКОЛОГІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ ЧЕРВОНОГРАДСЬКОГО РАЙОНУ ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ..... | 173 |
| ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ..... | 179 |
| Василенко О.В., Балабак О.А., Балабак А.В., Гурський І.М., Шевченко Н.О. ДОСЛІДЖЕННЯ ЖИТТЄВОСТІ НАСАДЖЕНЬ УРБОЕКОСИСТЕМ (НА ПРИКЛАДІ М. УМАНЬ)..... | 179 |
| Горєлов О.М. ТАКСОНОМІЧНИЙ СКЛАД І ВІТАЛІТЕТ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН В УМОВАХ УРБАНІЗОВАНОГО СЕРЕДОВИЩА (НА ПРИКЛАДІ КИЄВА)..... | 184 |
| Ковтун Т.І. ПОПЕРЕДНІ РЕЗУЛЬТАТИ ВИВЧЕННЯ ФАУНИ NOSTUOIDEA (LEPIDOPTERA) УРБОЕКОСИСТЕМИ М. ЖИТОМИР..... | 192 |
| Красовський В.В., Козлов А.В., Черняк Т.В., Дяченко-Богун М.М., Шкура Т.В., Григоренко А.В. ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ІНТРОДУКЦІЇ СУБТРОПІЧНИХ ПЛЮДОВИХ КУЛЬТУР У ПРИДНІПРОВСЬКИХ КРАЯХ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ..... | 197 |
| ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНИЙ ФОНД УКРАЇНИ..... | 204 |
| Бондар К.О., Волошина Н.О., Місецька Л.О., Місецький А.С., Шевченко В.Г. СУЧАСНИЙ СТАН СМАРАГДОВОЇ МЕРЕЖІ КИЇВЩИНИ..... | 204 |
| Калашнікова Л.В., Бойко Н.С., Силенко О.В., Солошенко В.С., Дорошенко Ю.В. ВПЛИВ КЛІМАТИЧНИХ УМОВ НА СЕЗОННИЙ РОЗВИТОК РАРИТЕТНИХ ВИДІВ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН ДЕНДРОПАРКУ «ОЛЕКСАНДРІЯ» НА ПОЧАТКУ ХХІ СТОЛІТТЯ..... | 211 |
| Шевченко Р.Ю., Іваненко І.Б., Мовчан М.М., Акименко С.Г. ПРОСТОРОВА ХАРАКТЕРИСТИКА ЕКОЛОГО-ОСВІТНІХ ДЕСТИНАЦІЙ РЕГІОНАЛЬНОГО ЛАНДШАФТНОГО ПАРКУ «ГРАХТЕМИРІВСЬКИЙ» ТА ПРИРОДНОГО ЗАПОВІДНИКА «ДРЕВЛЯНСЬКИЙ»..... | 222 |
| ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ..... | 232 |

CONTENTS

| | |
|---|-----|
| ENVIRONMENTAL IMPLICATION OF MILITARY ACTIONS | 7 |
| Bondar O., Gandziura V., Matviienko M. THE IMPACT OF MILITARY ACTIONS AND ITS CONSEQUENCES ON THE ENVIRONMENT OF UKRAINE..... | 7 |
| Dolzhenkova O. THE CONSEQUENCES OF THE INFLUENCE OF MISSILE STRIKES ON THE ATMOSPHERIC AIR CONDITION IN UKRAINE..... | 16 |
| Dunaievskia O., Sokulskyi I., Melnyk N., Pitsil A. ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF AGRICULTURE UNDER MARTIAL LAW..... | 22 |
| ENVIRONMENTAL MONITORING | 28 |
| Bondar O., Artyushin L., Mashkov O., Prysiazhnyi V., Ovodenko T. SCIENTIFIC PROBLEMS OF CREATION AND APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO ENSURE THE EFFECTIVE APPLICATION OF A SWARM OF UNMANNED DEVICES FOR ENVIRONMENTAL MONITORING..... | 28 |
| Davybida L., Karpinskyi B. POTENTIAL FOR USING REMOTE SENSING DATA TO STUDY THE IMPACT OF THE OIL AND GAS SECTOR ON THE ENVIRONMENT (THE CASE OF THE CARPATHIAN REGION).... | 36 |
| Ignatyshyn V., Malytskyi D., Izhak T., Molnar D.S., Rats A., Ignatyshyn M., Ignatyshyn A. VARIATIONS OF ASTROPHYSICAL PARAMETERS AND CURRENT HORIZONTAL MOVEMENTS OF THE CRUST IN THE ZONE OF THE OASHA DEEP FAULT FOR THE YEAR 2022..... | 42 |
| Sagaidak D., Bogoliubov V. ANALYSIS OF ATMOSPHERIC AIR MONITORING SYSTEMS IN THE CITY OF KYIV..... | 51 |
| Sopov D., Kyrpychova I., Matsai N., Cherednychenko I., Sopova N., Vynohradenko S., Sadovyy I. USE OF ONLINE GIS TOOLS FOR THE ANALYSIS OF NATURAL RECREATION RESOURCES..... | 59 |
| Tkachuk O., Mazur O. PROBLEMS OF ADAPTING THE ATMOSPHERIC AIR MONITORING SYSTEM IN UKRAINE TO THE REQUIREMENTS OF THE EUROPEAN UNION..... | 65 |
| Fedorchak E. ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF THE STATE OF THE CITY OF KRYVVI RIH USING THE ANALYSIS OF POLLEN STERILITY..... | 71 |
| WASTE MANAGEMENT | 77 |
| Bondar O., Zahorodniuk K., Brook-Levinson E., Zahorodniuk Yu., Saltaniuk V. MAGNETIC SEPARATION METHOD ROLE AND PLACE IN NTEGRATED SYSTEM OF BREWERIES' MALT HOUSES WASTES' UTILIZATION (ON PJC "OBOLON" EXAMPLE)..... | 77 |
| Palii O. ENVIRONMENTAL ASPECTS OF UTILIZATION OF DESTRUCTION WASTE IN UKRAINE: USING RECYCLED MATERIAL FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTION..... | 84 |
| Polishchuk M., Rolik O. DRONE FOR GARBAGE COLLECTION AT WATER RESERVOIRS: DESIGN AND MODELING..... | 89 |
| Samoilenko N., Katenin V. MODELING THE DYNAMICS OF SOLAR PANEL WASTE FORMATION IN UKRAINE..... | 95 |
| Sorochynska O., Lukianova V., Nychkalyuk G. RECYCLING IS THE MODERN WAY WASTE MANAGEMENT AND TREATMENT..... | 101 |
| ECOLOGY AND PRODUCTION | 108 |
| Bosiuk A., Shestopalov O., Sacun A., Tykhomyrova T., Kulinich S. CORRELATION OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT AND INTENSIFICATION OF WASTEWATER TREATMENT IN THE CONTEXT OF ENSURING ENVIRONMENTAL SAFETY OF MACHINE-BUILDING ENTERPRISES..... | 108 |
| Davydova I., Shomko O. PROSPECTS OF RECREATION RECONSTRUCTION OF LANDS DISTURBED AS A RESULT OF ILMENITE MINING..... | 114 |
| Kryvenko G. ASSESSMENT OF THE EFFECT OF POLLUTANTS EMISSIONS ON ATMOSPHERIC AIR DURING WELL DRILLING..... | 120 |

| | |
|---|------------|
| Lopushanska M., Ivanov Ye., Vyzhva A., Tsyganok L. METHODOLOGY FOR ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT FOR RENEWABLE ENERGY OBJECTS (ON THE EXAMPLE OF WIND ENERGY PROJECTS IN THE LVIV REGION)..... | 126 |
| Navolnyev I., Maksymova N. ANALYSIS OF CURRENT TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF THE METALLURGICAL INDUSTRY IN THE CONTEXT OF MINIMIZING THE IMPACT ON THE AIR..... | 134 |
| Salii I., Kyiashko V., Oriekhova O., Pavlenko O. EXPERIMENTAL STUDIES OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF MINE WATER OF THE KRYVYI RIH IRON ORE BASIN..... | 139 |
| Taraimovych I., Demchuk L., Tykhonova O. ENVIRONMENTAL ASPECTS OF PRODUCTION AND CONSUMPTION: IMPACT ON POLLUTION AND DEPLETION OF NATURAL RESOURCES..... | 145 |
| Tkachuk O., Vradiy O. INFLUENCE OF PORK COMPLEXES ON POLLUTION ATMOSPHERIC AIR..... | 151 |
| Fedoniuk V., Pankevich S., Fedoniuk M. WIND REGIME AND WIND ENERGY POTENTIAL OF LUTSK..... | 156 |
| Chernova O., Kryvenko G. DANGER FACTORS DURING STORAGE OF LIQUEFIED NATURAL GASES IN TANKS..... | 162 |
| LAND RESOURCES AND SOILS..... | 166 |
| Bilous M., Mykytas D., Hunko S., Rets Yu., Gromova I., Kurakova N. STUDY OF THE VERTICAL STRUCTURE OF SOILS AS AN ELEMENT OF THE ENVIRONMENTAL PROTECTION SYSTEM AGAINST RADIATION CONTAMINATION..... | 166 |
| Voitkiv P., Ivanov Ye. ECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE LAND RESOURCES CONDITION OF CHERVONOHRAD DISTRICT OF LVIV REGION..... | 173 |
| PRESERVATION OF BIOLOGICAL AND LANDSCAPE DIVERSITY..... | 179 |
| Vasylenko O., Balabak O., Balabak A., Hurskyi I., Shevchenko N. STUDY OF VITALITY OF URBO-ECOSYSTEM PLANTS (ON THE EXAMPLE OF UMAN CITY)..... | 179 |
| Horielov O. TAXONOMIC COMPOSITION AND VITALITY OF WOODY PLANTS IN THE CONDITIONS OF THE URBANIZED ENVIRONMENT (ON THE EXAMPLE OF KYIV)..... | 184 |
| Kovtun T. PRELIMINARY RESULTS OF FAUNA NOCTUOIDEA (LEPIDOPTERA) STUDY OF ZHYTOMYR'S URBAN ECOSYSTEM..... | 192 |
| Krasovsky V., Kozlov A., Cherniak T., Dyachenko-Bogun M., Shkura T., Hryhorenko A. ENVIRONMENTAL ASPECTS OF THE INTRODUCTION OF SUBTROPICAL FRUIT CROPS IN THE DNIPROVIAN REGIONS OF THE FOREST STEPPE OF UKRAINE..... | 197 |
| NATURE RESERVE FUND OF UKRAINE..... | 204 |
| Bondar K., Voloshyna N., Misetska L., Misetskyi A., Shevchenko V. CURRENT STATE OF THE EMERALD NETWORK OF KYIV..... | 204 |
| Kalashnikova L., Boiko N., Sylenko O., Soloshenko V., Doroshenko Yu. THE INFLUENCE OF CLIMATIC CONDITIONS ON THE SEASONAL DEVELOPMENT OF RARE SPECIES OF WOODY PLANTS IN THE DENDROLOGICAL PARK "OLEXANDRIA" AT THE BEGINNING OF THE 21ST CENTURY..... | 211 |
| Shevchenko R., Ivanenko I., Movchan M., Akymenko S. SPATIAL CHARACTERISTICS OF THE ENVIRONMENTAL AND EDUCATIONAL DESTINATIONS OF THE REGIONAL LANDSCAPE PARK "TRAKHTEMYRIV" AND NATURE RESERVE "DREVLYANSKY"..... | 222 |
| AUTHORS' CREDENTIALS..... | 232 |

ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ВОЄННИХ ДІЙ

УДК 502: 504: 574

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.1.1>

ВПЛИВ ВОЄННИХ ДІЙ ТА ЇХ НАСЛІДКІВ НА ДОВКІЛЛЯ УКРАЇНИ

Бондар О.І., Гандзюра В.П., Матвієнко М.Г.

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

Наголошено, що одна із загрозливих небезпек російської агресії проти України – це забруднення довкілля внаслідок ушкодження об'єктів інфраструктури. Здійснені дослідження промислових об'єктів у різних регіонах України з фактичної та потенційної екологічної небезпеки, викликані руйнуванням чи порушенням їхньої діяльності. На сьогодні, в умовах воєнного стану, екологічно найнебезпечніші – атомні електростанції, гідроелектростанції, численні ТЕС і ТЕЦ, підприємства хімічної та металургійної промисловості, шахти, нафтопереробні заводи, сховища нафтопродуктів. Так, зафіксовані 1220 випадків вимушених призупинень у роботі, а також пошкодження на 629 промислових підприємствах та об'єктах критичної інфраструктури. Зазначено, що війна істотно впливає на різні компоненти довкілля, зокрема: повітря, ґрунт, водні ресурси, рослинний і тваринний світи. Скиди у водні об'єкти нафтопродуктів, продуктів горіння, залишків токсичних вибухових речовин, ракетного пального, затоплення техніки та боєкомплектів тощо, складає значну частку забруднення вод, а усунення шкідливих наслідків може тривати роками. Базова якість повітря в Україні визнана однією з найгірших у Європі. Індекс якості повітря засвідчив, що кількість забруднюючих речовин на сьогодні в 27,8 рази перевищує щорічні рекомендації ВООЗ. З іншого боку, досить непросто прогнозувати зміни якості повітря під час поточної військової активності з огляду на неповноту даних. За попередніми оцінками 188 000 квадратних кілометрів ґрунтів під загрозою забруднення. Високий ступінь ушкоджень та зараження на 105 000 квадратних кілометрах території, що неподалік лінії фронту. Отже, з метою ефективного використання земель у майбутньому необхідне проведення їх рекультиваци, розмінування та утилізації боєприпасів, що не розірвалися. Окрім забруднення земель, бойові дії на території України завдали значної шкоди ландшафтам природно-заповідного фонду. В зоні бойових дій знаходяться 393 заповідники та об'єкти Смарагдової мережі. Російсько-українська війна на терені України практично унеможливила здійснювати активну природоохоронну діяльність, а також істотно впливає на глобальні зміни клімату. Зазначається, що воєнні дії на терені України та їх шкідливий вплив на навколишнє природне середовище можуть мати як короткострокові, так і довгострокові наслідки. *Ключові слова:* довкілля, воєнні дії, ґрунти, повітря, водні ресурси, природо-заповідний фонд, кліматичні зміни.

The impact of military actions and its consequences on the environment of Ukraine. Bondar O., Gandziura V., Matvienko M.

It was emphasized that one of the threatening dangers of Russian aggression against Ukraine is environmental pollution due to damage to infrastructure facilities. Investigations of industrial facilities in different regions of Ukraine for actual and potential environmental hazards caused by the destruction or disruption of their activities have been carried out. Today, in the conditions of martial law, the most ecologically dangerous are nuclear power plants, hydroelectric plants, numerous thermal power plants and thermal power plants, enterprises of the chemical and metallurgical industry, mines, oil refineries, oil product storages. Thus, 1,220 cases of forced work stoppages were recorded, as well as damage to 629 industrial enterprises and critical infrastructure facilities. It is noted that the war significantly affects various components of the environment, in particular: air, soil, water resources, flora and fauna. Discharges of petroleum products, combustion products, residues of toxic explosives, rocket fuel, flooding of equipment and ammunition, etc., into water bodies constitute a significant part of water pollution, and the elimination of harmful effects can last for years. Basic air quality in Ukraine is recognized as one of the worst in Europe. The air quality index testified that the amount of pollutants currently exceeds the annual WHO recommendations by 27.8 times. On the other hand, it is quite difficult to predict changes in air quality during current military activity, given the incompleteness of the data. According to preliminary estimates, 188,000 square kilometers of soil are at risk of contamination. High degree of damage and infection in 105,000 square kilometers of territory near the front line. Therefore, for the purpose of more efficient use of lands in the future, it is necessary to carry out their reclamation, demining and disposal of unexploded ammunition. In addition to land pollution, military actions on the territory of Ukraine caused significant damage to the landscapes of the nature reserve fund. There are 393 nature reserves and objects of the Emerald Network in the war zone. The Russian-Ukrainian war on the territory of Ukraine made it practically impossible to carry out active environmental protection activities, and it also significantly affects global climate changes. It is noted that military actions on the territory of Ukraine and their harmful impact on the natural environment can have both short-term and long-term consequences. *Key words:* environment, military operations, soil, air, water resources, nature reserve fund, climate change.

Постановка проблеми. Війна, військові дії мають загрозливі негативні наслідки для життєдіяльності людей та навколишнього природного середовища [18]. Цілеспрямоване знищення природних ресурсів, зокрема, лісів, орних земель та водних ресурсів нині

залишається актуальною проблемою. Окрім безпосереднього впливу на населення України, бойові дії матимуть соціальні, економічні та екологічні наслідки. Для відновлення ландшафту та природних ресурсів країни знадобляться десятиліття [24].

Також військові дії можуть безпосередньо перешкодити зусиллям щодо зменшення тиску на зміни клімату, вирішувати питання цілей сталого розвитку (ЦСР), збереження та захисту біорізноманіття, а також посилювати контроль за забрудненнями на місцевому та глобальному рівнях [32]. У цьому аспекті варто зауважити, що захист природного середовища – це вагома складова Національної системи стійкості, що, в свою чергу, є одним із пріоритетних чинників національної безпеки України на сучасному етапі. Указом Президента України № 479/2021 від 27 вересня 2021 року введено в дію рішення Ради національної безпеки і оборони України від 20 серпня 2021 року «Про запровадження національної системи стійкості» та затверджено Концепцію забезпечення національної системи стійкості [1].

Актуальність дослідження. Навколишнє середовище в сучасному світі знаходиться під впливом постійного антропогенного навантаження, що істотно позначається на багатьох процесах як у природі, так і стані здоров'я населення. Науковці світу нині у пошуку ефективних шляхів зниження антропогенного навантаження та забруднення довкілля, пропонуючи альтернативні джерела енергії, прийнятні варіанти утилізації відходів тощо. В умовах воєнного стану забруднення навколишнього середовища істотно зростає. «Загальна сума збитків довкіллю України вже перевищує 2,2 трильйони гривень. Понад половину цих збитків це забруднення атмосферного повітря, земельних і водних ресурсів. Першим викликом на сьогодні є розмінування територій. Ми маємо на сьогодні понад 172 тисячі квадратних кілометри потенційно замінованих територій», – заявив Руслан Стрілець, Міністр Захисту довкілля та природних ресурсів України 31 січня 2024 р. на Міжнародному довіковому форумі «United for Nature. Agenda for Ukraine». Отже, необхідно вивчити усі можливі ризики забруднення різних компонентів довкілля України та окреслити шляхи зменшення небезпечних викидів у довкілля та методи відновлення стану навколишнього середовища.

Викладення основного матеріалу. Одна з істотних небезпек воєнних дій у тому, що відбувається забруднення довкілля внаслідок ушкоджень, руйнації промислових підприємств та об'єктів інфраструктури, порушується електро-, водо-, газопостачання, що негативно позначається на технологічних процесах на відповідних виробництвах, часто-густо призводячи до порушення ритму діяльності. Наразі існує особливо високий ризик забруднення довкілля в східних та південних регіонах України [33].

Якщо в цілому взяти до уваги стан промислових підприємств України, що були пошкоджені або виведені з ладу внаслідок бойових дій, серед них варто означити найбільш екологічно небезпечні: Чорнобильська, Запорізька, Хмельницька, Рівненська та Південноукраїнська АЕС, Київська,

Дніпровська, Кременчуцька, Дністровська та Каховська ГЕС, численні ТЕС і ТЕЦ, хімічні та металургійні підприємства, шахти, нафтопереробні заводи, сховища нафтопродуктів тощо [24].

Війна істотно вплинула на різні компоненти довкілля: повітря, ґрунти і ландшафти, поверхневі та ґрунтові води, рослинний і тваринний світ тощо.

Забруднення води та її доступність. Порушення системи водопостачання було важливою стратегією війни в усі часи протягом століть. Використання зброї (хімічної, біологічної чи ядерної) забруднює водні об'єкти та джерела водопостачання, що є небезпечним як для життєдіяльності людини, так і для стану екосистеми [10].

З 24 лютого 2022 року неодноразово виникали порушення в роботі гідротехнічних споруд, систем водопостачання та водовідведення, у тому числі з аварійними скидами забруднюючих речовин у водні об'єкти. За даними системи Ecodozor.org, станом на 1 березня 2023 року, внаслідок російської агресії проти України було зафіксовано 1220 випадків завданих ушкоджень щонайменше 629 промисловим підприємствам та об'єктам критичної інфраструктури.

Східний регіон України досить індустріалізований. Там розташована значна кількість шахт, нафтопереробних заводів, резервуарів для зберігання, нафтосховищ, газопроводів та інших промислових об'єктів. Війна вносить корективи в їх діяльність, зокрема, завдаючи руйнації критичній інфраструктурі. Так, вимкнення електроенергії на гірничодобувних підприємствах завдає шкоди системі водовідведення шахтних вод, трапляються випадки повного затоплення шахт, що, в свою чергу, призводить до забруднення поверхневих вод, підтоплення та забруднення навколишньої території та осідання земної поверхні [7].

Токсиканти з великою ймовірністю просочуватимуться у водоносний горизонт ґрунтових вод. Села навколо шахт покладаються на підземні води для пиття. У сотнях водойм України зберігається близько 6 мільярдів тон рідких відходів, під час їх пошкодження токсичні матеріали забруднюють річки та струмки, що знаходяться нижче за течією. Проте на сьогодні важко оцінити масштаб шкоди, завданої довкіллю [39]. Дефіцит води та погіршення санітарних умов нині уже очевидні в багатьох місцях, що призводить до різноманітних захворювань, що передаються продуктами харчування та водою [25; 47].

Наразі є достатньо свідчень про цілеспрямовані впливи воєнних та супутніх дій на водні ресурси України. Вони висвітлені в звітах міжнародних організацій, наукових працях. Водночас дані щодо впливу воєнних дій на гідро-екосистеми вкрай обмежені. В Україні – понад 70 тисяч річок та більше ніж 20 тисяч озер, що розташовані у дев'яти районах річкових басейнів у межах чотирьох екорегіонів [3]. Внаслідок воєнних дій найбільше постраждали райони річкових басейнів Дніпра, Дону (Сіверського Донця) та річок Приазов'я.

На річках України, станом на 2021 р. [2], було близько 50,5 тис гребель, разом вони утворюють 1103 водосховища і 49 444 ставків. Загальна протяжність дамб протипаводкового захисту становила близько 3500 км, при цьому загальна площа територій, що мають потенційно значні ризики затоплення, в Україні близько 31 тис км² [4].

Так, у м. Житомирі 2.04.2022 р. підірвав греблі Оскільського водосховища призвів до затоплення низки населених пунктів і повного спуску водосховища. За оцінками екологів [5] загальна біомаса моллюсків, що загинули, становить близько 24 тис. т. А збитки, завдані рибному господарству, оцінюються в 3,5 млн грн [6].

Забруднення водних об'єктів, викликані потраплянням у воду нафтопродуктів, продуктів горіння, залишків токсичних вибухових речовин, ракетного пального, затопленням техніки та боскомплектів складають значну частку забруднення поверхневих вод і є джерелом хімічного забруднення пролонгованої дії, вплив якого може тривати десятки років [19].

Масштабні проблеми забруднення спричиняють руйнуванні та зупинка роботи очисних споруд. Існуючі прецеденти судових рішень Міжнародного суду ООН щодо відшкодування екологічних збитків, нанесених в результаті воєнних дій, досить часто стосуються саме недоотримання екологічних послуг, що надаються водними екосистемами. Повніший обсяг економічних збитків має рахуватися як різниця між коштами, що потрібні для реалізації досягнення екологічного та хімічного стану поверхневих вод не нижче класу «добрий» до війни та затратами на досягнення таких цілей вже після повного закінчення бойових дій [9].

Забруднення повітря. Якщо оцінювати викиди парникових газів, то Міністерство оборони – одне із найпотужніших їх джерел [45]. Зазначається, що бойові дії негативно впливають на якість повітря. Масштабне переміщення військової техніки, включаючи танки, артилерію, бронетехніку та вантажівки, вивільняє значну кількість пилу та викидів на основі викопного палива, що погіршує якість місцевого повітря [10]. Крім того, використання хімічної та біологічної зброї спричиняє серйозне забруднення повітря [28; 37]. Хімічні сполуки, що зазвичай використовуються у вибухових речовинах, – 2,4,6-тринітро-толуол, 1,3,5-тринітропергідро-1,3,5-тріазин, октагідро 1,3,5,7-тетранітро-1,3,5,7 -тетразоцин, 2,4- і 2,6-динітротолуол, нітрогліцерин, нітрогуанідин, 2,4-динітроанізол, 3-нітро-1,2,4-тріазол-5-он і перхлорат амонію. Деякі сполуки є токсичними для людини та навколишнього середовища [38].

Під час війни військові та промислові інфраструктури, такі як склади боеприпасів, склади палива, автозаправні станції, хімічні підприємства та нафтопереробні заводи, були пошкоджені, що спричинило масштабну пожежу та вибухи і призвело до викиду токсичних газів у величезних кількостях [39; 46].

Базова якість повітря в Україні є однією з найгірших у Європі [31]. Сценарій визначення якості повітря під час поточної військової активності є досить складним, оскільки цілями стає майже все – від військової інфраструктури до промисловості та житлових будинків [32].

Вибух викидає в повітря широкий спектр матеріалів, у тому числі шкідливих, зокрема, промислові хімікати, азбест і паливо [42]. Населення країни уражається складними формами забруднення повітря, зокрема, свинцем та ртуттю. У короткостроковій перспективі українці можуть частіше відчувати загострення астми, а люди похилого віку хворіють на пневмонію та гострий бронхіт, тоді як у довгостроковій перспективі особи, які зазнали впливу забрудненого повітря, можуть мати коротшу тривалість життя або бути схильними до різних видів раку [8]. Наприклад, у Києві звіт про індекс якості повітря від 19 березня 2023 року засвідчив, що кількість забруднюючих речовин у 27,8 рази перевищує щорічні рекомендації ВООЗ щодо якості повітря [23].

Крім того, під час бойових дій залишається ймовірність витоку радіації з ядерних об'єктів [25]. Україна має чотири атомні електростанції із сумарною кількістю – 15 реакторів. Були повідомлення щодо бойові зіткнення та обстріли на Запорізькій АЕС, найбільшій діючій атомній електростанції в Європі. Чорнобильська АЕС в Україні була оточена масовими пожежами. За супутниковими знімками Європейського космічного агентства було видно щонайменше 7 випадків загорань у зоні відчуження заводу. Військові операції неподалік атомних електростанцій можуть потенційно спричинити масове радіоактивне забруднення величезних регіонів не лише в Україні, а й далеко за її межами [7].

За оцінками KSE, через бойові дії в Україні в повітря потрапило 5,5 млн тон забруднюючих речовин (рис. 1).

На сьогодні збитки від викидів забруднюючих речовин у повітря становлять близько 25,8 мільярда доларів (таблиця 1), з яких, зокрема: 15 мільярдів доларів – від лісових пожеж, 10 мільярдів доларів – від трав'яних пожеж і 752 мільйони доларів – від спалювання нафти та нафтопродуктів. Окрім того, під час відновлення зруйнованої житлово-комунальної та транспортної галузей та інших інфраструктурних об'єктів України здійснюватимуться додаткові викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря, а отже, будуть й додаткові затрати на їх усунення. При цьому збитки від викидів в атмосферу мають відшкодовуватися в розмірах, що дозволять ужити еквівалентних заходів з оздоровлення навколишнього середовища, а також заходи щодо запобігання та адаптації до зміни клімату [34].

Грунти. Війна безпосередньо впливає на стан ґрунтів різними способами. Порушення ґрунту, пов'язані з військовим конфліктом, передусім поділяються на три категорії: фізичні, хімічні та біологічні [11].

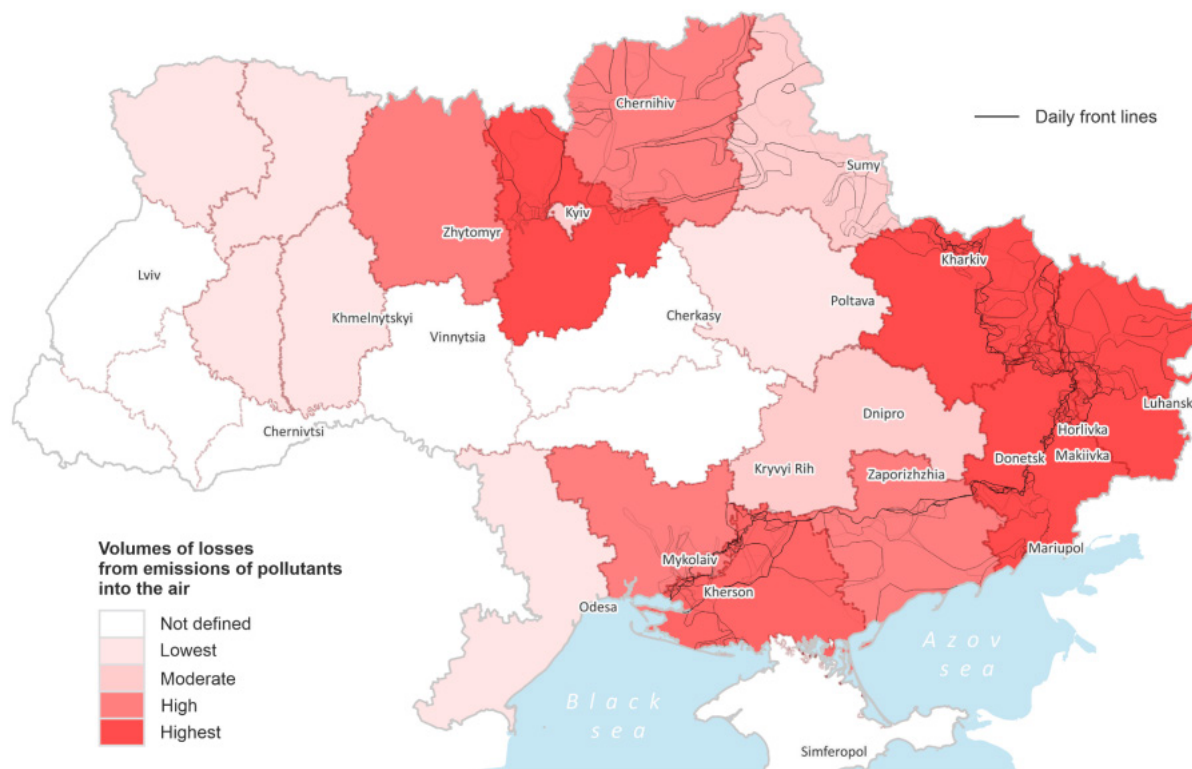


Рис. 1. Розмір збитків від викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, завданих військовими діями (Kyiv School of Economics, Zoі Environment Network)

Викиди забруднюючих речовин в атмосферу

| Забруднююча речовина | Викиди, т | Збитки, млн дол |
|--|-----------|-----------------|
| Оксиди азоту | 76857 | 2651,07 |
| Оксид вуглецю | 2145133 | 1849,76 |
| Неметанові леткі органічні сполуки | 197765 | 255,73 |
| Оксиди сірки | 16168 | 559,37 |
| Пил | 1391182 | 1799,09 |
| Речовини у вигляді зважених твердих частинок розміром понад 2,5 мікрон і менше 10 мікрон | 900197 | 1164,15 |
| Речовини у вигляді зважених твердих частинок 2,5 мкм і менше | 736535 | 16855,06 |
| Свинець | 0,470 | 1,409 |
| Кадмій | 0,020 | 0,011 |
| Ртуть | 2,347 | 7,044 |
| Миш'як | 0,047 | 0,004 |
| Хром | 7,824 | 14,87 |
| Мідь | 5,165 | 0,479 |
| Нікель | 0,203 | 0,465 |
| Селен | 0,047 | 0,023 |
| Цинк | 16,43 | 0,170 |
| Поліхлоровані дибензо-пара-діоксини та дибензофурані | 4,872 | 439,84 |
| Бенз(а)пірен | 2,126 | 191,77 |
| Загалом | 5 463 879 | 25 790 |

Таблиця 1

Обстріли та бомбардування призводять до утворення кратерів, ерозії ґрунту та забруднення – через небезпечні відкладення. Постійна присутність вибухонебезпечних предметів та інших військових відходів моделі землекористування змінюються з часом [28]. Стан іригаційних споруд впливає на біоемність орних земель, родючість ґрунту [30]. Якщо рослинність ушкоджується, ґрунт втрачає свій захисний покрив і зрештою стає сухим і непридатним для активного росту рослинності та сільськогосподарських культур [22]. Ґрунтові горизонти та верхній шар ґрунту порушуються вибухами мін, гранат, вибухових речовин, а також риттям траншей і тунелів. Морфологія ландшафту та ґрунтові профілі можуть бути радикально змінені вибухами [32].

Україна іменується «житницею Європи» і входить до п'ятірки найбільших експортерів зерна у світі, головним чином, завдяки родючому ґрунту-чорнозему, найефективнішому для вирощування зерна [17; 26].

Внаслідок військових маневрів, вибухів і згорання боєприпасів порушується поверхневий шар ґрунту (рис. 2). За попередніми оцінками, від потужних обстрілів та нерозірваних снарядів постраждала значна кількість сільськогосподарських території та об'єктів сільського господарства. За даними KSE та Zoі Environment Network, 188 000 квадратних кілометрів ґрунту знаходяться під загрозою забруднення. Високий ризик ушкодження та зараження на 105 000 квадратних кілометрах ґрунту, розташова-

них на відстані до 5 кілометрів від лінії фронту. Для того щоб у майбутньому ефективно користуватися землями, пошкодженими внаслідок бойових дій, необхідне проведення рекультивації, розмінування та утилізації боєприпасів, що не розірвалися [34].

Екосистема та біорізноманіття. Військові дії істотно впливають на структуру та функціонування екосистеми. Як у наземних, так і у водних екосистемах зменшується щільність популяцій та втрачається біорізноманіття як через гострі, так і хронічні наслідки конфлікту [27]. В історичному вимірі значніша кількість військових конфліктів була пов'язана з наявністю тих чи інших природних ресурсів. Між 1950 і 2000 роками понад 80% воєн відбувалися в районах з високим біорізноманіттям [15; 19]. Незважаючи на лише 6% площі Європи, Україна є осередком для 35% біорізноманіття континенту [13], 44 % найцінніших природних територій України знаходилися в зоні бойових дій, у тому числі – національні парки та біосферні заповідники [41].

Бойові дії на території України призвели до значного забруднення земель та пошкодження ландшафтів природно-заповідного фонду (ПЗФ). У зоні бойових дій розташовані 393 заповідники та об'єкти Смарагдової мережі, що становить понад третину всього ПЗФ України (рис. 3). В окупації перебувало 347 ділянок, у радіусі 5 км від лінії фронту – 257.

Загалом унаслідок військової діяльності під загрозою пошкодження та забруднення знаходяться близько 46 тисяч квадратних кілометрів ПЗФ та Смарагдової мережі, що становить 43% від загальної площі цих об'єктів в Україні [34].

Окрім того, під час війни значні площі лісів зазнали механічних ушкоджень внаслідок військових зіткнень та вибухів боєприпасів, що призводить до ослаблення або знищення лісових насаджень. Оскільки протипожежна та лісгосподарська діяльність на лінії фронту є небезпечною до повного припинення бойових дій та розмінування лісів, скорочення лісистості в Україні залишається серйозною проблемою. Наприклад, 24 березня 2022 року повідомлялося, що понад 7600 га лісів і луків у західній частині Чорнобиля охоплені лісовими пожежами [40]. Загальна площа лісових пожеж зростає в 45 разів порівняно з 2021 роком, і було зареєстровано понад 1500 випадків руйнування екосистем. За даними Zoï Environment Network, у зоні бойових дій було зафіксовано 298 000 га лісів і 1 438 000 га трав'яних пожеж, що разом із горінням нафти та нафтопродуктів спричинили значне забруднення повітря (рис. 4) [29].

Діяльність ПЗФ також порушується за відсутності охорони та обмеження фінансування, що призводить до збільшення незаконних рубок, видобутку корисних копалин, а також лісових і трав'яних пожеж

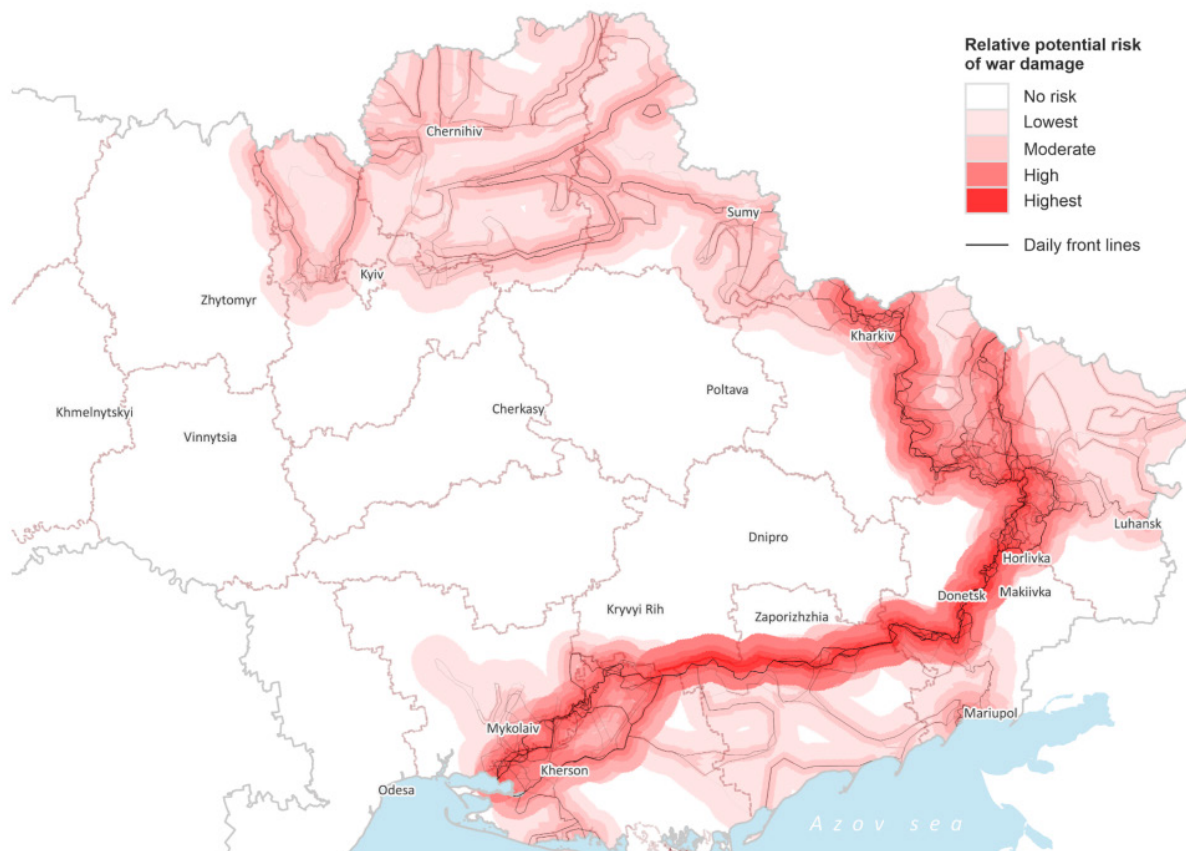


Рис. 2. Ризики пошкодження ґрунту в зонах бойових дій (Kyiv School of Economics, Zoï Environment Network)

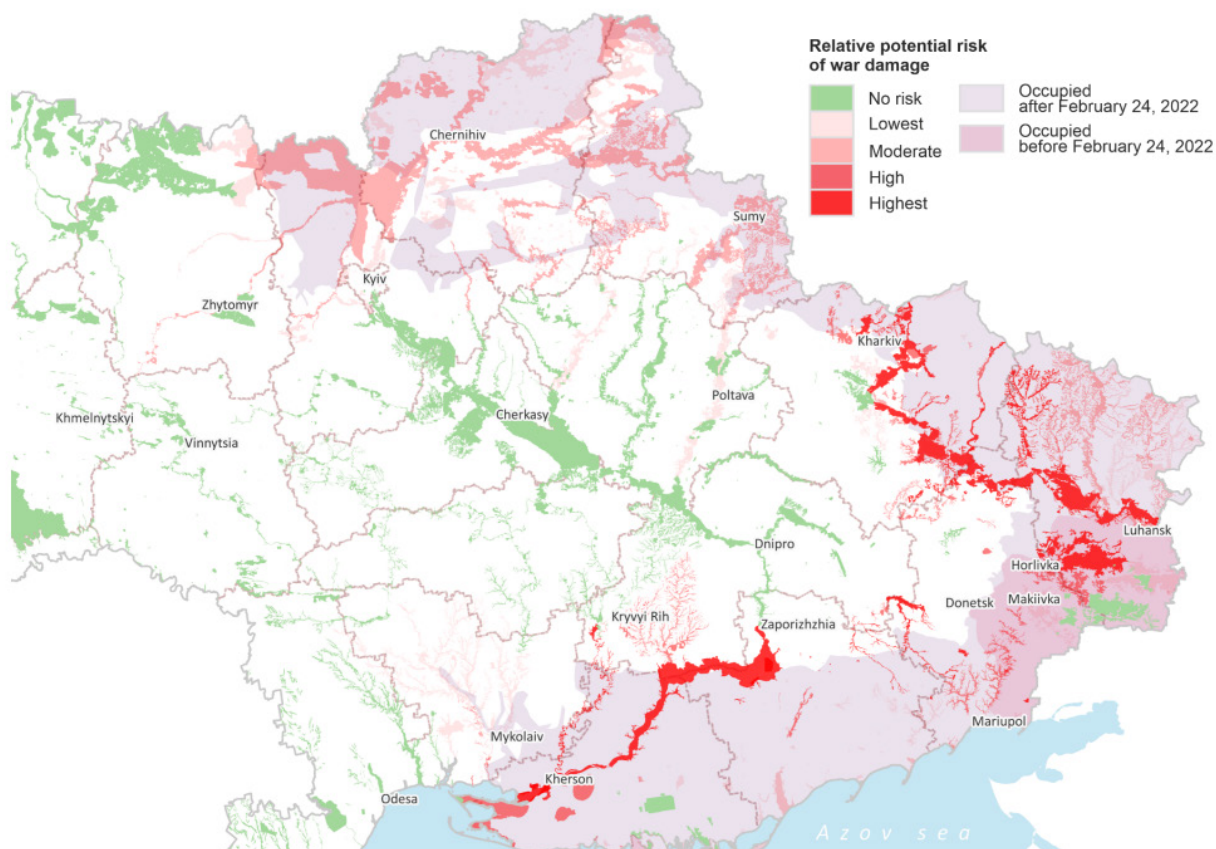


Рис. 3. Ризики заподіяння шкоди природним заповідникам (Kyiv School of Economics, ZoE Environment Network)

на території заповідників. На думку авторів, зважаючи на загрози втрати ПЗФ, необхідне розроблення адекватної методології оцінки завданої шкоди ґрунтам, у тому числі – природних заповідників.

Бойові дії практично унеможливили природоохоронну діяльність за різними напрямками. Руїнування системи охорони навколишнього середовища в зонах бойових дій призвело до втрати інформації щодо стану довкілля, а на окремих територіях відсутній екологічний моніторинг, не надаються екосистемні послуги та не вживаються заходи щодо поліпшення стану навколишнього природного середовища.

Зміна клімату. Зміни клімату вже мають значний вплив і на Україну. Основні компоненти вразливості – скорочення сільськогосподарського виробництва, поглиблення ризику повеней та залежність від імпортованих енергоносіїв тощо. Приміром, на політичному фронті Україна пообіцяла скоротити викиди парникових газів на 60% від рівня 1990 року до 2030 року, проте виклики сьогодення істотно впливають на готовність досягти ключових цілей щодо зміни клімату [12]. По закінченню російсько-української війни головним пріоритетом країни буде відновлення та стабілізація економіки [36].

Після завершення роботи кліматичного саміту COP26 у Глазго (Шотландія), глобальний енергетичний сценарій певною мірою змінився. Ситуація

в Україні вплинула і на запланований енергетичний перехід на глобальне теплопостачання. З огляду на нафтову та газову кризи, деякі країни можуть повернутися до використання вугілля. Існує ймовірність, що глобальний кліматичний порядок денний порушуватиметься [21; 44]. Європейський Союз уже розробив план прискорення переходу до «зеленої енергетики» під назвою «REPowerEU». Він прагне прискорити розгортання відновлюваних джерел енергії та підвищити основну ціль відновлюваних джерел енергії до 2030 року з 40% до 45% [16].

Загалом короткострокові та довгострокові наслідки військових дій на довкілля можна відобразити так (рис. 5).

Окрім ризику забруднення довкілля внаслідок порушення об'єктів інфраструктури, слід зазначити, ситуація з побутовими відходами також погіршилася. Якщо в мирний час всі відходи своєчасно транспортуються та переробляються на відповідних підприємствах, то під час бойових дій така діяльність. Окрім традиційного побутового сміття, у воєнний час виникають залишки військової техніки та будинків, споруди та елементи інфраструктури, утилізація яких потребує додаткових потужностей і неможлива без попереднього розмінування території та її очищення від боєприпасів [35].

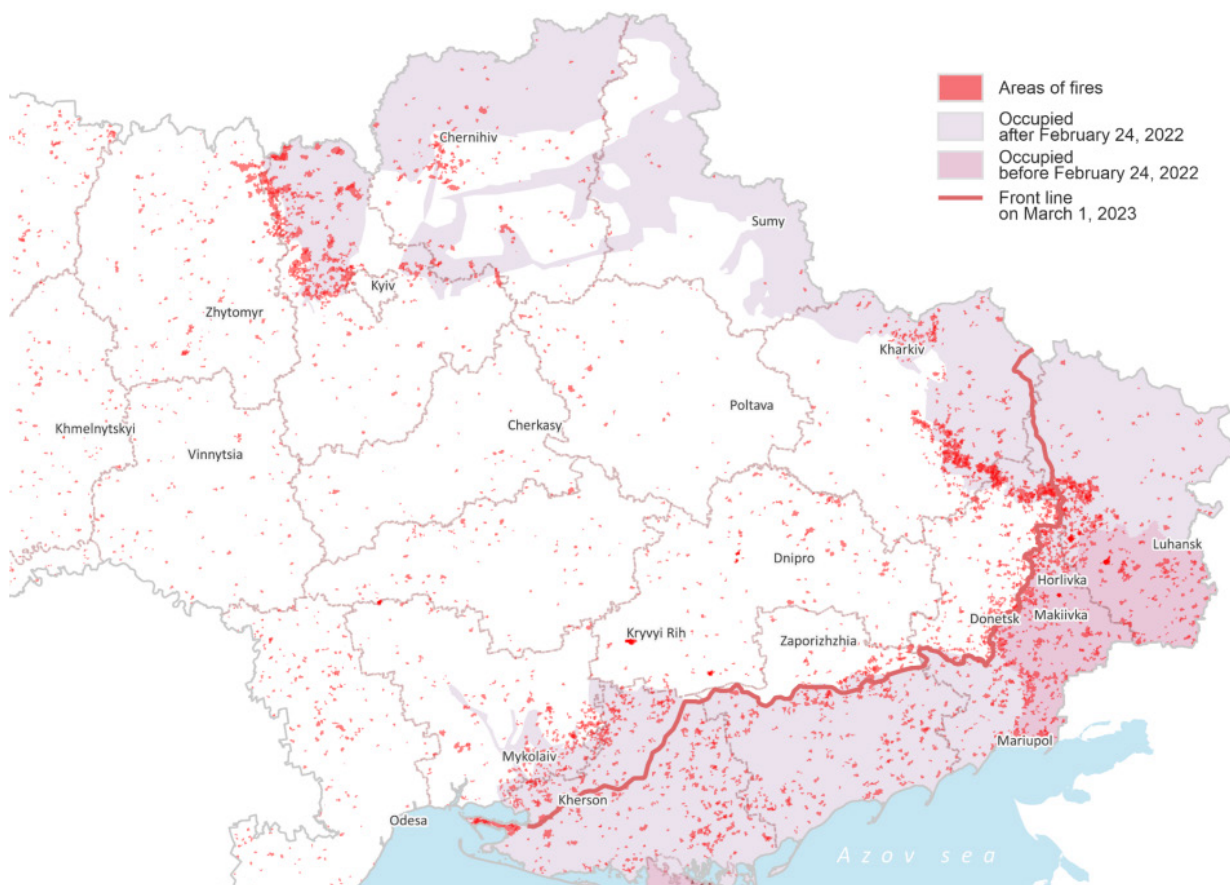


Рис. 4. Оцінка лісових та трав'яних пожеж у зоні бойових дій (Kyiv School of Economics, Zoï Environment Network)

Наразі очевидні лише попередні та гострі наслідки війни. Довгострокові – ще невідомі, але вони, як стверджують науковці, можуть бути руйнівними та з втратами біорізноманіття, ймовірно, поширяться за межі кордонів України, вплинувши, певною мірою, на сусідні країни спільними екосистемами та річками, а також на інші країни-постачанням продовольства.

З метою зменшення негативного впливу бойових дій на навколишнє природне середовище слід негайно вжити необхідних заходів щодо захисту та відновлення екосистем на постраждалих територіях – здійснювати рекультивацию землі, лісовідновлення, очищення води, розмінування територій від боеприпасів, а також запобігати подальшому забрудненню. Важливо привернути увагу українського суспільства, міжнародної спільноти до проблеми екологічних наслідків війни в Україні та докласти всіх зусиль щодо їх усунення [20].



Рис. 5. Короткострокові та довгострокові наслідки військових дій на довкілля

У світовій практиці були приклади, коли шкода, завдана навколишньому середовищу та природним ресурсам військовими конфліктами, проклала шлях до формування міжнародних законів та договорів для їх захисту [25]. Наприклад, під час війни у В'єтнамі збройні сили США використовували Agent Orange як тактичний гербіцид для очищення лісів і знищення посівів з метою проведення військових операцій [27]. Згодом була прийнята Конвенція щодо методів зміни навколишнього середовища (ENMOD), яка забороняє зловмисне використання методів зміни навколишнього середовища, що мають «широко поширені, довготривалі або серйозні наслідки» [14; 43].

Міжнародний кримінальний суд (МКС), певною мірою, поінформував щодо розслідування злочинів, скоєних російськими агресорами в Україні. Проте у довгостроковій перспективі, щоб ефективніше розглядати екологічні злочини в Україні, необхідно здійснити відповідні реформи в МКС. Терміново потрібні нові міжнародні норми для захисту навколишнього середовища під час воєнних конфліктів. Існує значна кількість неоднозначності в прогнозуванні розмірів завданої шкоди. Ймовірними наслідками є масштабне погіршення навколишнього середовища, серйозний вплив на екосистему та

втрата біорізноманіття. Після завершення бойових дій оцінка масштабів наслідків і відновлення екосистеми стане найбільшою проблемою, яка може зайняти десятиліття. Іншим викликом, який стоїть перед світом, може бути тимчасове уповільнення процесу декарбонізації. Оскільки війна змінила динаміку торгівлі нафтою та газом, для задоволення нагальних енергетичних потреб інвестиції в сектор викопного палива можуть зрости [44]. Військові дії також негативно вплинуть на Цілі сталого розвитку України [32].

Підсумки. Праця узагальнює інформацію щодо ситуації в Україні, пов'язаної з впливом воєнної діяльності на довкілля. Висвітлюються різні аспекти впливу бойових дій на навколишнє природне середовище: повітря, ґрунти, поверхневі, ґрунтові та підземні води, клімат, а також на об'єкти природо-заповідного фонду та екосистеми України в цілому. Подаються актуальні дані наукових профільних досліджень та наголошується на необхідності відновлення різних компонентів довкілля, що постраждали внаслідок шкоди, завданої бойовими діями на території України. Акцентується увага на гострій потребі залучення міжнародних організацій та використання наявного досвіду інших країн з розв'язання екологічних проблем.

Література

1. Бондар О.І., Гандзюра В.П., Матвієнко М.Г. (2022) Екобезпекова складова національної системи стійкості. *Екологічні науки*, № 4 (43): 7-11.
2. Водний фонд України: Штучні водойми – водосховища і ставки (2014) Довідник / За ред. В.К. Хільчевського, В.В. Гребеня. Київ: Інтерпрес. 164 с.
3. Гребінь В.В., Мокін В.Б., Крижановський Є.М., Афанасьєв С.О. (2016) Оптимізація гідрографічного та водогосподарського районування України відповідно до світових підходів та вимог Водної рамкової директиви ЄС. *Гідробіол. Журн.*, 52, № 3: 85-97.
4. Стан надзвичайних ситуацій на території України у 2021 році. <https://www.dsns.gov.ua/ua/Nahlyadova-diyalnist.html>
5. Тимошенко О.Г. (1992) До питання про розподіл фауни молюсків Червонооскольського водосховища. *Філософські та природничі аспекти антропології*. СПБ; Донецьк: 120-122.
6. Afanasyev S. O. (2023) Impact of War on Hydroecosystems of Ukraine: Conclusion of the First Year of the Full-Scale Invasion of Russia (a Review). *Hydrobiological Journal*, 59 (4): 3-16.
7. Anthes E. (2022) How nature becomes a casualty of war – The New York Times [WWW document]. URL <https://www.nytimes.com/2022/04/13/science/war-environmental-impact-ukraine.html>.
8. Barber G. (2022) Ukraine is in an environmental crisis too. <https://www.wired.com/story/ukraine-is-in-an-environmental-crisis-too/> Wired
9. Bilius O., Afanasyev S., Lietytska O. (2021) Preliminary assessment of ecological status of the Siversky Donets river basin (Ukraine) based on phytoplankton parameters and its verification by other biological data/ *Water (Switzerland)*/ Vol. 13. doi:3390/w13233368.
10. Biswas A.K. (2000) Scientific assessment of the long-term environmental consequences of war. In: Austin, J.E., Bruch, C.E. (Eds.), *The Environmental Consequences of War*. Cambridge University Press: 303–315.
11. Certini G., Scalenghe R., Woods W.I. (2013). The impact of warfare on the soil environment. *Earth-Sci. Rev.* 127: 1–15.
12. Climate Centre, R.C.R.C. (2021). Country Level Climate Factsheet of Ukraine.
13. Convention on Biological Diversity, n.d. Ukraine: Main Details [WWW Document]. URL <https://www.cbd.int/countries/profile/?country=ua>
14. Daft S., Conversation T. (2019) Environmental destruction is a war crime, but it's almost impossible to fall foul of the laws [WWW document]. URL <https://phys.org/news/2019-08-environmental-destruction-war-crime-impossible.html>
15. Daskin J.H., Pringle R.M. (2018) Warfare and wildlife declines in Africa's protected areas. *Nature*, 553: 328–332.
16. European Commission E. (2022). REPowerEU [WWW document]. Eur. Comm. – Eur. Comm URL https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_3131.
17. FAO F. and A.O. (2022). Ukraine: FAO scales up efforts to save upcoming harvest, ensure export of vital grains [WWW document]. Newsroom. URL <https://www.fao.org/newsroom/detail/ukraine-fao-scales-up-efforts-to-save-upcoming-harvest-ensure-export-of-vital-grains/en>.

18. Fernandez-Lopez C., Posada-Baquero R., Ortega-Calvo J.J. (2022). Nature-based approaches to reducing the environmental risk of organic contaminants resulting from military activities. *Sci. Total Environ.* 157007. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157007>.
19. Francis R.A. (2011) The impacts of Modern Warfare on Freshwater Ecosystems. *Environ. Manag.*, 48: 985–999.
20. Francis R.A., Krishnamurthy K. (2014) Human conflict and ecosystem services: finding the environmental price of warfare. *Int. Aff.*, 90: 853–869.
21. Harvey F. (2022) Ukraine war threatens global heating goals, warns UN chief. The Guardian.
22. Hupy J. (2008). The environmental footprint of war [WWW document]. URL <https://www.jstor.org/stable/20723680>.
23. India Today, W.D. (2022) Don't step out! Kyiv gasps for breath as smoke fills the air [WWW document]. India Today. URL: <https://www.indiatoday.in/world/russia-ukraine-war/story/russia-ukraine-war-news-kyiv-residents-air-quality-smoke-unhealthy-level-1926986-2022-03-19>.
24. Jacobo, J.(2022) Experts predict lasting environmental damage from Russia's invasion of Ukraine – ABC News [WWW document]. URL <https://abcnews.go.com/International/experts-lasting-environmental-damage-russias-invasion-ukraine/story?id=83347671>.
25. Kaminski I. (2022) Could Russia be prosecuted for environmental harm in Ukraine? The Wire Science URL <https://science.thewire.in/environment/russia-prosecuted-environmental-harm-ukraine/>.
26. Knox J. (2022) Why is Ukraine known as the 'breadbasket of Europe'? Here's what it produces and exports [WWW document]. URL <https://www.farminglife.com/country-and-farming/why-is-ukraine-known-as-the-breadbasket>
27. Lawrence M.J., Stemberger H.L.J., Zoldero A.J., Struthers D.P., Cooke S.J. (2015) The effects of modern war and military activities on biodiversity and the environment. *Environ. Rev.*, 23: 443–460.
28. Linden O., Jernelov A., Egerup J., Nilsson S. (2004) The Environmental Impacts of the Gulf War, 1991, p. 94.
29. Ministry of Ecology, Natural Resources of Ukraine, M. (2022a). Briefing on the environmental damage caused by the Russia's war of aggression against Ukraine (19-25 May 2022) [WWW document]. URL <https://mepr.gov.ua/en/news/39238.html>.
30. Pathak S. (2020) Ecological footprints of war: an exploratory assessment of the long-term impact of violent conflicts on national biocapacity from 1962–2009. *J. Environ. Stud. Sci.*, 10: 380–393.
31. Pehchevski D. (2020) Ukraine's dangerous air pollution problem in desperate need of solutions. Bankwatch URL <https://bankwatch.org/blog/ukraine-s-dangerous-air-pollution-problem-in-desperate-need-of-solutions>.
32. Pereira P., Bašić F., Bogunovic I., Barcelo D. (2022) Russian-ukrainian war impacts the total environment. *Sci. Total Environ.*, 837, 155865. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155865>.
33. Rawtani D., Gupta G., Khatri N., Rao P. K., Hussain C. M. (2022). Environmental damages due to war in Ukraine: A perspective. *Science of the Total Environment*, 850, 157932. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157932>
34. Report on Damages to Infrastructure Caused by Russia's War against Ukraine One Year after the Start of the Full-Scale Invasion (2023) <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/audit-of-war-damage.pdf>.
35. Reuveny R. (2010) The Effect of Warfare on the Environment. *Journal of Peace Research*, 47, № 6: 749-761.
36. Sikorsky E., Barron E., Hugh B., Femia E.F., Parthemore C. (2022) Climate, Ecological Security and the Ukraine Crisis: *Four Issues to Consider*, p. 5.
37. Solomon N., Birhane E., Gordon C., Haile M., Taheri F., Azadi H., Scheffran J. (2018) Environmental impacts and causes of conflict in the horn of Africa: a review. *Earth-Sci. Rev.* 177: 284–290.
38. Strategic Environmental Research, Development Program, S. (2016) Contaminant 101 [WWW document]. Energy Compd. Mil. Train. Ranges URL https://www.serdp-estcp.org/energetic_compound/Contaminant-101.
39. Subbaraman N. (2022) Russia's war in Ukraine could have environmental impact that lasts decades – WSJ [WWW document]. URL <https://www.wsj.com/articles/russias-war-in-ukraine-could-have-environmental-impact-that-lasts-decades-11650801603>.
40. UNGC, U.N.C.G. (2022a) Radiation threat to Europe: 7,600 hectares of radiation-contaminated forests are burning in the Chernobyl Exclusion Zone. Ukr. Nat. Conserv. Group. URL <https://uncg.org.ua/en/7600-ha-contaminated-forests/>.
41. UNGC, U.N.C.G. (2022b) 44% of the most valuable natural areas of Ukraine are covered by war. Ukr. Nat. Conserv. Group. URL: <https://uncg.org.ua/en/most-valuable-natural-areas-of-ukraine-covered-by-war/>.
42. UNEP, U.N.E.P. (2021) Environmental legacy of explosive weapons in populated areas [WWW document]. UNEP. URL: <http://www.unep.org/news-and-stories/story/environmental-legacy-explosive-weapons-populated-areas>.
43. United Nations Treaty Collection (2022) URL: https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=IND&mtdsg_no=XXVI-1&chapter=26&clang=en.
44. United Nations, U. (2022) Global Impact of War in Ukraine on Food, Energy and Finance Systems
45. Watson Institute, I.&P.A. (2021) Summary of findings | costs of war [WWW document]. Costs war. URL <https://watson.brown.edu/costsofwar/papers/summary>.
46. Weinthal E., Sowers J. (2022) The environmental and health dimensions of the Ukraine War – UC Press Blog [WWW document]. URL <https://www.ucpress.edu/blog/58701/the-environmental-and-health-dimensions-of-the-ukraine-war/>.
47. WHO, W.H.O., 2022. Emergency in Ukraine.

УДК 502/504

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.1.2>

НАСЛІДКИ ВПЛИВУ РАКЕТНИХ УДАРІВ НА СТАН АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В УКРАЇНІ

Долженкова О.В.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
пр. Гагаріна, 72, 49010, м. Дніпро
dolena2017@gmail.com

Проблема забруднення атмосферного повітря гостро постала ще в часи створення економіки в Україні, яка була перенасичена підприємствами важкої промисловості і залишалась такою ж актуальною в часи незалежності. Але прагнення України до відповідності вимогам ЄС спонукало її постійно рухатись вперед і в довоєнний період було досягнуто суттєве скорочення викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря, яке протягом десятиріччя до 2021 р. склало більше 50 %. Цьому сприяли зміни у законодавстві, зокрема щодо проведення державного моніторингу атмосферного повітря. З приходом на нашу землю окупантів навколишнє середовище почало зазнавати колосальних втрат, пов'язаних на понад 50 % з забрудненням саме атмосферного повітря. Від початку війни до 3 січня 2023 р. ворог спрямував на нашу територію 4357 високоточних й тактичних ракет та 660 дронів, прильоти яких відобразились на стані повітряного басейну. Найбільш вагоме забруднення спричинили ракети Іскандер 9М723, Калібр та С-300 тому що, вони переважали в структурі застосованого ракетного озброєння. Максимальну екологічну шкоду за вибухів бойових частин ракет атмосферне повітря зазнало від викидів діоксиду вуглецю, оксидів азоту та свинцю і його сполук. При цьому CO₂ не спричиняє токсичного впливу, в той час коли оксиди азоту та свинець є токсикантами для людей та довкілля. В результаті системного аналізу комплексного показника забруднення атмосфери КІЗА у містах найбільшого та найменшого забруднення атмосфери у 1 півріччі 2023 р. порівняно з довоєнним часом не виявлено суттєвих змін, тому що забруднення мали точковий характер та розсіювались протягом 48 годин. Тривалі та масштабні ракетні удари можуть спричинити значні зміни в кліматичних умовах і перекреслити багаторічні зусилля світової спільноти у цьому напрямку. Отримані дані вказують на необхідність подальшого розвитку моніторингу атмосферного повітря для оцінки впливу ракетних ударів та розробки заходів для зниження їх негативних наслідків. *Ключові слова:* воєнна агресія, ракетні удари, забруднення повітря, шкода, кліматичні зміни.

The consequences of the influence of missile strikes on the atmospheric air condition in Ukraine. Dolzhenkova O.

The issue of atmospheric air pollution has been acute since the inception of the Ukrainian economy, which was saturated with heavy industrial enterprises, and remained equally relevant during the period of independence. However, Ukraine's aspiration to comply with EU requirements has continuously driven it forward, and significant reductions in emissions of pollutants into the atmospheric air were achieved during the pre-war period, amounting to over 50% by the decade leading up to 2021. This was facilitated by legislative changes, particularly in the implementation of state monitoring of atmospheric air. The arrival of occupiers on our territory has resulted in significant environmental losses, with over 50% attributed to pollution of atmospheric air. From the onset of the war until January 3, 2023, the enemy directed 4357 precision and tactical missiles and 660 drones to our territory, the arrivals of which impacted the state of the air basin. The most substantial pollution was caused by Iskander 9M723, Kalibr, and S-300 missiles, as they predominated in the structure of the employed missile armament. The maximum environmental harm from explosions of missile warheads, which are experienced by the atmospheric air, is caused by emissions of carbon, nitrogen oxides and lead (its compounds), while CO₂ has no toxic effect, while nitrogen and plumbum oxides are toxic to people and the environment. As a result of a systemic analysis of the comprehensive pollution indicator of the Comprehensive Air Pollution Index (CAPI) in cities with the highest and lowest pollution levels in the first half of 2023 compared to pre-war times, no significant changes were identified, as the pollution was localized and dissipated within 48 hours. Prolonged and large-scale missile strikes may lead to significant changes in climatic conditions and undermine the multi-year efforts of the global community in this direction. The obtained data indicate the necessity for further development of atmospheric air monitoring to assess the impact of missile strikes and to develop measures to mitigate their adverse consequences. *Key words:* military aggression, missile strikes, air pollution, harm, climate change.

Постановка проблеми. Російська агресія на довгий час змінила життя потужної квітучої європейської держави – України. З небаченою жорстокістю вороги нищать мирних жителів, енергетичні об'єкти, інфраструктуру міст, розкрадають та руйнують підприємства, чинять ядерний шантаж, цілеспрямовано забруднюють навколишнє середовище.

Ракетні удари є однією з ключових подій у нинішньому військовому конфлікті. Однак, крім безпосередніх наслідків для цілей та об'єктів призначення, такі удари мають значний вплив на навколишнє середовище, включаючи атмосферне повітря. У цій

статті розглядається вплив ракетних ударів на стан атмосфери та можливі наслідки цього.

Актуальність дослідження. Питання стану атмосферного повітря тісно пов'язано з майбутнім населення України, тобто не дивлячись на те, що воєнні дії продовжуються, необхідно сьогодні концентрувати зусилля на мінімізації забруднюючих речовин у повітряному басейні, спричинених ракетною агресією ворога.

Найбільша кількість забруднюючих речовин від ракетних атак потрапляє саме в атмосферне повітря, самоочищення якого йде через організми людей,

тварин, ґрунт, водні ресурси. Але ж ми всі добре знаємо про кругообіг речовин в природі – сьогоднішні шкідливі впливи концентруються на нашій території, а згодом вони розповсюджуються на інші країни й повернуться до агресора.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. В Україні останнім часом приділяли велику увагу створенню системи автоматизованого моніторингу, в тому числі атмосферного повітря. Моніторингові дані можуть послужити основою для фіксації тих злочинів проти довкілля, які чинить ворог. Детальний аналіз ракетних загроз для атмосферного повітря дасть змогу виділити найважливіші аспекти проблеми для визначення подальших дій і прийняття управлінських рішень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В матеріалах слухань, які проведені комітетом Верховної Ради України з питань екологічної політики представлені дослідження щодо нагальності законодавчого врегулювання питання екоциду, розроблення плану дій ліквідації наслідків війни таких авторів як Ангурець О.В. [2], Демиденко А.О. [3]. У рамках Міжнародного фонду «Відродження» за фінансової підтримки Швеції екологічна директорка ГО SaveDnipro А. Скок, з командою провели дослідження якості повітря в Україні до і під час повномасштабного вторгнення [4]. В роботах авторів Березіної А. [5], Лаб'як І. [6] наведено детальну інформацію про типи ракет, якими ворог обстрілює нашу країну.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. В роботі досліджено екологічний вплив основного типу ракет, які застосовує агресор, та розглянуті можливі наслідки для атмосферного повітря, здоров'я людей та клімату.

Методологічне або загальнонаукове значення. В роботі застосовано Методику розрахунку неорганізованих викидів забруднюючих речовин або суміші таких речовин в атмосферне повітря внаслідок

виникнення надзвичайних ситуацій та/або під час дії воєнного стану та визначення розмірів завданої шкоди, розроблену Міндовкілля [7], а також моніторингові методи Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського [8, 9].

Викладення основного матеріалу. Стан атмосферного повітря в Україні в довоєнні часи викликав серйозне занепокоєння. Ще у 2012 році ВООЗ склала рейтинг за кількістю смертей від забруднення повітря і Україна зайняла шосте місце в топі з 10 країн за показником 120 осіб на кожні 100 000 людей [9].

Такі невтішні результати були значно покращені за довоєнний період завдяки скороченню обсягів надходження шкідливих речовин у повітря.

У табл. 1 наведено показники викидів забруднюючих речовин та діоксиду вуглецю в атмосферу протягом 2012–2021 рр. за даними Держстату України.

З аналізу даних табл. 1 видно, що протягом десятиріччя (2012–2021 рр.) стан атмосферного повітря суттєво покращився і загальна кількість викидів зменшилась на 55,5 %, в тому числі від стаціонарних джерел на 51,7 %, пересувних джерел – на 62,2 %, викидів діоксиду вуглецю – на 51,7. Це стало свідченням того, що Україна активно долучилася до світових тенденцій у галузі охорони атмосферного повітря і невпинно слідувала курсом ЄС з цього питання.

Передумовою таких позитивних зрушень стало прийняття КМУ України Постанови № 827 від 14 серпня 2019 р. щодо здійснення державного моніторингу атмосферного повітря [10]. Контроль стану повітря проводили на державному рівні, рівні підприємств-забруднювачів, до цього процесу також активно долучались громадські організації.

З початком повномасштабного воєнного вторгнення та приходом агресора на наші землі розпочався найскладніший період в існуванні незалежної України.

Вплив збройної агресії Росії на навколишнє середовище за підрахунками Державної екологічної інспекції проілюстровано на рис. 1, з якого видно що найбільших втрат зазнало саме атмосферне повітря –

Таблиця 1

Обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферу з 2012 по 2021 рр.

| Рік | Обсяги викидів забруднюючих речовин | | | Крім того, викиди діоксиду вуглецю | | |
|------|-------------------------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| | усього тис. т | у тому числі | | усього, млн. т | у тому числі | |
| | | стаціонарними джерелами | пересувними джерелами | | стаціонарними джерелами | пересувними джерелами |
| 2012 | 6821,1 | 4335,3 | 2485,8 | 232,0 | 198,2 | 33,8 |
| 2013 | 6719,8 | 4295,1 | 2424,7 | 230,7 | 197,6 | 33,1 |
| 2014 | 5346,2 | 3350,0 | 1996,2 | 194,7 | 166,9 | 27,8 |
| 2015 | 4521,3 | 2857,4 | 1663,9 | 162,0 | 138,9 | 23,1 |
| 2016 | 4686,6 | 3078,1 | 1608,5 | 173,9 | 150,6 | 22,3 |
| 2017 | 4230,6 | 2584,9 | 1645,7 | 148,2 | 124,2 | 24,0 |
| 2018 | 4121,2 | 2508,3 | 1612,9 | 150,5 | 126,4 | 24,1 |
| 2019 | 4119,0 | 2459,5 | 1659,5 | 147,2 | 121,3 | 25,9 |
| 2020 | 3675,3 | 2238,6 | 1436,7 | 131,9 | 109,1 | 22,8 |
| 2021 | 3788,8 | 2242,6 | 1546,7 | - | 102,5 | - |

на 1070 млрд. грн. внаслідок горіння нафтопродуктів, лісових пожеж та інших загорянь, що становить майже половину загальних збитків довіллю [11].



Рис. 1. Збитки довіллю внаслідок збройної агресії РФ

Ворог використовував та продовжує застосовувати всі види ракетних озброєнь, які розроблені в часи СРСР і на теперішній час, і тільки за період з початку війни по 3 січня 2023 року запустив по нашій країні 2110 тактичних та 2237 високоточних ракет та продовжив їх виробництво. Таким чином, ракетний арсенал на дату дослідження склав ще 7 310 тактичних та 536 високоточних ракет [12].

Крилаті й балістичні ракети окупанти запускають проти нас у проєкті «Летюча смерть». Генштаб найчастіше повідомляє про прильоти таких ракет як «Точка У», «Іскандер», «Калібр» чи «Онiкс».

Усі ворожі крилаті ракети типу Х-555, Х-101, сімейства ЗМ14/ЗМ54 Калібр та крилаті ракети 9М728/9М729 для комплексу Іскандер-К оснащені малоресурсними турбореактивними двигунами, які працюють на дециліні Т-10 – спеціальному синтетичному паливі. Воно токсичне для вдихання, смертельне при ковтанні й таке, що подразнює шкіру. По суті крилата ракета створена як великий бак з паливом. Наприклад, Х-101 заправлена таким паливом у кількості 1,5 тонни. А пальне для застарілих радянських ракет Х-22 настільки небезпечне, що команда заправляє їх у костюмах хімічного захисту [13].

Надходження шкідливих речовин в атмосферне повітря залежить від типу ракети, висоти її польоту, ваги бойової частини, шляху, який вона пролетіла, тобто який запас палива в ній залишався на момент вибуху, метеорологічних умов, ландшафту місцевості й інших чинників. Крім того, склад палива становить таємницю, тому зробити точний розрахунок кількості токсичних речовин, що утворилися при вибуху, неможливо.

Спалювання або утилізація підривом балістичного твердого ракетного палива на основі нітрату целюлози та нітроефірних розчинників, що часто застосовують у ракетних двигунах військового призначення, супроводжується утворенням ряду токсичних компонентів (залежно від виду палива, на якому працює конкретна ракета), а саме: СО до 416,2 г/кг; С до 86,4 г/кг; Рb до 6,7 г/кг; РbО до 1,8 г/кг; NO до 161,6 г/кг; NO₂ до 2,9 г/кг; CH₄ до 55,0 мг/кг; NH₃ до 0,3 г/кг; HNO₂ до 0,4 г/кг; HCN до 5,2 г/кг, сумарно 736,5г/кг, тобто токсична частина складає до 75 %. До цих викидів

слід додати суміш продуктів, які застосовують для підриву вибухової речовини бойової частини ракети, а також токсичні продукти горіння електронного обладнання ракети [14].

У більш складних високоточних зенітних ракетах використовують паливо на основі перхлорату амонію (NH₄ClO₄), кінцевими продуктами розкладу якого є: H₂O, N₂O₂, Cl₂, HCl, NO₂, N₂O₃. Додатково у суміші будуть наявні продукти горіння каучуків, оксиди металів, продукти горіння електроніки ракети.

З табл. 2 видно скільки ракет і яких типів закінчили своє існування на нашій території та додали свій внесок у забруднення атмосферного повітря. З урахуванням сумарних викидів від підриву бойової частини однієї ракети визначимо масу шкідливих речовин, що надійшли в атмосферу [12, 14].

Можна відзначити, що найбільше забруднення спричинили ракети Іскандер9М723, Калібр та С-300 тому що вони переважали в структурі застосованого ракетного озброєння.

Екологічну шкоду $P_{ш}$ для атмосферного повітря визначали за методикою [7]:

$$P_{ш} = M_i \text{ викид} \times C_n \times K_{неб} \times K_v \times K_{мп} \times K_{пп}$$

де M_i викид – маса викиду, т;

C_n – ставка податку за неорганізовані викиди забруднюючих речовин, грн/т;

$K_{неб}$ – коефіцієнт класу небезпеки забруднюючих речовин;

K_v – коефіцієнт впливу на довілля в залежності від тривалості події;

$K_{мп}$ – коефіцієнт, що залежить від масштабу подій;

$K_{пп}$ – коефіцієнт, що залежить від характеру походження події.

Коефіцієнти K_v , $K_{мп}$, за умов невизначеності подій приймали такими, що дорівнюють 3 та 1,2 відповідно. $K_{пп}$ становив 10 для воєнних умов.

Результати розрахунків наведено у табл. 3.

Підриву бойових частин ракет завдає величезної екологічної шкоди внаслідок надходження двоокису вуглецю, оксидів азоту та свинцю в атмосферне повітря.

Наявність перелічених речовин в повітрі позначається на його якості та здоров'ї населення. Діоксид вуглецю впливає на кліматичні зміни. Він не токсичний для людей, але викликає серйозні зміни у самопочутті, веде до гіпоксії.

Велика кількість оксидів азоту після ракетних атак обумовлена застосуванням рідинних окиснювачів ракетного пального на основі азотної кислоти (речовини 1-го класу небезпечності) – АТ та АК-271. Азотні окиснювачі, потрапляючи в ґрунтовий покрив, взаємодіють з присутніми в ґрунті лугами та утворюють нітрати і нітрити, які накопичуються у рослинах і потім завдають метгемоглобіемії (кисневого голодування органів) людині.

Оксиди азоту реагують з атмосферними опадами з утворенням кислотних дощів, які змінюють

Таблиця 2

Кількість знищених бойових ракет та обсяги викидів в атмосферу за період з 24.02.2022 по 3.01.2023

| Тип повітряної зброї | Арсенал (+ з урахуванням виготовлених під час війни) | Знищено | Маса бойової частини, кг | Маса шкідливих речовин, т |
|----------------------|--|---------|--------------------------|---------------------------|
| Стратегічні ракети | | | | |
| Іскандер 9М723 | 800+36 | 744 | 480 | 263,0 |
| Іскандер 9М728/9М729 | 100+20 | 68 | 480 | 24,04 |
| Калібр | 500+150 | 591 | 450 | 195,9 |
| X-101,X555/55СМ | 444+290 | 616 | 420 | 190,5 |
| X-22/32 | 370 | 208 | 960 | 147,1 |
| X47М2 Кинжал | 43+20 | 10 | 600 | 4,4 |
| Тактичні ракети | | | | |
| ЗМ-55 Онікс470 | 470 | 144 | 300 | 31,8 |
| С-300 | 8000 | 1328 | 180 | 176,0 |
| X-29/31/35/58/59 | 500+450 | 638 | 300 | 141,0 |
| Дрон | 90 | 660 | 50 | 24,3 |
| Всього | 12283 | 5007 | | 1198,4 |

Таблиця 3

Розмір екологічної шкоди для атмосфери від згоряння бойових частин ракет за період з 24.02.2022 по 3.01.2023

| Шкідлива речовина | Маса згорілої речовини, Мі, т | Екологічний податок, грн/т | Коефіцієнт класу небезпеки | Розмір шкоди, грн |
|---|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------|
| СО | 0,049 | 96,99 | 2 | 342,173 |
| Pb та його сполуки | 0,0000695 | 109127,84 | 5 | 1362,335 |
| PM ₁₀ , PM _{2,5} (сажа) | 0,0049 | 96,99 | 3 | 37,64 |
| NO _x | 1,283 | 2574,43 | 2 | 237815,54 |
| NH ₃ | 0,0036 | 482,84 | 2 | 125,34 |
| CO ₂ | 3163 | 30,0 | 2 | 6833080,00 |

pH ґрунтів, викликають опіки та зміни внутрішньоклітинних зв'язків у рослинах, що може знижувати врожайність сільськогосподарських культур. Для людей небезпека у повітрі пов'язана з подразненням дихальної системи, очей та шкіри.

Свинець є глобально небезпечним поллютантом у повітрі, може накопичуватись в організмі людини, чинити несприятливу дію на нервову, серцево-судинну, імунну системи, викликати ідіопатію, ниркові патології.

Але ж необхідно окремо враховувати, що під час вибуху ракети в оточуюче середовища потрапляє ще багато забруднюючих речовин, зокрема дрібнодисперсний пил, бенз(а)пірен, НМЛЮС, формальдегід, синильна кислота, токсична органіка, HCl, оксиди металів та інші, які утворюються при згорянні самої ракети та її спорядження.

Проведемо системний аналіз стану атмосферного повітря за показником КІЗА. У якості еталона для порівняння виберемо значення КІЗА за 2020 рік та дослідимо як змінилась ситуація у найбільш забруднених та найбільш чистих на той момент містах в результаті ракетних атак на країну станом на 1 півріччя 2023 року (рис. 2).

Слід зазначити, що суттєвих змін у стані атмосферного повітря КІЗА не показав, хоча у 2022 р. у Одесі та Дніпрі зафіксовані його незначні підвищення. За результатами аналізу якості повітря в часо-

вому проміжку «до події! (прильоту) і протягом 48 годин після» спостерігали значні точкові забруднення з подальшим розсіюванням [4]. Разові максимальні концентрації вищі за ГДКм.р. з оксиду вуглецю, завислих речовин, діоксиду азоту, сірководню, фенолу, сажі, фтористого водню, хлористого водню і формальдегіду зафіксовано в 17–69 % міст, де проводили спостереження [9].

Великий спад КІЗА у Кривому Розі пов'язаний з тим, що декілька промислових підприємств припинили свою діяльність, в тому числі такий металургійний гігант як дев'ята доменна піч, найбільша у Європі, вона була зупинена вперше з часів Другої світової війни.

Загалом від початку війни за приблизними підрахунками пошкоджено або зруйновано щонайменше 426 великих та середніх приватних підприємств, а також державних підприємств та десятки тисяч малих приватних [5].

Таким чином, КІЗА не відобразив суттєвого зростання забруднень внаслідок ракетних ударів, але це також пов'язано з такими причинами як зупинка роботи чи знищення й розкрадання промислових підприємств.

Тривалі та масштабні ракетні удари можуть спричинити значні зміни в кліматичних умовах, що в свою чергу призведе до нестабільності в екосистемах.

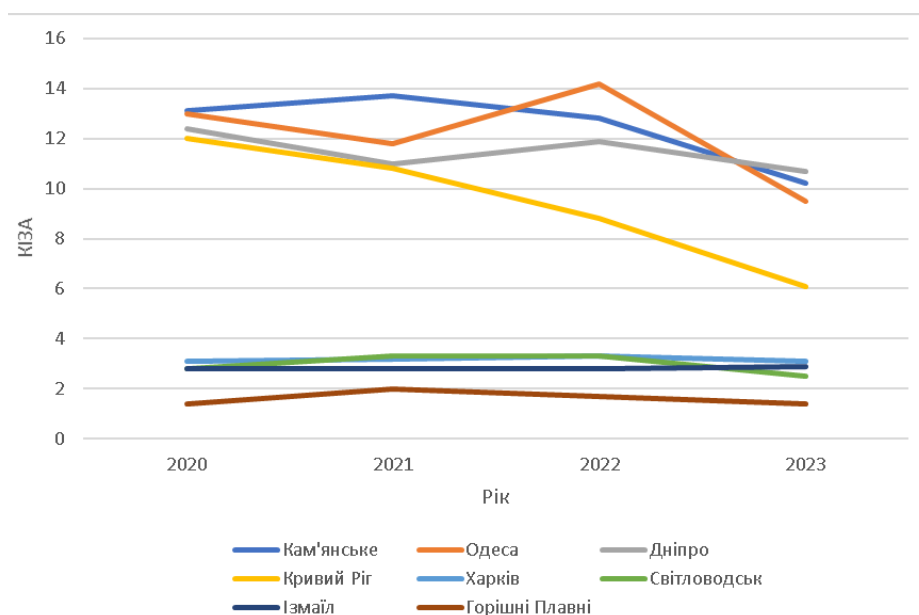


Рис. 2. Динаміка зміни комплексного показника забруднення атмосфери КІЗА за 2020–2023 рр.

В той час, коли світова спільнота витрачає значні зусилля та направляє колосальні фінанси на боротьбу з кліматичними змінами, російська агресія проти нашої країни їх нівелює – перші 18 місяців війни спричинили до 150 мільйонів тон CO₂e додаткових викидів парникових газів. Загальні кліматичні збитки, які завдала та має компенсувати Росія, оцінюються у \$ 9,6 млрд. Але ж, наслідки збройних конфліктів не зможуть залишитись проблемою тільки нашої країни, їх відчує увесь світ [15].

Тільки внаслідок двох ракетних атак 29 грудня 2023 р. та 2 січня 2024 р. по Харкову, Запоріжжю, Дніпру, Києву, Львову, Херсону у повітря було додано майже 5000 тонн діоксиду вуглецю, а шкода атмосферному повітрю склала майже 14 млн. гривень [16].

Незважаючи на складні часи Україна має виконувати свої зобов'язання щодо виконання Паризької кліматичної угоди 2016 р., ухвалила План заходів із скорочення викидів метану на 30 % до 2030 р. та 20 вересня 2022 року прийняла закон «Про Національний реєстр викидів та перенесення забруднювачів».

Головні висновки. В результаті дослідження змін стану атмосферного повітря внаслідок ракетних ударів встановлено, що найбільші його забруднення спричинюють ракети Іскандер9М723, Калібр та С-300.

Розраховані величини екологічного збитку для компонентів викидів, з яких найвпливовішими на повітря є діоксид вуглецю, оксиди азоту та свинець.

Проведено дослідження комплексного індексу забруднення атмосфери КІЗА, визначено його несуттєві зміни за час війни.

Розглянуто вплив ракетних атак на кліматичні умови.

Перспективи використання результатів досліджень. Результати дослідження впливу ракетних ударів на атмосферне повітря є важливим складником для розуміння наслідків воєнних дій на навколишнє середовище. Необхідно проводити подальші дослідження для оцінки повного масштабу ракетної агресії та розробки заходів щодо зниження їх негативних наслідків.

Література

1. Моніторинг довкілля Аналітична записка щодо стану та перспектив розвитку державної системи моніторингу довкілля, Київ, 2023 URL: <https://mep.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoryng/analitichna-zapyska-shhodo-stanu-ta-perspektiv-rozvytku-derzhavnoyi-systemy-monitoryngu-dovkillya/> (дата звернення 10.02.2024).
2. Ангурець О.В. Роль автоматизованого моніторингу довкілля в фіксації екологічних злочинів рф / Матеріали слухань у Комітеті ВР України з питань екологічної політики на тему: «Вплив воєнних дій на довкілля в Україні та його відновлення до природного стану» (1011.2022 року) / Ред.: Ю. Ю. Овчинникова – Київ: Комітет Верховної Ради України з питань екологічної політики та природокористування, 2023. – с. 26-28. URL: <https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2023/05/Materialy-slukhan-2-1-1.pdf> (дата звернення 10.02.2024).
3. Демиденко А.О. Яких світоглядних змін потребує стійке до зміни клімату відновлення довкілля України? рф / Матеріали слухань у Комітеті ВР України з питань екологічної політики на тему: «Вплив воєнних дій на довкілля в Україні та його відновлення до природного стану» (1011.2022 року) / Ред.: Ю. Ю. Овчинникова – Київ: Комітет ВР України з питань екологічної політики та природокористування, 2023. – с. 44-50 URL: звернення 10.02.2024).

4. Скок А., Хрутьба В., Рак О. Якість повітря в Україні до і під час повномасштабного вторгнення. Київ, 2023. URL: [zvut_doslidzhennya_101723](https://zvut.doslidzhennya_101723) (дата звернення 08.02.2024).
5. Березіна А. Іскандер, Калібр, серія Х. Якими ракетами Росія б'є по Україні/ РБК-Україна 07.07.2022 URL: <https://www.rbc.ua/ukr/news/iskander-kalibr-seriya-h-kakimi-raketami-1657117961.html> (дата звернення 08.02.2024).
6. Лаб'як І. Що таке балістична зброя та які балістичні ракети має Росія /ТСН 06.09.23. URL: <https://tsn.ua/zbroya/scho-take-balistichna-zbroya-i-yaki-balistichni-raketi-maye-rosiya-2404633.html> (дата звернення 08.02.2024).
7. Методика розрахунку неорганізованих викидів забруднюючих речовин або суміші таких речовин в атмосферне повітря внаслідок виникнення надзвичайних ситуацій та/або під час дії воєнного стану та визначення розмірів завданої шкоди. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0433-22#Text> (дата звернення: 15.02.2024).
8. Огляд стану забруднення навколишнього природного середовища на території України за 1 півріччя 2022 року. Київ, 2022. URL: oglyad-stanu-zabrudnennya-1pivrichya-2022 (дата звернення: 11.02.2024).
9. Огляд стану забруднення навколишнього природного середовища на території України за 1 півріччя 2023 року. Київ, 2023. URL: oglyad-stanu-zabrudnennya-1pivrichya-2023 (дата звернення 11.02.2024).
10. Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря : Постанова КМУ від 14 серпня 2019 р. № 827. База даних «Законодавство України». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-2019%D0%BF#Text> (дата звернення 08.02.2024).
11. Державна екологічна інспекція URL: <https://www.dei.gov.ua/post/2793> (дата звернення 08.02.2024).
12. Oleksii Reznikov Security formula URL: <https://twitter.com/oleksiireznikov/status/1611449870040109058> (дата звернення 08.02.2024).
13. О. Набожняк, Н. Кульм, Є. Дроздова. Російські крилаті й балістичні ракети в питаннях, відповідях та інфографіці/Texty.org.ua. Дата публікації 25.04.2022 URL: <https://texty.org.ua/articles/106433/letyucha-smert/> (дата звернення 04.02.2024).
14. О. Ангурець. Ракети: вплив на забруднення довкілля .Українська громадянська мережа. 21.10.22 URL: <https://cleanair.org.ua/7669/raketa/> (дата звернення 08.02.2024).
15. Онлайн-консультант еколога підприємства. Яких збитків завдала росія клімату за 18 місяців війни в Україні 06.12.2023. URL: <https://ecologiya.com.ua/news/685243-yakykh-zbytkiv-zavdala-rosiya-klimatu-za-18-misyatsiv-viyny-v-ukrayini> (дата звернення 18.02.2024).
16. Стрілець Р. Національний марафон «Єдині новини». URL: <https://mepr.gov.ua/vnaslidok-pozhezh-yaki-vynykly-u-kyuevi-pislya-dvoh-najmasshtabnishyh-masovanyh-atak-rf-u-povitrya-potrapylo-ponad-1-5-tysyachi-tonn-dioksydu-vugletsyu/> (дата звернення 18.02.2024).

УДК 355.4:574:57.04DOI

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.1.3>

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

Дунаєвська О.Ф., Сокульський І.М., Мельник Н.В., Піциль А.О.

Поліський національний університет

бульв. Старий, 7, 10008, м. Житомир

oksana_fd@ukr.net, sokulskiy_1979@ukr.net, melniknatalia261@gmail.com, pistil.uk@gmail.com

Сільське господарство як одна з галузей економіки є її багатоцільовим сектором, що поєднує цілу низку життєзабезпечувальних функцій будь-якої держави. Значення сільського господарства у житті суспільства слід розглядати з різних позицій і, насамперед, з економічних, соціальних, екологічних та політичних. Сільське господарство використовує земельні, водні, ґрунтові, рослинні, тваринні та енергетичні ресурси, а також забруднює навколишнє середовище та сприяє його деградації більше, ніж будь-яка інша діяльність людини. У статті розглядаються ключові зміни, що відбулися у сільському господарстві під час воєнного стану. Об'єкт дослідження є сільськогосподарське виробництво в умовах воєнного стану. Предмет дослідження – обсяги та особливості діяльності сільськогосподарських підприємств.

З початком війни суттєво змінилася частка експорту та імпорту та їх структура у аграрному секторі економіки. У 2022 році найбільший експорт був спрямований у Польщу. Знизилася обсяги експортування у країни, що традиційно займали одні з перших сходинок – Китай, Італія, Індія, Єгипет. Україна, проте, збільшила частку постачання продукції до Румунії, Угорщини, Словаччини, Болгарії, Молдови. Туреччина, Німеччина, Нідерланди, Іспанія, Чехія залишаються стабільними партнерами у купівлі нашої сільськогосподарської продукції. Серед експортованої продукції перше місце займає частка кукурудзи, друге – соняшникова олія. Економічні збитки за вісім місяців повномасштабного вторгнення становили 40,85 млрд грн, з яких непрямі збитки становлять майже 84%. Зміни ґрунтового покриву виділяють первинні, вторинні. Первинні включають механічні пошкодження та засмічення, фізичний і хімічний впливи. Токсичні речовини здатні мігрувати в ґрунті горизонтально та вертикально. Особливо небезпечними є важкі метали, паливно-мастильні матеріали, паливо для ракет, радіоактивні речовини. *Ключові слова:* екологічна безпека, тваринництво, продовольча безпека, хімічні сполуки, методи дослідження, негативний вплив на організм.

Environmental problems of agriculture under martial law. Dunaievskia O., Sokulskiy I., Melnyk N., Pitsil A.

Agriculture, as one of the branches of the economy, is also its multi-purpose sector, which combines a number of life-sustaining functions of any state. The importance of agriculture in the life of society should be considered from different positions and, first of all, from economic, social, ecological and political. Agriculture uses land, water, soil, plant, animal and energy resources and pollutes and contributes to environmental degradation more than any other human activity. The article examines key changes that occurred in agriculture during martial law. The object of research is agricultural production under martial law. The subject of the study is the scope and features of agricultural enterprises.

With the beginning of the war, the share of exports and imports and their structure in the agrarian sector of the economy changed significantly. In 2022, the largest export was directed to Poland. The volume of exports to the countries that traditionally occupied one of the first steps – China, Italy, India, Egypt – decreased. Ukraine, however, increased the share of product supply to Romania, Hungary, Slovakia, Bulgaria, and Moldova. Turkey, Germany, the Netherlands, Spain, and the Czech Republic remain stable partners in the purchase of our agricultural products. Among the exported products, the first place is occupied by the share of corn, the second place is sunflower oil. Economic losses during the eight months of the full-scale invasion amounted to UAH 40.85 billion, of which indirect losses make up almost 84%. Changes in soil cover are divided into primary and secondary. Primary include mechanical damage and clogging, physical and chemical influences. Toxic substances can migrate horizontally and vertically in the soil. Heavy metals, fuel and lubricants, rocket fuel, and radioactive substances are especially dangerous. *Key words:* environmental safety, animal husbandry, food safety, chemical compounds, research methods, negative impact on the body.

Постановка проблеми. У суспільстві, у повсякденній свідомості небезпідставно формується переконання про нерозривні зв'язки сільського, лісового господарства з навколишнім природним середовищем [18]. Так, дійсно, земля, ліс, інші природні об'єкти служать не лише безпосередньою просторовою базою сільського, лісового господарства, а й джерелом виробництва харчової продукції, засобом забезпечення продовольчої безпеки країни [30]. Сільське господарство відіграє головну роль в економіці, а також вважається основою економічної системи для країн [6, 29].

Реалізація стратегії національної безпеки демонструє особливі вимоги до аграрного сектору економіки як основи забезпечення продовольчої безпеки України, особливо у сьогоdnішній час. Комплексне вирішення завдань, поставлених для реалізації продовольчої безпеки України, щодо розвитку сільського господарства та регулювання ринків сільськогосподарської продукції, сировини та продовольства, неможливо без модернізації базових складових розвитку галузевого економічного зростання.

Актуальність дослідження. Україна – це аграрна країна, яка є найпотужнішим експортером продукції харчування. Від можливості отримання цієї продукції залежить, без перебільшення, якість життя людей багатьох країн [21]. Важливість продовольчої безпеки для нашої країни була додатково розглянута законодавчо у квітні 2022 року. Закон № 2145-IX спрощує регулювання у сфері земельних відносин, раціональне використання земель сільськогосподарського призначення, щоб навіть в умовах воєнного стану забезпечити виробництво продукції рослинництва і тваринництва [24]. Аграрне виробництво має для нашої країни стратегічне значення. Воєнні дії призвели до руйнування інфраструктури, сховищ, логістичних ланцюгів, знищення сільськогосподарської продукції у великих обсягах [10], погіршення екологічного стану територій, в тому числі забруднення ґрунтів [17].

З досліджень відомо, що на 01.01.2022 року було зареєстровано 48868 фермерських господарств, хоча їх внесок у виробництво продукції не перевищував 11% [9]. Загалом у довоєнний час країни, які найбільше закуповували українську сільськогосподарську продукцію, були Китай, Індія, Нідерланди, Єгипет і Туреччина [19]. Відмічалось зростання виробництва сільськогосподарської продукції у 2021 році майже на 14 % [2]. Після вторгнення РФ аграрії рахують збитки, лише за шість перших місяців війни вони налічували 4,3 млрд доларів США [20]. Вразливість цього сектору економіки пояснюється ще й на масштабній моделі та сировинному характері [27]. Для відновлення аграрного виробництва на вересень 2022 року потрібно було залучити інвестицій на суму майже 37 млрд доларів США [23]. Розроблено не одну програму відновлення, але досягти її можливо лише після перемоги [1].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. В умовах воєнного стану в Україні, дотримання безпечності у сільському господарстві є пріоритетним завданням. У межах даного дослідження здійснюється аналіз особливості діяльності сільськогосподарських підприємств. Основу дослідження склали крім аналітичних методів, методи узагальнення дослідження, описовий та порівняльний метод дослідження, функціональний аналіз та статистичний метод. Слушно зауважити, що до 2014 року площа земель сільськогосподарського призначення становила 42 млн га, а сільськогосподарська продукція постачалася до понад 180 країн. Отже, відповідна тематика досліджень сприяє розкриттю особливостей теоретичних та практичних аспектів ведення сільського господарства в умовах дії воєнного стану. Така теоретична робота має практичні підходи до врахування наслідків та шляхів відновлення для повного забезпечення безпечною аграрною продукцією

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сільськогосподарське виробництво має три основні галузі: рослинництво, тваринництво, кормовироб-

ництво. Головною задачею сільськогосподарського виробництва є забезпечення людини повноцінними і якісними продуктами харчування рослинного і тваринного походження [16]. Частиною цього завдання є й цілорічне забезпечення тварин якісними кормами [12]. Ми знаємо, що наша держава є аграрна, а, значить, сільське господарство займає вагомий частку у господарській діяльності. І хоча використовується ґрунт як основний ресурс у виробництві, забезпечують його якість й інші складові довкілля – атмосферне повітря, гідросфера. Тому неможливо говорити про продукцію, що відповідає всім стандартам якості та не містить шкідливих для організму людини речовин, без вивчення питання якості ґрунту, повітря, водних об'єктів. Станом на сьогодні вже частково досліджено вплив воєнних дій на сільське господарство. Чому ми можемо говорити лише про часткову оцінку? Насамперед, не всі території деокуповані, не всі розміновані. Тому будемо говорити про те, що вже досліджено науковцями. Зафіксовано на травень 2023 року викидів до атмосфери більше 1,2 млн т. До цих сполук належать важкі метали, діоксид вуглецю, органічні сполуки, пил тощо. Пожежі пошкодили майже 50 тис га лісу, трав'яні пожежі становили майже 500 тис га. Саме випалювання рослинності наносить великої шкоди ґрунту. Родючий шар ґрунту зазнає механічних ушкоджень через утворення ям при вибухах, ровів при будівництві фортифікаційних споруд, при переміщенні важкої військової техніки. Таких пошкоджень зазнало майже 32% від загальної території країни. Для ведення сільського господарства ці площі потребують значних економічних вкладень для проведення рекультивації земель, розмінування [31]. На 01.12.2023 р. підраховано, що шкода від забруднення ґрунтів дорівнює 14,4 млрд грн, площа – 615 767 метрів квадратних. Додатково засмічення ґрунтів відбулося на площі 17980037 метрів квадратних, а шкода, відповідно, 995, 47 млрд грн [11]. За цей час утворилося майже 760 тис т відходів, в атмосферу було викинуто майже 75 тис т викидів [11]. До кінця 2023 року шкода довкіллю становитиме 2 трлн грн [28]. Ще у 2015 році науковці Державної екологічної академії стверджували, що у Донецькій області можлива екологічна катастрофа через забруднення водних об'єктів, викидів у атмосферне повітря [8]. У березні 2015 року з 305 об'єктів природо-заповідного фонду Луганської і Донецької областей 33 території зазнали негативних дій [3]. За березень 2022 року було обстріляно електростанції, газопроводи, очисні споруди, хімічні підприємства, нафтобази, деякі зазнали руйнувань, пожеж, в атмосферне повітря було викинуто маса забруднюючих речовин, серед яких діоксид вуглецю, формальдегід, сірководень, ароматичні сполуки.

В місцях детонації вибухових пристроїв забруднюючі речовини спочатку надходять у повітря, потім осідають на ґрунт і включаються у колообіг, серед них токсичними є чадний газ, закис азоту, фор-

мальдегід, ціаніста кислота [4]. Під час війни відбувся перерозподіл водних ресурсів у наслідок знищення 726 гідротехнічних споруд [15]. Найбільших екологічних збитків завдано Донецькій, Луганській, Харківській областям [15].

За півтора роки війни була знищена велика кількість рослинності, диких та свійських тварин, а також порушені шляхи міграцій тварин [7]. Війна негативно впливає на стан довкілля всієї планети, адже відбуваються значні викиди в атмосферне повітря, що впливає на зміни клімату, забруднюються водні ресурси, знижується біорізноманіття, деградують ґрунти, зменшується продовольча безпека [25]. За підрахунками експертів, у 2022 році на територіях Херсонської та Запорізької областей згоріло понад 400 га ячменю та пшениці, у Дніпропетровській області 8,5 тис га взагалі не засіявали [26].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Для забезпечення продовольчої безпеки країни необхідно організувати сільськогосподарське виробництво, тому метою роботи було встановлення особливостей ведення такого виробництва в умовах воєнного стану. Серед головних завдань наступні: з'ясувати вплив воєнних дій на довкілля, стан ґрунтів, вивчити обсяги виробництва у сфері рослинництва, тваринництва, кормовиробництва, специфіку експорту та ведення господарства.

Новизна. Одержані результати є комплексними дослідженнями, в якому розкриті особливості діяльності сільськогосподарського виробництва в умовах воєнного стану. Таке дослідження не лише встановлює причину певного явища, але й добре описує зміни, які відбуваються з об'єктом дослідження. Результати досліджень можуть бути використані для оптимізації роботи сільськогосподарських підприємств з урахуванням екологічного стану територій, законодавчого регулювання та інвестиційної політики.

Методологічне або загальнонаукове значення. Дослідженнями встановлено збитки сільського господарства у 2022 році. Відмічено, що військово-техногенні забруднювачі нерівномірно розподіляються у ґрунті та сільськогосподарських культурах. Бойові дії, які відбуваються на сході та півдні нашої країни, призводять до знищення лісів. Ці регіони характеризуються низьким ступенем лісистості, тому навіть незначне пошкодження призводить до ерозійних процесів, наслідками є вітрова ерозія та опустелювання, що унеможливує отримання врожаїв. Комплексний підхід дозволяє розрахувати екологічні та економічні збитки, які є взаємопов'язаними. Слід враховувати, що непрямі економічні збитки можуть сягати 85%. Згідно «Методики визначення розміру шкоди, завданої землі, ґрунтам внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії та бойових дій під час дії воєнного стану», затвердженої наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України наказом від 4 квітня 2022 року № 167,

враховуються різні показники, наприклад, глибина просочування забруднювача, обсяги, які залишилися на поверхні. Важливим є документування всіх порушень в найкоротший термін, оскільки деякі речовини мають властивість випаровуватися. Доцільно враховувати результати моніторингу атмосферного повітря («Методика розрахунку неорганізованих викидів забруднюючих речовин або суміші таких речовин в атмосферне повітря внаслідок виникнення надзвичайних ситуацій та/або під час дії воєнного стану та визначення розмірів завданої шкоди», затвердженої Наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 13.04.2022 № 175).

Виклад основного матеріалу. З початком війни суттєво змінилася частка експорту та імпорту та їх структура. Найпотужнішим споживачем товарів з України у 2021 році був Китай. Після виведення з ладу авіаційного сполучення, у 2022 році він займав четверту позицію. У 2022 році найбільший експорт був спрямований у Польщу. Знизилися обсяги експортування у країни, що традиційно займали одні з перших сходинок – Італія, Індія, Єгипет. Звісно, різко скоротилася частка товарів, що постачалася до росії. На тлі таких подій Україна змогла збільшити частку постачання товарів до Румунії, Угорщини, Словаччини, Болгарії, Молдови. Пояснюється це наявністю сухопутних магістралей та близьким розташуванням до наших кордонів. Не зважаючи на тиск росії, такі країни як Туреччина, Німеччина, Нідерланди, Іспанія, Чехія залишаються стабільними партнерами у купівлі нашої сільськогосподарської продукції. Серед експортованої продукції з п'яти перших позицій – чотири утримує сільськогосподарська продукція (рис. 1), перше місце займає частка кукурудзи, друге – соняшникова олія [1, 2, 14].

Бойові дії, які відбуваються на сході та півдні нашої країни, призводять до знищення лісів. Ці регіони характеризуються низьким ступенем лісистості, тому навіть пошкодження призводить до ерозійних процесів, наслідками є вітрова ерозія та опустелювання, що унеможливує отримання врожаїв.

За період війни росія запустила по території України велику кількість ракет. В результаті їх зривів утворюється велика кількість хімічних сполук. Частина сполук є леткими і виділяються в атмосферне повітря, а частина потрапляє на поверхню ґрунту, забруднюючи його. До таких забруднювачів відносяться важкі метали. Вони знаходяться в ґрунті в різних формах – оксиди, солі, які мають різну розчинність у воді. В ґрунті вони поводять себе по-різному, що залежить від особливостей хімічного складу ґрунту, геологічної будови, геохімічних бар'єрів, основних механізмів 2 – накопичення і розсіювання. Як правило, важкі метали добре сорбуються ґрунтами і при утворенні погано розчинних сполук накопичуються в літосфері. Є наукові дослідження, які підтверджують надходження важких металів до рослин. Свинець має низку фітотоксичність, але

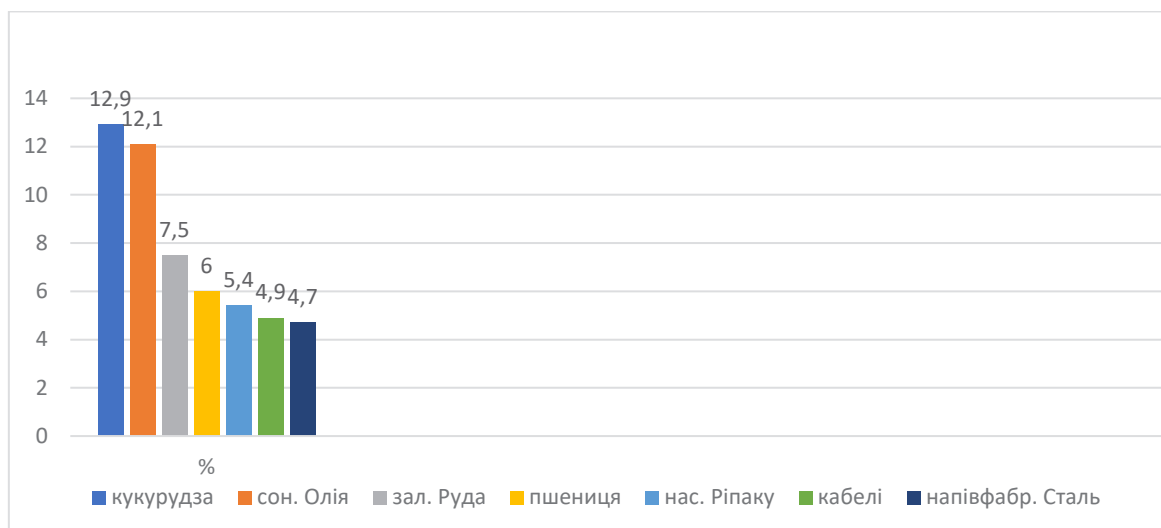


Рис. 1. Експортовані товарні групи Україною у 2022 році (%)

токсичним для людей, особливо, дітей, належить до першого класу небезпеки. Крім свинцю, ґрунт зазнав забруднення такими металами: стронцій, титан, кадмій, нікель, хром, миш'як, цинк, ртуть, мідь [13, 22].

У березні 2022 року для зупинки російських військ в напрямку Києва була підірвана дамба на річці Ірпінь. Площа затоплення сягнула майже 50 кілометрів квадратних. На жаль, з полів були вимиті пестициди, засоби захисту рослин, інші агрохімікати. До ґрунтів також потрапили деякі будівельні матеріали, органічні розчинники, фарби, лаки з відповідних підприємств. В наслідок влучання в нафтобази були пожежі, довкола ґрунти були забруднені нафтовими плямами. В місцях такого розливу гине все живе, наприклад, дощові хробаки, які приймають участь в утворенні гумусу.

В місцях активних бойових дій відбувалося переміщення бойової техніки. До прикладу, вага одного танку 45–73 тон. В цих місцях ґрунт ущільнювався, що призводило до порушення повітряного обміну і обміну вологості.

У липні 2022 року були масовано обстріляні сільськогосподарські угіддя, в наслідок чого був знищений урожай, а разом з ним й біота ґрунту.

Велику шкоду ґрунтам несуть прірви, які утворюються після вибухів. Їх глибина може сягати 8 метрів. На таких ділянках сівба та посадка не проводиться.

На місцях влучання ракет та виявлення уламків після детонації в ґрунті ідентифікують таку високотоксичну речовину як меланж. Вона є складовою ракетного палива. З ґрунту меланж мігрує в підземні води, а та частина, що залишається на поверхні ґрунту здатна випаровуватися, а, значить, повторно потрапляти на ґрунт у вигляді токсичних опадів. У людини меланж викликає нудоту, запаморочення, підвищення артеріального тиску. У ґрунті під дією вологи утворюються токсичні окиси азоту, які негативно впливають на біоту в ґрунті.

Однією з високотоксичних сполук, яка є складовою ракетного палива, й аналогічно з меланжем потрапляє в ґрунт є гептил. За своєю хімічною природою він схожий з бойовими отруйними речовинами нервово-паралітичної дії. Небезпека його полягає у властивостях добре розчинятися у воді, мігрувати у шари ґрунту, забруднювати водні об'єкти та добре всмоктуватися в шлунково-кишковому тракті людини і тварин. На сьогоднішній день ідентифікація меланжу та визначення його кількісного вмісту ускладнена.

Одним зі складників авіаційного палива є децилін. Думки науковців з приводу ступеня його токсичності не однозначні. Деякі експерти стверджують, що він не такий вже й отруйний. Проте більшість медиків дійшло висновку, що він здатний подразнювати слизові оболонки, шкіру та токсичний при надходженні до шлунково-кишкового тракту. Його системна дія ґрунтується на пригніченні центральної нервової системи. Деякі дослідники вказують на ГДК цієї сполуки як 5,0 мг/м², нижча межа чутливості нюхового сенсора у людини – 0,2 мг/м³. У Франції після першої і другої світових війн і сьогодні є ділянки вилучені з сільськогосподарства, на які було потрапляння дециліну.

Деякі ділянки сільськогосподарських угідь стали непридатними для використання й вилучаються з виробництва через механічні пошкодження та побудовою охоронних споруд. Заважають сільськогосподарському виробництву й побудова інших фортифікаційних споруд, наприклад, окопів. На їх місцях відбувається зміна механічного складу ґрунту.

Великою екологічною бідою є горіння ворожої техніки. Станом на 1 січня 2023 року у повітря потрапило 38 тис т викидів, утворилося майже 360 тис т відходів, які забруднили ґрунт.

Небезпечним є хімічний вплив. До нього належить використання та залишки паливно-мастиль-

них матеріалів, гальванічні відходи, вибухові речовини. Їх дії характеризуються ущільненням ґрунту, пошкодження гумусового шару, порушення водного балансу, розвиток вітрової і водної ерозії, утворення порожнин, зміни мікрорельєфу, зменшення біорізноманіття [5]. Забруднювачі ґрунту потрапляють до рослинної продукції і спричиняють негативний вплив на організм людини і тварини: зміни на генетичному рівні, неврологічні розлади, порушення внутрішньоклітинного синтезу білка, роботи органів кровотворення і ендокринної системи. Токсичні речовини постійно мігрують в ґрунті горизонтально та вертикально.

Головні висновки. У 2022 році Україні вдалося зберегти обсяг сільськогосподарської продукції на експорт. Перше і друге місце за економічними показниками експортованої продукції посідають кукурудза і соняшникова олія, четверте та п'яте – пшениця і насіння ріпаку. Однак, економічно доцільно збільшувати експорт не сировини, а переробленої продукції. Зменшення сільськогосподарського виробництва в Україні впливає на продовольчу безпеку та має негативні наслідки для інших країн. Застосування ракетної зброї призводить до хімічного забруднення ґрунтів високотоксичними сполуками – геп-

тил, децилін, що вимагає вилучення цих ділянок з сільськогосподарського виробництва. В наслідок застосування вибухових пристроїв відбувається забруднення ґрунтів важкими металами, порушення мікрорельєфу, що призводить до ерозій. Забруднення ґрунту отруйними речовинами потребують детоксикаційних заходів. Деякі ділянки угідь стають непридатними для ведення сільського господарства, їх вилучають з виробництва з постійним моніторингом (метод консервації). За монокомпонентного фізичного забруднення можливе механічне очищення. Меліоративні заходи також себе добре зарекомендували, нагромаджено досвід їх застосування. Для комплексного відновлення ґрунтів з врахуванням типу та концентрації забруднювача, стану обирається раціональний захід, наприклад, фітосанація, ренатуралізація, фітоекстракція.

Перспективи використання результатів дослідження. Автори сподіваються, що дане дослідження сприятиме комплексному розумінню особливостей ведення сільського господарства у періоди військових дій та відновлення з урахуванням екологічного стану територій та розробці дієвих механізмів реабілітації забруднених, пошкоджених, деградованих земель.

Література

1. Бородіна О. Сільське господарство України в умовах воєнного стану: уроки для суспільства і політиків. URL: <https://www.nas.gov.ua/UA/Messages/Pages/View.aspx?MessageID=9288> (дата звернення: 22.10.2023).
2. В Україні за 2021 рік значно зросло сільгоспвиробництво: які області потрапили у топ. URL: <https://www.unian.ua/economics/agro/v-ukrajini-za-2021-rik-znachno-zroslo-silgospvirobnictvo-de-virobilinaybilshe-novini-11678404.html> (дата звернення: 24.07.2023).
3. Війна і довкілля: заповідники в зоні АТО. URL: <https://life.pravda.com.ua/society/2015/03/7/190398/> (дата звернення: 20.11.2023).
4. Вплив війни на навколишнє середовище. URL: <https://ciwf.in.ua/?p=3507> (дата звернення: 20.11.2023).
5. Вплив війни росії проти України на стан українських ґрунтів. Результати аналізу. О. Голубцов, Л. Сорокіна, А. Сплодитель, С. Чумаченко. Київ: ГО «Центр екологічних ініціатив «Екодія», 2023. 32 с.
6. Гребеннікова А. А. Розвиток сільського господарства на інноваційній основі. *Електронний журнал «Ефективна економіка»*. 2016. № 12. <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=5338>
7. Губарєва В. 500 днів війни: експерти обговорюють вплив війни на довкілля. URL: <https://uwecworkgroup.info/uk/500-days-of-war-experts-discuss-the-wars-environmental-impacts/> (дата звернення: 20.11.2023).
8. Державна екологічна академія. Донбас на порозі екологічної катастрофи. URL: https://24tv.ua/donbas_na_porozi_ekologichnoyi_katastrofi_n530959 (дата звернення: 20.11.2023).
9. Державна служба статистики України: офіційний веб-сайт. URL: <https://ukrstat.gov.ua/> (дата звернення: 24.11.2022).
10. Добрунїк Т.П., Кузнєцова О.В. Проблеми і напрямки розвитку аграрного сектору України в умовах економічної нестабільності. *Економіка та суспільство*. 2022. Вип. 42. С. 25–35. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-42-25>
11. Екозагроза. Завдані збитки. Офіційний сайт Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: <https://ecozaagroza.gov.ua/> (дата звернення: 20.11.2023).
12. Єременко Д. В. Ефективність виробництва конкурентоспроможної продукції у фермерських господарствах. *Економічний вісник Запорізької державної інженерної академії*. 2017. Вип. 1 (07). С. 95–98.
13. 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 обл. *Агроєкологічний журнал*. 2022. Т. 3. С. 136–149.
14. Зовнішня торгівля України: вплив війни та на чому вдалося заробити. URL: <https://unn.ua/news/zovnishnya-torgivlya-ukrayini-vpliv-viyni-ta-na-chomu-vdalosya-zarobiti> (дата звернення: 20.11.2023).
15. Козоріз В. Екоцид: як війна впливає на довкілля. Урядовий кур'єр. 7 грудня 2023 року. URL: <https://ukurier.gov.ua/uk/articles/ekocid-yak-vijna-vplivaye-na-dovkillya/> (дата звернення: 20.11.2023).
16. Лайко П. А., Бабієнко М. Ф., Бузовський С. А., Іщенко Т. Д. Якість сільськогосподарської продукції та продуктів харчування як вирішальна складова продовольчої безпеки. *Економіка АПК*. 2005. № 1. С. 12.
17. Лісова Н. Вплив військових дій в Україні на екологічний стан території. Конструктивна географія і геоєкологія. *Наукові записки*. № 2. 2017. С. 165–173.

18. Макаренко С. С. Лісове господарство як суб'єкт економіко-суспільного інтересу. *Агросвіт*. 2018. № 24. С. 73–80. DOI: 10.32702/2306#6792.2018.24.73
19. Міністерство аграрної політики і продовольства України: офіційний веб-сайт. URL: <https://minagro.gov.ua> (дата звернення: 19.09.2022).
20. Огляд збитків від війни в сільському господарстві України. URL: https://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://kse.ua/wp-content/uploads/2022/06/Damages_report_issue1_ua-1.pdf (дата звернення: 18.10.2026).
21. Перегуда Ю. А. Експорт та імпорт аграрної продукції в умовах глобального регулювання та міжнародної торгівлі. *Економіка та суспільство*. 2023. Вип. 54. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-54-92>
22. Писаренко П., Самойлік М., Галицька М., Диченко О., Тараненко С. Дослідження впливу техногенного забруднення внаслідок воєнних дій на показники ґрунту агроценозів. *Аграрні інновації*. 2022. Т.14. С. 94–102.
23. План відновлення України. URL: <https://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://uploadssl.webflow.com> (дата звернення: 14.10.2023).
24. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо створення умов для забезпечення продовольчої безпеки в умовах воєнного стану: Закон України №2145-IX від 19 березня 2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-20#Text>
25. Російська війна руйнує природу всієї планети. URL: <https://www.savednipro.org/rosijska-vijna-rujnuje-prirodu-planeti/> (дата звернення: 20.11.2023).
26. Руденко І., Тронь О. Поля у вогні. URL: <https://suspilne.media/307620-pola-u-vogni-eksperti-rozpovili-ak-vplivae-vijna-na-roduscist-ukrainskih-zemel/> (дата звернення: 20.11.2023).
27. Русан В. М. Особливості функціонування аграрного сектору економіки в умовах війни URL: <https://niss.gov.ua/sites/default/files/2022-07/rusan.pdf> (дата звернення: 18.10.2023).
28. Стрілець Р. Шкода докільню. URL: <https://armyinform.com.ua/2023/04/15/shkoda-dovkillyu-vid-vijny-vzhe-perevyshhuye-19-tryljona-gryven-ruslan-strilecz/> (дата звернення: 20.11.2023).
29. Шарко І.О. Роль та тенденції розвитку сільськогосподарської галузі України. *Приазовський економічний вісник*. 2020. Випуск 1(18). С. 64–69. DOI: <https://doi.org/10.32840/2522-4263/2020-1-11>
30. Шинкарук Л. В, Титарчук І. М. Державні витрати у сфері сільського господарства та розвитку сільських територій. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Економіка і управління*. 2020. Том 31 (70). № 3. С. С. 109–116. DOI: <https://doi.org/10.32838/2523-4803/70-3-53>
31. Яких екологічних наслідків зазнала Україна за час війни окрім збитків від підриву Каховської ГЕС. Київська школа економіки. URL: <https://kse.ua/ua/about-the-school/news/yakih-ekologichnih-naslidkiv-zaznala-ukrayina-za-chas-viyini-okrim-zbitkiv-vid-pidrivu-kahovskoyi-ges/> (дата звернення: 20.11.2023).

ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ

УДК 519.6:004.8: 574.08:681.78: 378.147

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.1.4>

НАУКОВІ ПРОБЛЕМИ СТВОРЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО ЗАСТОСУВАННЯ «РОЮ» БЕЗПЛОТНИХ АПАРАТІВ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

Бондар О.І., Артюшин Л.М., Машков О.А., Присяжний В.І., Оводенко Т.С.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління

вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, м. Київ

mashkov_oleg_52@ukr.net

Розглянуті наукові проблеми щодо створення та застосування штучного інтелекту з метою забезпечення ефективного застосування «рою» безпілотних апаратів екологічного моніторингу. Означено характеристику алгоритмів керування «роєм» (методи та критерії оптимізації) під час розв'язання завдань екологічного моніторингу. Першою науковою проблемою є обґрунтування структури розподіленої системи керування групою безпілотних літальних апаратів та розроблення алгоритмів координації їх взаємодії для максимальної цільової ефективності всього «рою» в автономному режимі. Друга проблема – необхідність розроблення теорії функціонування системи керування групою безпілотних літальних апаратів, що дозволяє організувати їх узгоджену дію в автономному режимі на основі теорії мультиагентних систем, а також розроблення інтегрального показника якості оцінки групових дій безпілотних літальних апаратів. Третя проблема пов'язана з можливістю застосування технологій мультиагентних систем до задачі управління «роями». Четверта проблема стосується аспектів інформаційної безпеки групових мобільних роботизованих комплексів з ройовим інтелектом. Розглянуті проблеми пов'язані з розробкою та реалізацією самих алгоритмів управління «роєм» (методів і критеріїв оптимізації) для найбільш специфічних прикладних завдань в умовах екологічного моніторингу довкілля та природних ресурсів, об'єктів критичної інфраструктури. З цією метою можуть застосовуватися наступні «роєві» алгоритми: метод «рою» частинок, алгоритм мурашок, алгоритм штучної бджолиної колонії, штучна імунна система, алгоритм сірої вилки, алгоритм гравітаційного пошуку, алгоритм альтруїзму, алгоритм інтелектуальних крапель води, пошук стохастичної дифузії, багата оптимізація роїв. Розширення функціональних можливостей системи штучного інтелекту «рою» забезпечується з урахуванням принципів відкритості, комплексності та конкуренції в рамках концепції м'якого обчислення. Такий підхід передбачає використання теоретичних положень, які дозволяють раціонально організувати обчислювальну технологію обробки даних, а також формалізувати потік інформації в багатопроцесорному обчислювальному середовищі. На розглянутих принципах базується парадигма обробки інформації в інтелектуальній системі підтримки прийняття рішень, використання якої орієнтоване на нові покоління багатопроцесорних обчислювальних середовищ з урахуванням реальних даних про ситуацію в зоні застосування «рою»: принцип відкритості та комплексності, принцип конкуренції, принцип формалізації нечіткої інформації в багатопроцесорному обчислювальному середовищі, принцип комплексності, принцип нелінійної самоорганізації. Для визначення рекомендацій та перспектив подальшого розвитку штучних інтелектуальних «ройових» систем слід зазначити, що отримані результати можуть бути використані для забезпечення ефективного управління багаторойовими мобільними комплексами екологічного моніторингу (наземні, повітряні, морські). *Ключові слова:* багатопроцесорне обчислювальне середовище, екологічний моніторинг, захист довкілля та природних ресурсів, принципи управління «роєм», рій безпілотних літальних апаратів, технологія мультиагентних систем, штучний інтелект.

Scientific problems of creation and application of artificial intelligence to ensure the effective application of a swarm of unmanned devices for environmental monitoring. Bondar O., Artyushin L., Mashkov O., Prisyazhnyi V., Ovodenko T.

The work examines the scientific problems of creating and using artificial intelligence to ensure the effective operation of a swarm of unmanned environmental monitoring devices. Characteristics of the algorithms for environmental monitoring (methods and optimization criteria) are given in connection with the task of environmental monitoring. The first scientific problem is the organization of the structure of a distributed keratinization system by a group of unmanned aerial vehicles and the development of algorithms for coordinating their interaction for maximum target efficiency of the entire swarm in an autonomous mode. Another problem is the need to develop a theory of the functioning of the caravan system for a group of unmanned aerial vehicles, which allows them to organize their work in an autonomous mode based on the theory of multi-agent systems, as well as the development an integral indicator of the assessment of group activities of unmanned aircraft. The third problem is related to the possibility of stagnating the technology of multi-agent systems before the task of managing swarms. The fourth problem concerns the information security aspects of group mobile robotic systems with swarm intelligence. The problems associated with the development and implementation of the swarm control algorithms themselves (methods and optimization criteria) for the most specific applied tasks in the minds of environmental monitoring of wastewater and natural resources are considered. resources, critical infrastructure facilities. As a result, the following swarm algorithms may be involved: the particle swarm method, the goosebump algorithm, the piecemeal colony algorithm, the piecemeal immune system, the gray fork algorithm, the gravitational search algorithm, the altruism algorithm, the intelligent algorithm drops of water, the sound of stochastic diffusion, a lot of optimization of swarms. Expansion of the functional capabilities of the artificial intelligence system will be ensured by maintaining the principles of openness, complexity and competition within

the framework of the concept of soft calculation. This approach conveys a number of theoretical principles that allow one to rationally organize the computing technology of data processing, as well as formalize the flow of information in a multi-processor computing environment. The paradigm of information processing in an intelligent system is based on these principles in support of decision-making, which is oriented towards a new generation of rich-processor computing systems with the understanding of real data about the situation in the stagnant swarm zone: the principle of transparency and complexity, the principle of competition, the principle of formalization of fuzzy information in a multi-processor computing environment, principle of complexity, principle of nonlinear self-organization. For significant recommendations and prospects for the further development of piecemeal intelligent swarm systems, it is important to note that the results can be obtained as a means of ensuring effective management of a large number of mobile environmental monitoring systems (ground-based, wind, sea). *Key words:* multiprocessor computing environment, environmental monitoring, protection of the environment and natural resources, principles of swarm management, swarm of unmanned aerial vehicles, technology of multi-agent systems, artificial intelligence.

Постановка проблеми. Розгортання кількох безпілотних літальних апаратів (агентів) у складі великого «рою» для вирішення завдань забезпечення екологічної безпеки довкілля та природних ресурсів має свої переваги. Спільні дії кількох агентів є широким спектром застосування та мають переваги під час здійсненні екологічного моніторингу відповідних районів та об'єктів критичної інфраструктури. При цьому обстеження району та об'єктів спостереження здійснюється швидше, ніж за допомогою одного безпілотного літального апарату (БПЛА). Також з'являється змога застосовувати різноманітну апаратуру екологічного спостереження (в оптичному, радіолокаційному, інфрачервоному діапазонах тощо). Результатом будуть більш достовірні потоки даних, що будуть сформовані після комплексції (об'єднання) різних фізичних даних спостереження. Окрім того, з'являється можливість застосування «рою» агентів БПЛА на різних висотах та швидкостях, щоб здійснювати екологічний моніторинг з різних напрямів [1]–[7]. На рис. 1 зображена мережева схема керування польотом ««роєм» БПЛА.

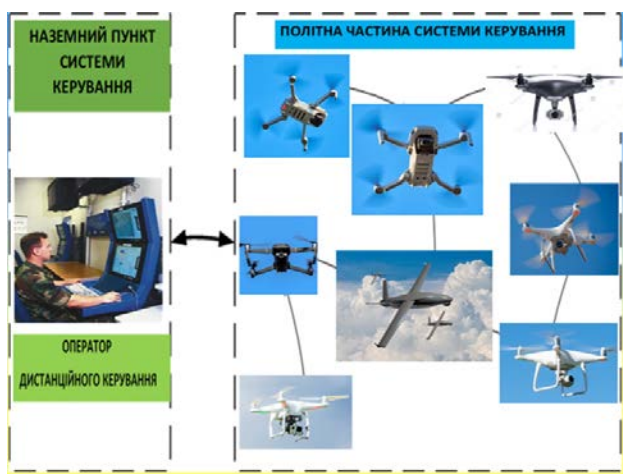


Рис. 1. Мережева схема керування польотом ««роєм» БПЛА

Слід враховувати, що ситуація в районі моніторингу може змінитися ще до того моменту, коли один БПЛА здійснить прохід над об'єктом спостереження, потім переміститься, щоб досліджувати інші об'єкти, а потім повернеться. Подібні ситуації виникають під час спо-

стереження великомасштабних явищ та надзвичайних ситуацій таких як повені, пожежі, техногенні аварії та катастрофи [3]. При цьому такі операції як пошуково-рятувальна місія (SAR) можуть вимагати залучення кількох агентів [3].

Систему з декількома транспортними засобами можна описати як ефективну, результативну, гнучку та більш толерантну до несправностей, ніж один агент [8]. Це робить доцільним мати рій БПЛА, які здійснюють завдання екологічного моніторингу. Успішне впровадження «рою» БПЛА продемонструвало виняткову здатність виконувати завдання в різних сферах, таких як сільське господарство, обстеження природних ресурсів води, ґрунтів, тваринного світу, пошуково-рятувальні та військові операції [3], [7], [9].

Непередбачені події, зокрема, несприятлива погода, завади, зіткнення з чужорідними тілами чи іншими агентами «рою», втрата зв'язку або помилки в схемах керування та програмному забезпеченні – лише деякі з подій, які можуть перешкоджати роботі «рою». Часто багатоагентні системи є взаємозалежними, що робить втрату навіть одного агента катастрофічною для всього «рою» та ефективності його місії [4]. Тому потрібні наукові розробки, спрямовані на підвищення стійкості роїв БПЛА.

На сьогодні, ройова робототехніка технологічно передбачає проектування, будівництво та розгортання груп роботів, які координують і спільно вирішують загальну проблему або виконують окремі завдання. Ця технологія черпає натхнення в природних самоорганізованих системах, таких як соціальні комахи, зграї риб або птахів, яким притаманна колективна поведінка на основі простих місцевих правил взаємодії. Як правило, ройова робототехніка реалізує інженерні принципи з вивчення природних систем. Розгортання кількох роботизованих комплексів (агентів) у складі великого «рою» має свої переваги. Тому спільні дії кількох роботів мають різні сфери застосування [5], [6], [10].

Можна виділити кілька можливих переваг, зокрема у випадку БПЛА. Рій БПЛА може досліджувати територію швидше, ніж один БПЛА, який пролітає над тією ж територією кілька разів. Розподіл функцій спостереження між окремими агентами, які оснащені обмеженим бортовим обладнанням,

дозволяє більш ефективно вирішувати завдання використання БПЛА з різним бортовим обладнанням, наприклад, для пошуково-рятувальної місії. Це робить більш життєздатним мати рій БПЛА, які намагаються виконати певне завдання. Однак складне середовище, в якому вони працюють, ускладнює створення стійких роїв БПЛА. Успішна реалізація групи БПЛА продемонструвала здатність виконувати завдання в різних галузях, таких як сільське господарство, обстеження техногенних небезпечних об'єктів, транспортних систем, енергетичних комплексів, природних ресурсів води, ґрунту, тваринного світу, пошуково-рятувальні операції, військові завдання [3], [4], [11].

На етапі розвитку безпілотної авіації екологічного моніторингу ведуться роботи зі створення нових безпілотних літальних апаратів, здатних вирішувати завдання спостереження в складі групи. У зв'язку з цим актуальним є розв'язання задачі обґрунтування структури розподіленої системи керування групою безпілотних літальних апаратів та розробки алгоритмів її функціонування. Це підвищить ефективність групового застосування безпілотних літальних апаратів екологічного моніторингу за рахунок координації їх спільних дій в автономному режимі.

У статті розглядаються проблеми управління групою («роєм») безпілотних літальних апаратів з використанням штучного інтелекту.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Застосування штучного 'ройового' інтелекту сприяє підвищенню ефективності використання «рою» безпілотних літальних апаратів для вирішення завдань забезпечення екологічної безпеки, захисту довкілля та природних ресурсів, виконання міжнародних зобов'язань України у сфері охорони навколишнього природного середовища. Тому необхідна наукова розробка та впровадження сучасних технологій забезпечення 'ройового' моніторингу при управлінні «роєм» безпілотних літальних апаратів [4], [12].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми створення та застосування штучного 'ройового' інтелекту для забезпечення ефективного використання «роєм» роботизованих систем розглядалися в роботах багатьох авторів [1]–[12].

Питання формування та розпізнавання зображень у системах штучного інтелекту обговорюється в роботах [4], [5]. Генетичні та еволюційні алгоритми, інструменти нечіткого багатокритеріального прийняття рішень розглядаються в роботах [9], [10]. У роботах [7], [11], [12] наведено обґрунтування побудови експертної системи підтримки прийняття рішень в інтелектуальній системі моніторингу довкілля, а також наведено результати екологічного прогнозування та управління

екологічною безпекою запланованої діяльності з використанням управлінської інформації систем підтримки прийняття екологічних рішень. дані.

Проведений аналіз показує, що на даний час залишаються невирішеними питання наукового обґрунтування створення та застосування штучного інтелекту для забезпечення ефективного застосування «рою» безпілотних апаратів екологічного моніторингу.

Невирішена раніше частина загальної проблеми.

Пропонується підвищити ефективність керування «роєм» безпілотних літальних апаратів шляхом впровадження в систему управління сучасних інформаційно-телекомунікаційних технологій, використання систем штучного інтелекту при отриманні, обробці, візуалізації інформації та переміщенні кожного елемента «рою». Запропонований підхід дає змогу визначити парадигму обробки інформації в інтелектуально-інформаційній системі «рою» для забезпечення ефективного використання групи безпілотних літальних апаратів екологічного моніторингу.

Мета дослідження – науково обґрунтувати застосування штучного 'ройового' інтелекту для забезпечення ефективного використання «рою» безпілотних літальних апаратів екологічного моніторингу.

Результати досліджень.

1. Алгоритми керування «роєм» (методи та критерії оптимізації) при розв'язанні завдань екологічного моніторингу.

Необхідність вирішення наукової проблеми керування польотом зграї БПЛА зумовлена технологією створення та методикою застосування 'ройового' інтелекту для керування групами малогабаритних БПЛА екологічного моніторингу. Розробка методології 'ройового' інтелекту передбачає врахування тенденцій розвитку малих БПЛА, зокрема перехід від використання одиничних БПЛА до груп і комплексів БПЛА. Основні проблеми управління групою БПЛА екологічного моніторингу пов'язані з використанням методів 'ройового' інтелекту для вирішення практичних завдань, що підтверджується комп'ютерним моделюванням [12].

Розробка штучного 'ройового' інтелекту передбачає визначення предмета дослідження – інформаційної взаємодії елементів групи безпілотних літальних апаратів та їх уразливості до деструктивного інформаційного впливу.

Проведений аналіз показав, що інформаційна взаємодія групи безпілотних літальних апаратів потребує забезпечення їх функціональної стійкості в умовах деструктивного інформаційного впливу.

Результати проведеного аналізу свідчать, що можливо визначити та формалізувати наступні нау-

кові проблеми створення та застосування штучного інтелекту для забезпечення ефективного застосування «рою» безпілотних апаратів екологічного моніторингу.

Першою науковою проблемою є обґрунтування структури розподіленої системи керування групою безпілотних літальних апаратів та розробка алгоритмів координації їх взаємодії для максимальної цільової ефективності всього «рою» в автономному режимі. При обґрунтуванні структури системи керування групою безпілотних літальних апаратів та розробці алгоритму координації їх взаємодії запропоновано використовувати методи системного аналізу [1], [2]. Метод аналізу ієрархій та методи лінійного програмування можуть бути використані для синтезу показника ефективності скоординованих дій БПЛА, а метод імітаційного моделювання – для оцінки ефективності алгоритму для координації дій безпілотних літальних апаратів у різних ситуаціях [7].

Другою проблемою є необхідність розробки теорії функціонування системи керування групою безпілотних літальних апаратів, що дозволяє організувати їх узгоджену дію в автономному режимі на основі теорії мультиагентних систем, а також розробки інтегрального показника якості оцінки (ефективності) групових дій безпілотних літальних апаратів. Рішення даної проблеми передбачає використання розподіленої системи управління групою БПЛА з метою суттєвого підвищення ефективності групових дій БПЛА. Розподілена мережецентрична система управління групою безпілотних літальних апаратів та алгоритми її роботи можуть бути використані розробниками безпілотних літальних апаратів при проектуванні нових зразків авіаційної техніки.

Третя проблема пов'язана з можливістю застосування технологій мультиагентних систем до задач управління «роями» БПЛА. На основі опису ключових особливостей 'ройового' контролю та локального протоколу голосування доцільне побудувати стратегію адаптивного керування в умовах невизначеності. При цьому алгоритм управління ««роєм» БПЛА формується з урахуванням досягнення консенсусу агентів.

Четверта проблема стосується інформаційної безпеки групових мобільних роботизованих комплексів з ройовим інтелектом. Доцільне враховувати методи впливу факторів завад, помилок та протидії на ройовий алгоритм. Чисельне моделювання можливих деструктивних інформаційних впливів на роботу – технічні системи «рою» вказує на змогу усунення загроз групі динамічних об'єктів – втручання в управління ««роєм» з боку порушників. Це дозволяє обґрунтувати нові вимоги щодо перспективних механізмів забезпечення інформаційної безпеки ройових систем.

Системи ройового інтелекту, як правило, складаються з багатьох агентів (елементів «рою»), які локально взаємодіють один з одним і з навколишнім середовищем. Ідеї такої взаємодії, як правило, походять від природи, а особливо від біологічних систем. У ройовій системі немає централізованої системи управління, яка б вказувала кожному з агентів, що робити. При цьому кожен агент (елемент) дотримується простих правил, а локальні і, певною мірою», випадкові взаємодії з іншими агентами призводять до виникнення розумної групової поведінки.

Варто зазначити, що точного (математично формалізованого) визначення ройового інтелекту досі не сформульовано. Однак при цьому ройовий інтелект розглядається як мультиагентна система, що має властивості самоорганізації та здатністю демонструвати деяку інтелектуальну поведінку.

Ця проблема пов'язана з розробкою та реалізацією самих алгоритмів управління ««роєм» (методів і критеріїв оптимізації) для найбільш специфічних прикладних завдань в умовах екологічного моніторингу довкілля та природних ресурсів, об'єктів критичної інфраструктури. З цією метою можуть застосовуватися наступні роєві алгоритми: метод «рою» частинок, алгоритм мурашок, алгоритм штучної бджолоїної колонії, штучна імунна система, алгоритм сірої вилки, алгоритм гравітаційного пошуку, алгоритм альтруїзму, алгоритм інтелектуальних крапель води, пошук стохастичної дифузії, оптимізація роїв та ін.

1. Метод «рою» частинок (Particle Swarm Optimization) є методом чисельної оптимізації, для якого немає необхідності знати точний градієнт функції, яка оптимізується відповідно до висновків Кеннеді, Еберхарта та Шіі. Цей метод в першу чергу призначений для моделювання соціальної поведінки. У цьому випадку алгоритм пробачення було визначено придатним для успішної оптимізації. У книзі Кеннеді та Еберхарта описано багато філософських аспектів цього методу, так званого 'ройового' інтелекту. Були проведені великі дослідження методу роїв частинок у Філді [7]. Метод «рою» частинок оптимізує попередньо сформульовану функцію, де можливі рішення можуть бути вирішені за допомогою простої формули, яка дає змогу визначити найбільш ефективний спосіб розміщення частинок у рої.

2. Алгоритм мурахи – один з ефективних поліноміальних алгоритмів для знаходження наближених розв'язувань задач комівояжера, а також подібних задач пошуку маршрутів на графах. Такий підхід пропонує бельгійський дослідник Марко Доріго. Суть підходу полягає в аналізі та використанні моделі поведінки мурах, які шукають шляхи від колонії до їжі. Алгоритм заснований на поведінці колонії мура-

шок – позначення хороших доріг великою кількістю феромонів. Робота починається з розміщення мурах у вершинах графа, потім починається рух мурах. Напрямок визначається імовірнісним методом, який враховує: ймовірність переходу на графі, довжину відповідних переходів, кількість феромонів на кожному з переходів та ефективність алгоритму.

3. Алгоритм штучної бджолоїної колонії – це ройовий алгоритм, заснований на мета-евристичному алгоритмі, представленому Карабогом у 2005 році [5]. Він імітує поведінку медоносних бджіл, що шукають корм. Алгоритм створення штучної бджолоїної колонії складається з трьох етапів: робоча бджола, бджола-наглядач і бджола-розвідник. Бджоли використовують алгоритм для пошуку рішень, вибраних на основі детермінованого відбору робочими бджолами та ймовірнісного відбору бджолами-наглядачами. Бджола-розвідниця забезпечує відмову від виснажених джерел їжі в процесі пошуку їжі. За цією аналогією рішення, які більше не потрібні для пошуку рішення, відкидаються. Далі додаються нові рішення (за аналогією з дослідженням нових регіонів та об'єктів).

4. Штучна імунна система – це адаптивна розподілена обчислювальна система, що використовує моделі, принципи, механізми та функції, описані в теоретичній імунології, які використовуються для вирішення прикладних задач [6, 8]. Незважаючи на те, що природні імунні системи ще далеко не до кінця вивчені, сьогодні існує принаймні три теорії, які пояснюють функціонування імунної системи та описують взаємодію її елементів, а саме: теорія негативного відбору, теорія клонального відбору та теорія імунної мережі. Вони стали основою для створення трьох алгоритмів функціонування штучної імунної системи.

5. Алгоритм «сірих вовків» – це метаевристичний алгоритм оптимізації, запропонований С. Мірамунічем та Дж. Р. Мірамунічем у 2014 році [7]. Цей алгоритм заснований на імітації соціальної поведінки та ієрархії вовків у природі. Алгоритм використовує чотири типи вовків: альфа, бета, дельта і омега. Альфа-вовки домінують і визначають напрямки полювання, бета-вовки підкоряються та допомагають альфа-вовкам, дельта-вовки допомагають іншим вовкам і слідує за лідерами, а омега-вовки зазвичай слідує за іншими та виконують більшу частину роботи. Ця ієрархія використовується в алгоритмі відновлення положення вовків і пошуку глобального оптимуму. У кожній ітерації алгоритму альфа-, бета- та дельта-вовки оновлюють свої позиції в просторі рішень, використовуючи власні найкращі рішення та найкращі рішення інших вовків. Вовки Омега покращують свої позиції, переслідуючи найкращих вовків. Як і інші алгоритми, алгоритм опти-

мізації сірого вовка використовує поведінку та взаємодію тварин у природі для створення ефективних методів вирішення складних завдань оптимізації робототехнічних комплексів.

6. Алгоритм гравітаційного пошуку – це алгоритм пошуку, заснований на законі всесвітнього тяжіння та поняттях взаємодії фізичних тіл. Алгоритм заснований на теорії гравітації з фізики Ньютона. В алгоритмі в якості агентів пошуку використовуються гравітаційні маси (функціональна вага). Важливою особливістю даного алгоритму є можливість пошуку найбільш ефективних рішень при розгляді різноманітних задач оптимізації нелінійних функцій.

7. Алгоритм альтруїзму. Дослідники зі Швейцарії розробили алгоритм, заснований на правилі сімейного відбору Гамільтона. Алгоритм показує, як альтруїзм особини в рої може розвиватися з часом і призводити до більш ефективної поведінки «рою» [12].

8. Алгоритм інтелектуальної краплі води – це ройовий алгоритм, заснований на алгоритмі оптимізації, який використовує методи природних річок і те, як вони знаходять майже оптимальні шляхи до місця призначення. Алгоритм знаходить оптимальні або майже оптимальні шляхи в результаті реакцій, що відбуваються між краплями води, коли вода тече руслом річки. У цьому алгоритмі кілька штучних крапель води залежать одна від одної та здатні змінювати своє оточення таким чином, щоб знаходити оптимальний шлях по шляху найменшого опору. Отже, даний алгоритм є конструктивним алгоритмом оптимізації, орієнтованим на сукупність [12].

9. Стохастичний дифузійний пошук. Цей алгоритм передбачає застосування методів Монте-Карло в роботі «рою» в реальному часі.

10. Багатоступенева оптимізація. Це новий, ще не достатньо розроблений підхід до створення та використання ройових груп для завдань екологічного моніторингу.

2. Інформаційна модель інтегрованого середовища штучно інтелектуальної роєвої системи екологічного моніторингу.

Для створення інформаційної моделі, як основи для створення технології системи штучного 'ройового' інтелекту застосовуємо наступні твердження.

Твердження 1. Формалізація знань під час обробки інформації в ройовій системі при управлінні ройовими елементами складає основу предметної області, виокремленої із загальної проблемної області теорії управління.

Твердження 2. Структурування знань у системі штучного 'ройового' інтелекту здійснюється шляхом вивчення багатьох об'єктів (зовнішнього середовища, елементів «рою»), динаміки інформаційно-механічної взаємодії та виявлення структури причинно-наслідкових зв'язків між ними.

Твердження 3. Інформаційна модель знань у системі штучного інтелекту «рою» реалізована на основі формалізованих моделей, які визначають елементи «рою» та зв'язки між ними. Така модель дає змогу за допомогою системи критеріїв оцінити відповідність динаміки поточної ситуації процесам, які існують у реальній системі.

У системі штучного інтелекту «рою» інформація обробляється в режимі реального часу в розподіленому багатопроекторному обчислювальному середовищі на основі інформаційної моделі, яка враховує наступні компоненти: S – концептуальна модель; S – система моделювання (об'єкт); $S1(M), \dots, Sm(M)$ і $D1(M), \dots, Dn(M)$ – статичні та динамічні моделі прогнозування та оперативного управління; U – компонент керування, що забезпечує перехід до статичної та динамічної моделей; L – мова моделювання, яка характеризує типові математичні схеми та структури; A – алгоритм поведінки системи; $K(N)$ і $K(I)$ – критеріальні співвідношення, що визначають локальні та глобальні системи.

Організація процесу керування в ройовій системі штучного інтелекту базується на «моделі моделей», що отримала назву «репромодель». Репромодель – це спрощений прототип алгоритмів прийняття рішень, створених у системі штучного інтелекту. Така інтерпретація дає змогу ефективно використовувати апріорну та оперативну інформацію в системі S під час її функціонування.

Перехід від моделі $S(M)$ до моделі $D(M)$ здійснюється через опис концептуальної моделі системи S . При виборі схеми моделювання поведінки ройових елементів вводиться поняття середовища W , що дозволяє використовувати інформацію прикладного характеру J про цілі управління, закони управління ройовими елементами, наявний математичний апарат для дослідження методів управління «роєм», і алгоритми.

Серед статичних моделей $S1(M), \dots, Sm(M)$, інтегрованих у репромодель, слід виділити ансамбль моделей, за допомогою яких інтерпретується поточна ситуація. Динамічні моделі $D1(M), \dots, Dn(M)$ забезпечують прогноз та оперативне керування поведінкою елементів «рою» в процесі їх поведінки під впливом зовнішніх збурень.

В якості динамічних ройових моделей доцільно використовувати модифіковані моделі Даффінга та Матґе, а також системи диференціальних рівнянь, що описують поведінку елементів «рою» та динамічного об'єкта спостереження в екстремальних ситуаціях [11].

3. Принципи організації ройової інтелектуальної системи безпілотних літальних апаратів екологічного моніторингу.

Підвищення ефективності функціонування, достовірності оцінки та прогнозу досліджуваної

ситуації в ройовій інтелектуальній системі екологічного моніторингу досягається використанням принципів обробки інформації в ройовому багатопроекторному обчислювальному середовищі (рис. 2).

Розширення функціональних можливостей системи штучного інтелекту «рою» забезпечується з урахуванням принципів відкритості, комплексності та конкуренції в рамках концепції м'якого обчислення. Опишемо ці принципи, використання яких спрямоване на керування «роєм» БПЛА з урахуванням реальних даних про обстановку в районі застосування (планованої діяльності) [7].



Рис. 2. Принципи організації системи управління керування «роєм» безпілотних апаратів на основі технології інтелектуальних систем

Принцип відкритості та комплексності. Практичні застосування методів штучного інтелекту пов'язані з концепцією відкритих систем, які включають велику кількість різноманітних елементів.

Відкритість ройової системи штучного інтелекту відкриває нові можливості для керування поведінкою елементів «рою» в умовах невизначеності та неповноти вихідної інформації. Як один із напрямків вирішення таких завдань доцільно використовувати еволюційно-когнітивний контроль у вигляді набору правил.

Теоретична основа для створення інтелектуальних ройових систем формується на основі ефективного поєднання накопиченої системи знань з новими підходами та парадигмами штучного інтелекту. Серед них важлива роль належить методам і моделям, які забезпечують формалізацію та інтеграцію знань, механізм логічного висновку, пошук рішень і видачу практичних рекомендацій. Поряд із традиційними методами «інженерії знань» тут використовується поняття «soft computing» [11], [12].

Підвищення ефективності управління ««роєм» досягається за рахунок впровадження методів і засобів системної технології штучного інтелекту при управлінні елементами «рою» в складних, особливо нестандартних (нестандартних і екстремальних) ситуаціях.

Принцип змагальності.

Реалізація принципу змагальності дозволяє забезпечити раціональну організацію штучно інтелектуальної ройової системи в задачі практичного застосування «рою», а також формалізувати потік інформації між елементами «рою» та зовнішніми точками обробки інформації в багатопроекторне обчислювальне середовище «рою» [9], [12]. Принцип змагальності під час виборі обчислювальної техніки передбачає порівняльний аналіз результатів оцінки ситуації за допомогою традиційних алгоритмів та нейромережових моделей. Використовувані процедури паралельної обробки інформації під час реалізації цього принципу передбачають виконання процедур отримання інформації, логічного висновку, формування практичних рекомендацій щодо дій та руху.

Принцип формалізації нечіткої інформації в багатопроекторному обчислювальному середовищі «рою» дозволяє обмінюватися нечіткою інформацією в умовах динаміки «рою» та постійно мінливого зовнішнього середовища. Використання цього принципу в ройовій системі зі штучним інтелектом дає наступні переваги:

- відкриває перспективи реалізації штучної інтелектуальної ройової системи в умовах обробки системи нечітких знань;

- забезпечує функціонування штучно інтелектуальної ройової системи в режимі реального часу та знижує витрати на розробку апаратного забезпечення ройової системи;

- усуває складність розв'язування задач під час розпаралелювання обчислювального процесу зі значною нерегулярністю обчислень, характерною для задач керування ройовими елементами.

Принцип комплексності. Управління ««роєм», як складною системою, передбачає інтерпретацію динамічних ситуацій, моделювання з урахуванням вимог не тільки до адекватності, але й до складності самої моделі. Розв'язання такої проблеми передбачає розробку методів та алгоритмів, що забезпечують пошук оптимальних моделей. На основі принципу комплексності створено загальну теорію складності систем, яка потребує конкретизації її положень щодо задач моделювання поведінки окремих елементів «рою». При цьому складність моделі розглядається як показник, що відображає реалізацію обчислювальної техніки та забезпечує досягнення мети на заданому рівні управління якістю та інтерпретацією отриманих даних [8].

Принцип нелінійної самоорганізації. Функціонування системи штучного інтелекту «рою»

передбачає моніторинг ситуації та прогнозування розвитку подій в умовах безперервних змін динаміки ройових елементів та зовнішнього середовища. З метою оптимізації ефективного управління використовуються адаптивні алгоритми, що здатні змінювати структуру інформації під час зміни поведінки елементів «рою». За синтезу таких алгоритмів використовуються різні підходи – детермінований підхід, стохастичний підхід і підхід на основі принципів самоорганізації. Перші два підходи припускають наявність вихідних даних повної інформаційної бази, тобто всіх визначальних параметрів і факторів, які необхідно враховувати при управлінні ««роєм».

Реалізація принципу нелінійної самоорганізації під час управління ««роєм» потребує мінімальної кількості апріорної інформації. Методологічною основою цього принципу є припущення, що вся інформація про структуру і поведінку «рою» та його елементів міститься в даних вимірювань і критеріальних співвідношеннях, які визначають вибір структури «рою».

Принцип нелінійної самоорганізації найбільш ефективний у задачах контролю та прогнозування екстремальних (нештатних, аварійних, катастрофічних) ситуацій, пов'язаних із раптовими (стрибокподібними) змінами задачі екологічного моніторингу. Штучна інтелектуальна ройова система на основі прогнозованих даних виробляє дієві рекомендації таким чином, щоб уникнути цієї небезпеки. Перевірка правильності алгоритмів управління ««роєм» та прийняття управлінських рішень щодо розподілу завдань між елементами «рою» здійснюється формально на основі загальних вимог до алгоритмічного забезпечення системи штучного інтелекту.

Висновки. У праці означені наукові проблеми щодо створення та застосування штучного 'ройового' інтелекту для забезпечення ефективного використання роя безпілотних літальних апаратів. Алгоритми управління ««роєм» (методи та критерії оптимізації) формалізовані під час розв'язання конкретних прикладних задач використання «рою» рухомих об'єктів: метод «рою» частинок, алгоритм мурахи, алгоритм бджоли, штучна імунна система, алгоритм сірого вовка, алгоритм пошуку гравітації, алгоритм альтруїзму, інтелектуальний алгоритм. краплинний алгоритм води, стохастичний дифузійний пошук, багатороева оптимізація. Запропоновано парадигму обробки інформації в ройовій системі штучного інтелекту для забезпечення керування ««роєм» безпілотних літальних апаратів. Підвищення достовірності оцінки та прогнозу ситуацій під час управлінні 'роями' на основі систем штучного інтелекту досягається за допомогою нового підходу до обробки інформації на основі розвитку концепції «м'яких обчислень». Такий підхід передбачає використання теоретичних положень, які дозволяють раціонально організувати

обчислювальну технологію обробки даних, а також формалізувати потік інформації в багатопроекторному обчислювальному середовищі. На розглянутих принципах базується парадигма обробки інформації в інтелектуальній системі підтримки прийняття рішень, використання якої орієнтоване на нові покоління багатопроекторних обчислювальних середовищ з урахуванням реальних даних про ситуацію в зоні застосування «рою»: принцип відкритості та комплексності, принцип конкуренції, принцип фор-

малізації нечіткої інформації в багатопроекторному обчислювальному середовищі, принцип комплексності, принцип нелінійної самоорганізації.

Для означення рекомендацій та перспектив подальшого розвитку штучних інтелектуальних ройових систем слід зазначити, що отримані результати можуть використовуватися з метою забезпечення ефективного управління багаторойовими мобільними комплексами екологічного моніторингу (наземні, повітряні, морські).

Література

1. Бондар О.І., Машков О.А., Присяжний В.І., Оводенко Т.С., Печений В.Л. Парадигма обробки інформації в інтелектуальній інформаційній системі для підтримки прийняття рішень у галузі екологічної безпеки. Екологічні науки: науково-практичний журнал. Київ ДЕА, -Випуск 4(49), 2023, с.144-152.
2. Концепція створення інтелектуальної інформаційної системи для підтримки прийняття рішень у галузі екологічної безпеки. Бондар О.І., Машков О.А., Присяжний В.І., Оводенко Т.С., Печений В.Л. / Екологічні науки: науково-практичний журнал. Київ, ДЕА, -Випуск 3(48), 2023, с.7-16.
3. Машков О.А., Івашенко Т.Г., Мухіна К.Є., Печений В.Л. Інтеграція аерокосмічних технологій в систему управління екологічною безпекою: оцінка ефективності застосування системи підтримки прийняття управлінських інформаційних екологічних рішень. Екологічна безпека та технології захисту довкілля: науковий журнал, №4, 2023, с. 20-27.
4. Aboul E. H. Swarm Intelligence: Principles, Advances, and Applications. Aboul Ella Hassanien, Eid Emary. – CRC Press, 2016. 210 p.
5. Alyoubi B.A. Decision support system and knowledge-based strategic management. ELSEVIER. 2015. № 65 С. 278-284.
6. Khodashahri N.G, Sarabi M.H. Decision support system (DSS). Singaporean journal of business economics and management studies. 2013. № 6. С. 94-102.
7. Mashkov O.A., Abidov S.T., Ivashchenko T.G., Ovodenko T.S., Pechenyi V.L. Peculiarities of ecological forecasting with the help of artificial intelligent management decision support systems/ Ecological sciences: scientific and practical journal. K.: DEA, Issue 1(46), 2023, No. 5(44), p. 168-174.
8. Mashkov V.A., Mashkov O.A.. Interpretation of diagnosis problem of system level self-diagnosis. Mathematical Modeling and Computing, 2(1), pp. 71-76, 2015.
9. Shah-Hosseini, Hamed. The intelligent water drops algorithm: a nature-inspired swarm-based optimization algorithm (англ.) International Journal of Bio-Inspired Computation : journal. 2009. Vol. 1, №. 1/2. P. 71-79.
10. Tripathi K.P. Decision support system is a tool for making better decisions in the organization. Indian Journal of Computer Science and Engineering. 2017. № 21. С. 112-117.
11. Xin-She Yang Nature-Inspired Optimization Algorithms. Yang Xin-She. – London: Elsevier, 2014. 265 p.
12. Synopsis of the lecture “Linear models: statistical view” [Course “Training on Marked Data”]. URL: <https://www.coursera.org/learn/supervised-learning/supplement/Dw3Ws/konspiekt> (date of application 01.03.2017) – Name from the screen.

МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАФТОГАЗОВОГО КОМПЛЕКСУ НА СТАН ДОВКІЛЛЯ (НА ПРИКЛАДІ КАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ)

Давибіда Л.І., Карпінський Б.В.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
вул. Карпатська, 15, 76019, м. Івано-Франківськ
lidia.davybida@nung.edu.ua, karpinskijbohdan@gmail.com

У роботі розглянуто сучасні інструменти моніторингу навколишнього природного середовища на основі геоінформаційних систем і технологій, у першу чергу – на основі даних дистанційного зондування Землі. Згадані інструменти є універсальними засобами для оцінки екологічного стану територій при проведенні досліджень регіонального, національного і глобального масштабів. Сучасний розвиток можливостей глобального супутникового моніторингу дозволяє ефективно використовувати дані дистанційного зондування, отримані з різних супутників і розміщені на веб-платформах з відкритим доступом, і для спостереження за об'єктами нафтогазового комплексу, що має значний вплив на геологічне середовище, особливо у районах довготривалого видобутку вуглеводнів (нафти і газу). На теренах Карпатського регіону видобуток нафти і газу розпочався ще у другій половині XIX століття. На сьогодні в межах регіону розташовано близько 6000 ліквідованих і законсервованих нафтогазових свердловин, які є потенційно небезпечними для довкілля, оскільки часто є джерелами загазованості і нафтовиливів. Слід зазначити, що єдиної методики визначення зон вуглеводневого забруднення, джерелом якого є гірничі виробки та ліквідовані або законсервовані свердловини, для території регіону на даний час не існує. Авторами розглянуто функціональні можливості веб-ресурсів Національного управління з аеронавтики і дослідження космічного простору (NASA), Європейського космічного агентства (ESA) і корпорації Google, які надають відкритий доступ до результатів глобальних спостережень, що можуть бути використані для комплексної оцінки забруднення довкілля із застосуванням геоінформаційних систем (ГІС). На основі хмарної геоінформаційної платформи Google Earth Engine, даних, отриманих за допомогою супутникової місії Sentinel-5, і розробленого авторами алгоритму створено інтерактивні картографічні моделі забруднення атмосферного повітря досліджуваної території метаном (CH₄). Побудований графік середньомісячних показників вмісту метану (CH₄) в атмосфері над територією Карпатського регіону, підтверджує суттєве зростання рівня забруднення протягом п'ятирічного періоду спостережень у 2019–2023 роках. Отримані результати є основою для подальшої модернізації та розвитку системи моніторингу довкілля і розробки концепції відновлення території відповідно до завдань декарбонізації і досягнення цілей сталого розвитку. *Ключові слова:* супутниковий моніторинг, метан, геологічне середовище, геоінформаційні системи, Sentinel-5 TROPOMI.

Potential for using remote sensing data to study the impact of the oil and gas sector on the environment (the case of the Carpathian region). Davybida L., Karpinskiy B.

The article considers modern tools for environmental monitoring based on geographic information systems and technologies, primarily on the basis of remote sensing data. These tools are universal for assessing the ecological state of territories when carrying out research on a regional, national and global scale. The current development of global satellite monitoring capabilities makes it possible to effectively use remote sensing data received from various satellites and stored on open access web platforms to monitor oil and gas facilities that have a significant impact on the geological environment, especially in areas of long-term hydrocarbon (oil and gas) exploration. Oil and gas production in the Carpathian region began in the second half of the nineteenth century. Today, there are around 6000 abandoned and mothballed oil and gas wells in the region, which are potentially hazardous to the environment as they are often sources of gas pollution and oil spills. It should be noted that there is currently no unified methodology for identifying areas of hydrocarbon pollution caused by mines and abandoned or mothballed wells in the region. The authors consider the functionality of the web resources of the National Aeronautics and Space Administration (NASA), the European Space Agency (ESA) and Google Corporation, which provide open access to the results of global observations that can be used for a comprehensive assessment of environmental pollution using geographic information systems (GIS). Based on the Google Earth Engine cloud geoinformation platform, data obtained from the Sentinel-5 satellite mission, and an algorithm developed by the authors interactive mapping models of methane (CH₄) air pollution of the study area were created. The graph of average monthly atmospheric methane (CH₄) over the territory of the Carpathian region confirms a significant increase in the level of pollution over the five-year observation period in 2019–2023. The results obtained are the basis for further modernisation and development of the environmental monitoring system and the development of a concept for the restoration of the territory in accordance with the objectives of decarbonisation and achievement of sustainable development goals. *Key words:* satellite monitoring, methane, geological environment, geoinformation system, Sentinel-5 TROPOMI.

Постановка проблеми. Транскордонна територія Карпатського регіону (рис. 1), до якого прийнято відносити Львівську, Івано-Франківську, Закарпатську та Чернівецьку області, в межах яких розташовані Українські Карпати, характеризується значним

техногенним навантаженням [1]. Суттєвий внесок у забруднення довкілля і порушення екологічного стану геологічного середовища здійснюють об'єкти нафтогазового комплексу, оскільки видобуток нафти і газу в межах території дослідження розпочався

ще у XIX столітті. За підрахунками [2] у регіоні на сьогодні знаходиться біля 6000 законсервованих або ліквідованих нафтогазових свердловин, які є потенційними джерелами забруднення атмосферного повітря, ґрунтів, поверхневих та підземних вод за рахунок фільтрації вуглеводнів та викидів природного газу, основним складником якого є метан (CH_4).

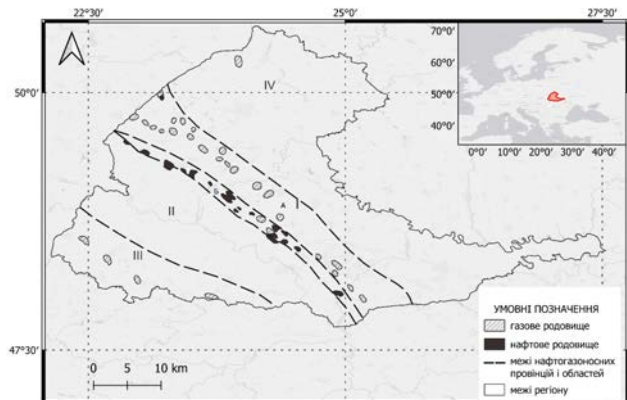


Рис. 1. Розташування території досліджень і Західноукраїнський нафтогазоносний регіон за [3]: нафтогазоносні області (тектонічні елементи): I – Передкарпатська (А – Більче-Волицька газонасна зона, Б – Бориславсько-Покутська газонафтоносна зона); II – Складчастих Карпат; III – Закарпатська; IV – Волино-Подільська)

Актуальність дослідження. Дистанційне зондування вже віддавна ефективно використовується для геологічного картографування, визначення стану ґрунтового покриву, оцінки впливу на навколишнє середовище, виявлення нафтового забруднення шельфу та моніторинг розливів нафти у акваторіях. Із запуском програми Copernicus Європейського космічного агентства, в межах якої підтримуються моніторингові місії оптичних та супутників, а також американського супутника Landsat 8 та інших (наприклад, супутникових місій таких організацій, як RADARSAT, Planet Labs і ICEYE) велика кількість актуальних і часто безкоштовних даних дають змогу набагато точніше та швидше проводити систематичні дослідження у великих масштабах [4]. Дані, отримані за допомогою цих супутників, успішно застосовуються для моніторингу впливу об'єктів нафтогазового комплексу на всі без винятку компоненти довкілля. На сьогодні актуальним завданням є інтеграція супутникових даних у середовищі геоінформаційних систем і створення ефективних алгоритмів обробки та інтерпретації доступної геопросторової інформації, зокрема із застосуванням хмарних обчислень.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Метан (CH_4) є другим за поширеністю після вуглекислого газу (CO_2) парниковим газом антропогенного похо-

дження. За даними Управління з охорони довкілля США (U.S. Environmental Protection Agency, EPA) на нього припадає близько 16% глобальних викидів [5]. Здатність метану утримувати тепло в атмосфері більш ніж у 28 разів сильніша порівняно із вуглекислим газом. За останні два століття концентрація метану в атмосфері зросла більш ніж удвічі, в основному через техногенний вплив, зокрема – через видобуток та транспортування нафти і газу. Оскільки метан є сильним парниковим газом і його життєвий цикл у атмосфері є коротшим порівняно з вуглекислим газом, досягнення значних скорочень викидів матиме швидкий і значний вплив на розвиток процесів глобального потепління [6].

Дистанційне зондування дозволяє швидко виявляти можливі витіки метану і визначати масштаби аварій та їхнього впливу на навколишнє середовище, а отже – є незамінним інструментом для отримання оперативної інформації для прийняття управлінських рішень і розробки рекомендацій для створення екологічної системи управління природними ресурсами і забезпечення промислової безпеки. Зокрема, супутникові знімки і продукти їх аналізу необхідні для виявлення районів розвитку небезпечних геологічних, техногенних і природних процесів і явищ, моніторингу деформації земної поверхні за даними космічної радіолокації, інвентаризації та паспортизації забруднених і порушених земель і водойм, створення екологічних схематичних карт, у тому числі й інтерактивних, масштабу 1:25000 і дрібніше.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Враховуючи актуальність тематики, а також відкритий доступ до значної кількості даних дистанційного моніторингу (зокрема, Sentinel-1, 2, 5, Landsat-8, 9, MODIS та ін.) й інструментів для їх завантаження, візуалізації й аналізу (таких, як Earth Explorer, EO Browser, Copernicus Browser, NASA Giovanni, Google Earth Engine, тощо), інтерес дослідників і кількість відповідних публікацій щороку зростає [4, 7, 8]. Важливими є і дослідження із застосуванням ГІС і ДЗЗ [9, 10], спрямовані на оцінку впливу на довкілля України російської воєнної агресії, розробку шляхів відновлення і відбудови з урахуванням вимог екологічної модернізації промисловості і досягнення цілей декарбонізації.

Авторами [11] розроблено загальну методико-технологічну схему дистанційного моніторингу вуглеводневого забруднення геологічного середовища й оцінки ризиків виникнення надзвичайних ситуацій на ділянках довготривалого видобутку нафти і газу. У якості пілотних ділянок дослідження були розглянуті території розташування покинутих свердловин в районі міста Борислав. Також у роботі визначено головні об'єкти супутникового моніторингу стану забруднення навколишнього середовища України внаслідок впливу нафтогазового комплексу, серед яких і викиди забруднюючих речовин і парникових газів у атмосферу.

Поєднання супутникових спостережень, зокрема даних сенсора Sentinel-5 TROPOMI, і спостережень за допомогою наземних мереж має ряд переваг для моделювання і оцінки якості атмосферного повітря в районах видобутку вуглеводнів і може бути використано для складання прогнозів якості повітря, оперативної фіксації викидів природного газу та інших забруднювачів, моніторингу переносу і розсіювання забруднення в атмосфері [12, 13].

Недоліки використання даних ДЗЗ під час з'явлення та моніторингу вуглеводневого забруднення на суші окреслено в роботі [4]. Так, визначено, що обмеження полягають у недоступності для широкого загалу високоточних гіперспектральних зображень комерційних супутників, відсутності покриття сенсорами наявних бортових чи безпілотних літальних апаратів у віддалених місцевостях, а також у тому, що діапазони більшості гіперспектральних супутникових сенсорів не покривають основні канали поглинання світла вуглеводнями – 1730 і 2300 нм (рис. 2).

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. На сьогодні не існує єдиної методики визначення зон вуглеводневого забруднення, джерелом якого є гірничі виробки та ліквідовані або законсервовані свердловини. Відповідно для території Карпатського регіону, для якого характерна значна кількість недіючих свердловин, про багато з яких відсутня будь-яка інформація, є перспективним використання даних дистанційного моніторингу для виявлення і картографування забруднених територій для подальших, більш детальних досліджень за допомогою наземних спостережень і зйомки з БПЛА, наприклад, з використанням лазерних детекторів метану, GPS і LIDAR [2, 14].

Новизна. Уперше досліджено просторово-часову динаміку вмісту метану (CH₄) у атмосферному повітрі над територією Карпатського регіону засобами геоінформаційної платформи Google Earth Engine та даних супутникових спостережень місії Sentinel-5.

Методологічне або загальнонаукове значення. Вивчення вмісту метану (CH₄) у атмосферному повітрі для Карпатського регіону та його просторово-часового розподілу за допомогою ГІС та ДЗЗ сприяє доповненню до вже існуючих відомостей про чинники формування екологічного стану території дослідження.

Виклад основного матеріалу. У якості вхідних даних для дослідження були використані результати глобального моніторингу з просторовою роздільністю близько 1 км², отримані за допомогою сенсорів супутника Sentinel-5P TROPOMI протягом 2019–2023 років. Інструмент моніторингу TROPospheric (TROPOMI) є сенсором на борту супутника Copernicus Sentinel-5 Precursor, який виконує спостереження з високою просторово-часовою роздільною здатністю за станом атмосфери для визначення якості повітря, вмісту озону, інтенсивності ультрафіолетового випромінювання, а також моніторингу та прогнозування змін клімату.

Використаний набір даних Sentinel-5P OFFL CH₄: Offline Methane забезпечує офлайн-зображення концентрації метану високої роздільної здатності у період спостережень 2019–2023 рр. TROPOMI використовує інформацію про поглинання з діапазону O₂ (760 нм) і спектрального діапазону SWIR для отримання даних щодо вмісту CH₄ в атмосфері.

При дослідженнях регіонального масштабу і розгляді досить тривалого часового періоду ана-

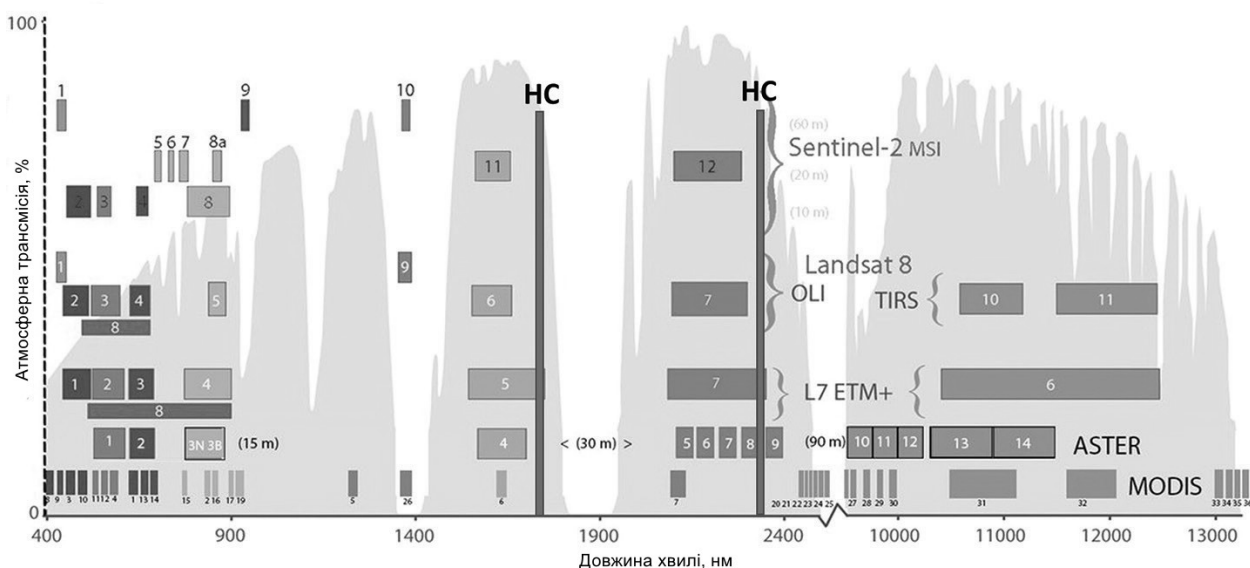


Рис. 2. Спектральні діапазони різних мультиспектральних оптичних супутників і основні смуги поглинання вуглеводнів (HC) за [4]

ліз супутникових зображень ускладнюється через потребу значних обчислювальних потужностей. Настільні геоінформаційні системи не дозволяють опрацювати одночасно петабайти даних супутникового моніторингу, проте збільшення простору для зберігання та демократизація доступу до онлайн-систем (сервери, хмар тощо) вирішують цю проблему.

Геоінформаційна хмарна веб-платформа Google Earth Engine пропонує зручний підхід для аналізу доступних глобальних супутникових даних спостережень за станом атмосфери, отриманих в тому числі за допомогою Sentinel-5 TROPOMI. Google Earth Engine дозволяє виконувати гнучкий аналіз, включаючи побудову середніх значень послідовних або не послідовних днів і обчислення добутку чи співвідношення змінних, а також виконувати просторове усереднення даних. Авторами розроблено і реалізовано програмний алгоритм, що дозволяє завантажити результати спостережень за вмістом метану у атмосферному повітрі, усереднити їх за період спостережень, вказаний користувачем, і візуалізувати результати у вигляді інтерактивних карт (рис. 3). Також передбачена можливість завантаження даних щодо щільності молекул метану ($n \cdot 10^{-9}$ мол./м²) у атмосферному повітрі у вигляді растрових зображень у форматі GEOTIFF.

Створений програмний код дає змогу також завантажити часовий ряд середньомісячних значень

щільності метану у атмосфері для території дослідження, створивши графік осереднених результатів щоденних спостережень сенсора TROPOMI для кожного місяця в період 2019–2023 рр. (рис. 4).

Автокореляційний аналіз отриманого часового ряду свідчить про наявність лінійного тренду (рис. 5 а), тоді як сезонна складова є статистично незначущою (рис. 5 б).

Виявлені просторово-часові закономірності є основою для проектування програми подальших досліджень для більш детального вивчення забруднення атмосферного повітря вуглеводневими газами із деградованих нафтогазових свердловин з метою підвищення рівня екологічної безпеки територій відпрацьованих нафтогазопромислів.

Головні висновки. Отже, ДЗЗ та ГІС є ефективними інструментами для моніторингу та вивчення впливу нафтогазовидобутку на довкілля. Застосування ДЗЗ дозволяє отримувати інформацію про стан довкілля та його компонентів на транскордонному, регіональному та локальному рівнях. Дані, отримані за допомогою ДЗЗ, можна поєднувати з даними наземних методів спостережень, а також з результатами геоінформаційного моделювання, що дозволяє комплексно визначати стан довкілля, прогнозувати його, та простежувати зміни в динаміці. Просторово-часове моделювання і створення інтерактивних карт Карпатського регіону на основі супутникових даних

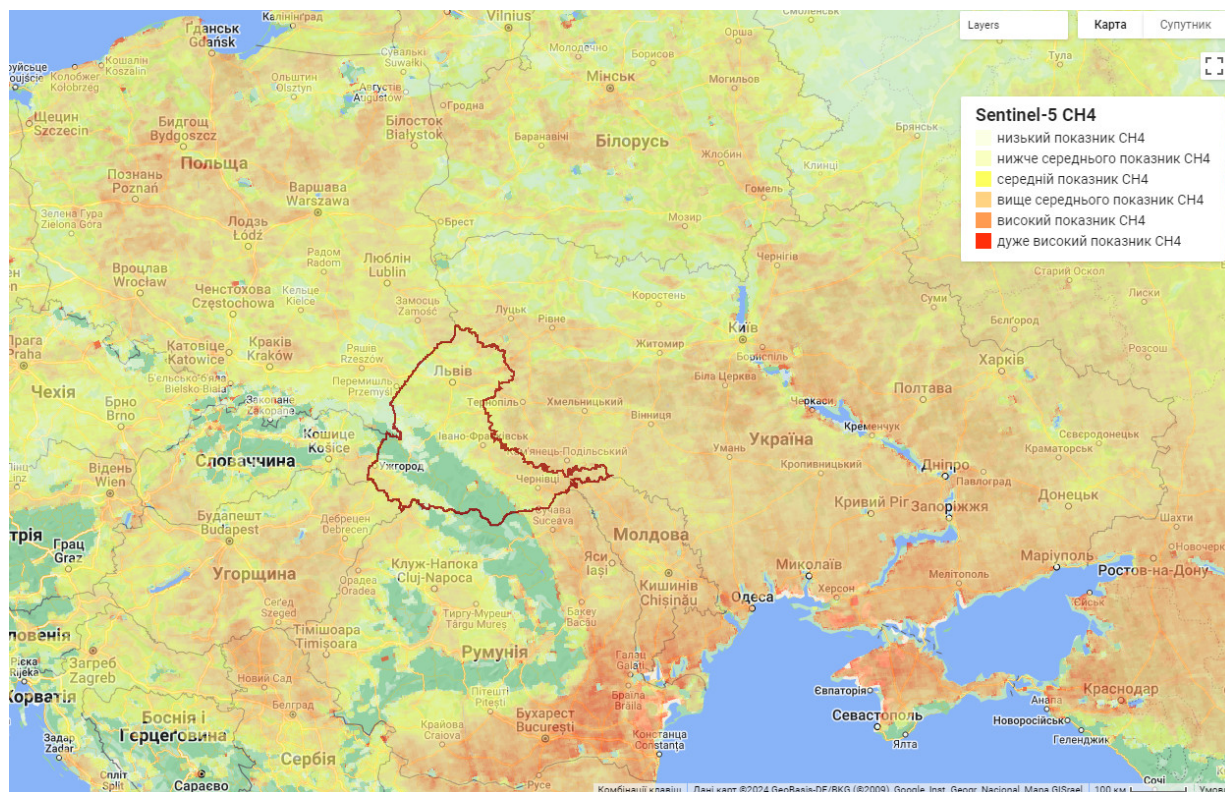


Рис. 3. Інтерактивна карта середньорічного вмісту метану (CH₄) в атмосферному повітрі, створена на основі даних спостережень Sentinel-5 за 2023 рік засобами платформи Google Earth Engine

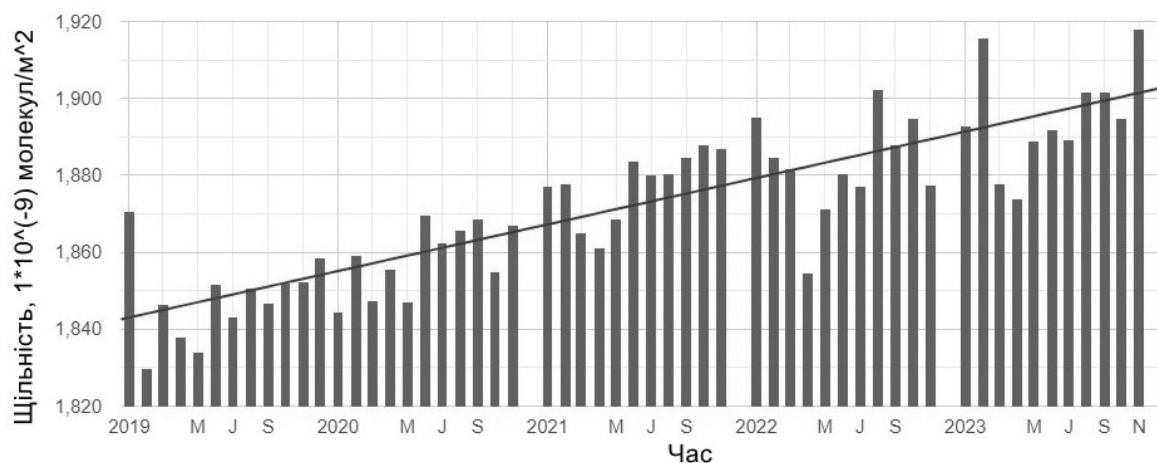


Рис. 4. Середньомісячні значення щільності метану, встановлені за даними Sentinel-5 в період 2019–2023

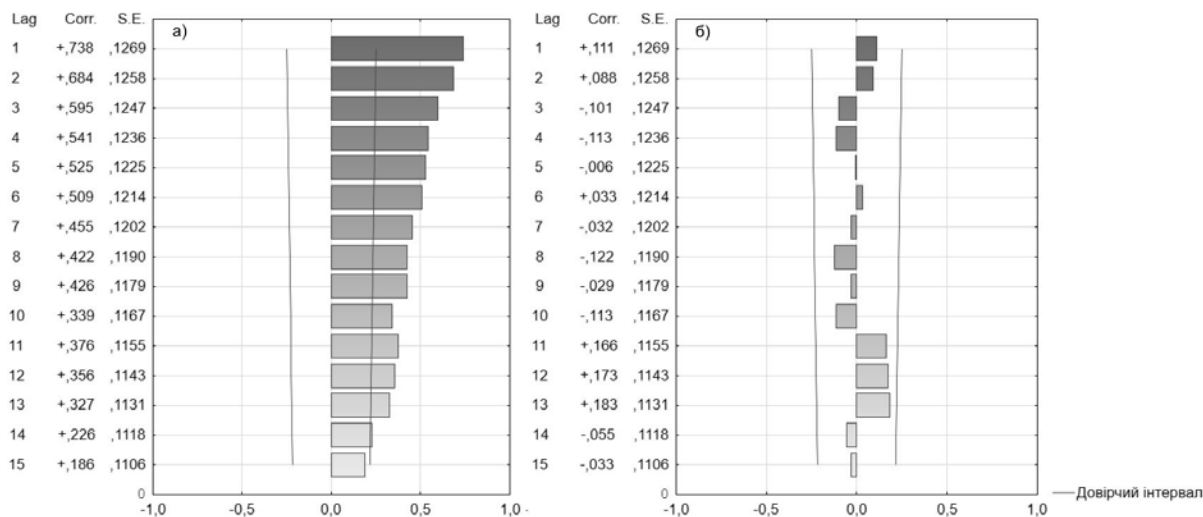


Рис. 5. Графік автокореляційної функції ряду до (а) і після (б) видалення тренду

Sentinel-5 TROPOMI засвідчують стійку тенденцію до зростання вмісту метану у атмосферному повітрі над територією дослідження.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані результати є важливою основою для розвитку системи моніторингу та впровадження конкретних заходів для відновлення території та зменшення впливу нафтогазового комплексу на довкілля в Карпатському регіоні. Отримані результати базуються на сучасних інструментах моніторингу на основі геоінформаційних систем і технологій дистанційного зондування Землі і мають значний

потенціал для використання у сфері охорони довкілля та розвитку регіону. Зокрема, вони можуть бути залучені для подальшого вирішення задач екологічного планування та управління, оскільки оперативний доступ до актуальної інформації про забруднення та його динаміку дозволяє вчасно реагувати на можливі негативні впливи та розробляти заходи для їх зменшення. Також отримані результати щодо забруднення атмосферного повітря метаном можуть бути використані для визначення пріоритетних завдань для розробки і реалізації концепції декарбонізації та зменшення викидів парникових газів у регіоні.

Література

1. Химинець В. В., Мікловда В.П., Пітюлич М.І., Гапак Н.М. Карпатський регіон у контексті сталого розвитку України. *Науковий вісник Ужгородського університету: Серія: Економіка*. 2012. № 3 (37). С. 40–45.
2. Мандрик О.М., Адаменко Я.О., Мосюк М.І., Карпінський Б.В., Бажалук Я.М., Шумега С.В. Розроблення концепції очищення від забруднень, об'єктами нафтогазового комплексу Карпатського регіону України. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2020. № 1 (25). С. 31–41. [https://doi.org/10.31471/2415-3184-2022-1\(25\)-31-41](https://doi.org/10.31471/2415-3184-2022-1(25)-31-41)

3. Мончак Л. С., Анікеєв С. Г., Здерка Т. В. та ін. Про перспективи та проблеми нафтогазовидобування у Карпатському регіоні. *Нафтогазова галузь України*. 2016. № 1. С. 10–13.
4. Dubucq D., Turon L., Blanco B., Bideaud H. Earth observation remote sensing for oil and gas: A new era. *The Leading Edge*. 2021. V. 40. P. 26–34. <https://doi.org/10.1190/tle40010026.1>
5. Importance of Methane. U.S. Environmental Protection Agency. URL: <https://www.epa.gov/gmi/importance-methane> (дата звернення: 01.02.2024).
6. Leshchenko I. Estimates of methane emissions in the oil-and-gas industry of Ukraine: problems and world experience in their solution. *Science and Innovation*. 2021. V. 17(3), P. 37–48. <https://doi.org/10.15407/scine17.03.037>
7. Fingas M., Brown C.E. A Review of Oil Spill Remote Sensing. *Sensors*. 2018. V. 18(1). P. 91.
8. Lassalle G., Fabre S., Credoz A., et al. Monitoring oil contamination in vegetated areas with optical remote sensing: A comprehensive review. *Journal of Hazardous Materials*. 2020. V.393. P.122427.
9. Savenets M., Osadchy V., Komisar K. et al. Remotely visible impacts on air quality after a year-round full-scale Russian invasion of Ukraine. *Atmospheric Pollution Research*. 2023. V. 14(11). 101912. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2023.101912>
10. Yatsenko V. V., Mohylna K. O. Analysis of the possibilities of application of synthetic aperture satellite radars for the post-war economic development of Ukraine. *Вісник Сумського державного університету. Серія Економіка*. 2022. № 4. С. 127–135.
11. Філіпович В. Є., Мичак А. Г., Кудряшов О. І., Шевчук Р. М. Дистанційний моніторинг стану вуглеводного забруднення геологічного середовища і оцінка ризиків виникнення небезпечних ситуацій у районах тривалого нафтогазовидобування та компактного проживання населення. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2020. № 26. С. 14–26.
12. Lu X., Xue Y., He B. et al. Studying the Regional Transmission of Air Pollution Based on Spatiotemporal Multivariable Data. *Atmosphere*. 2023. V. 14(9). 1438. <https://doi.org/10.3390/atmos14091438d>
13. Veefkind J.P., Aben I., McMullan K. et al. TROPOMI on the ESA Sentinel-5 Precursor: A GMES mission for global observations of the atmospheric composition for climate, air quality and ozone layer applications. *Remote Sensing of Environment*. 2012. V. 120. P. 70–83, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.09.027>
14. Conrad B.M., Tyner D.R., Li H.Z. et al. A measurement-based upstream oil and gas methane inventory for Alberta, Canada reveals higher emissions and different sources than official estimates. *Commun Earth Environ*. 2023. V. 4. 416. <https://doi.org/10.1038/s43247-023-01081-0>

УДК 550.34

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.1.6>

ВАРІАЦІЇ АСТРОФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА СУЧАСНІ ГОРИЗОНТАЛЬНІ РУХИ КОРИ В ЗОНІ ОАШСЬКОГО ГЛИБИННОГО РОЗЛОМУ ЗА 2022 РІК

Ігнатишин В.В.^{1,2}, Малицький Д.В.³, Іжак Т.Й.²,
Молнар Д.С.С.², Рац А.Й.², Ігнатишин А.В.¹, Ігнатишин М.Б.¹

¹Інститут геофізики імені С.І. Субботіна Національної академії наук України
вул. Ярославенка, 27, 79011, м. Львів

²Закарпатський угорський інститут імені Ференца Ракоці II
пл. Кошута, 6, 90202, м. Берегове

³Карпатське відділення Інституту геофізики імені С.І. Субботіна
Національної академії наук України
вул. Наукова, 3Б, 79060, м. Львів

rgstrs1962@i.ua, Adalbert_Ihnatisin@i.ua, sitkomonika@i.ua,
izsak.tibor@kmf.org.ua, molnar.d.istvan@kmf.org.ua, racz.bela@kmf.org.ua

У статті представлено результати дослідження геодинамічного стану Закарпатського внутрішнього прогину через вимірювання сучасних горизонтальних рухів кори в центральній його частині, зокрема в зоні Оашського глибинного розлому. Проведено вивчення часового розподілу сонячної активності та геомагнітного індексу за 2022 рік. Актуальність вивчення зв'язку геодинамічного стану та варіацій параметрів сонячної активності, геомагнітного індексу викликана тим, що Закарпатський внутрішній прогин є сейсмогенеруючим регіоном України. На території Закарпаття реєструються серії місцевих землетрусів різного енергетичного класу, зокрема відчутні підземні поштовхи, які можуть становити загрозу екологічному стану регіону. Особливістю Закарпаття є наявність на його території об'єктів критичної інфраструктури, які можуть потерпати від сильних землетрусів, число яких протягом року коливається від одного до шести подій. Оскільки вивченню астрофізичного стану та його зв'язків із сеймотектонічними процесами в сейсмонезбезпечних регіонах приділено недостатньо уваги, то продовження вивчення геодинамічного та астрофізичного станів важливо, оскільки таким чином розширюється спектр можливих прогностичних характеристик небезпечних геологічних процесів. *Об'єктом* дослідження є екологічний стан регіону, який залежить від геодинаміки та сеймотектоніки Закарпатського внутрішнього прогину. *Предметом дослідження* є астрофізичний стан, який розглянуто через призму варіацій сонячної активності, варіацій геомагнітного індексу, геодинамічний стан регіону, який представлений сучасними горизонтальними рухами кори, сейсмічністю регіону, та їх кінематичними параметрами: швидкостями рухів кори та прискореннями рухів кори, їх взаємовпливом. За результатами дослідження встановлено: сейсмічність Закарпатського внутрішнього прогину є періодичною, протягом 2022 зареєстровано 12 місцевих землетрусів. Сучасні горизонтальні рухи кори, виміряні на пункті деформометричних спостережень «Королеве» представлені стисненнями порід величиною: -10.87×10^{-7} , зміщення порід становить: -30.9 мкм. Варіації сонячної активності в 2022 році та прискорення рухів кори корелюються між собою, геомагнітний індекс реагує на аномалії в рухах кори та варіації сонячної активності. *Ключові слова*: астрофізичні параметри, геомагнітний індекс, геодинамічний стан, сейсмічний стан, землетруси, Закарпатський внутрішній прогин, зона Оашського глибинного розлому, сучасні горизонтальні рухи кори, екологічний стан.

Variations of astrophysical parameters and current horizontal movements of the crust in the zone of the Oasha deep fault for the year 2022. Ignatyshyn V., Malytskyi D., Izhak T., Molnar D.S., Rats A., Ignatyshyn M., Ignatyshyn A.

The article presents the results of the study of the geodynamic state of the Transcarpathian internal depression through the measurement of modern horizontal movements of the crust in its central part, in particular in the zone of the Oash deep fault. The study of the temporal distribution of solar activity and the geomagnetic index for 2022 was conducted. The relevance of studying the relationship between the geodynamic state and variations of solar activity parameters and the geomagnetic index is caused by the fact that the Transcarpathian internal depression is an earthquake-generating region of Ukraine. A series of local earthquakes of various energy classes are registered on the territory of Transcarpathia, in particular, perceptible earthquakes, which may pose a threat to the ecological state of the region. The peculiarity of Transcarpathia is the presence on its territory of critical infrastructure objects that can suffer from strong earthquakes, the number of which varies from one to six events during the year. Since insufficient attention has been paid to the study of the astrophysical state and its connections with seismotectonic processes in earthquake-prone regions, the continuation of the study of geodynamic and astrophysical states is important, because in this way the spectrum of possible prognostic characteristics of dangerous geological processes is expanded. The object of the research is the ecological state of the region, which depends on the geodynamics and seismotectonics of the Transcarpathian internal depression. The subject of the study is the astrophysical state, which is considered through the prism of variations in solar activity, variations in the geomagnetic index, the geodynamic state of the region, which is represented by modern horizontal movements of the crust, the seismicity of the region, and their kinematic parameters: speeds of crustal movements and accelerations of crustal movements, their mutual influence. According to the results of the study, it was established that the seismicity of the Transcarpathian internal depression is periodic, during 2022 12 local earthquakes were registered. Modern horizontal movements of the crust, measured at the Koroleve deformation observation point, are represented by rock compressions of -10.87×10^{-7} , rock displacement is -30.9 μm . Variations in solar activity in 2022 and acceleration of crustal movements are correlated with each other, the geomagnetic index reacts to anomalies in crustal movements and variations in solar activity. *Key words*: astrophysical parameters, geomagnetic index, geodynamic state, seismic state, earthquakes, Transcarpathian internal depression, Oash deep fault zone, modern horizontal movements of the crust, ecological state.

Постановка проблеми. В сейсмонебезпечних регіонах яким являється Закарпатський внутрішній прогин, проводиться моніторинг варіацій параметрів геофізичних полів, параметрів геодинамічного стану регіону, які визначають модель сеймотектонічних процесів. На території Закарпаття, яке характерне своїми особливостями, створено сітку спостережних станцій та пунктів, де проводяться режимні геофізичні, геодинамічні, метеорологічні та гідрологічні спостереження. За результатами багаторічних спостережень виділено характеристики геологічних процесів, сучасних горизонтальних рухів кори, місцевої сейсмічності та встановлено взаємозв'язки спостережуваних природних станів. Відомо, що геомеханічні процеси, рухи кори впливають на фізичні характеристики гірських порід, які можна спостерігати та вимірювати. **Метою проведених досліджень** є виявлення зв'язків між геодинамічним станом регіону та сейсмічним станом регіону, впливом на нього астрофізичного стану, зокрема варіацій сонячної активності, геомагнітного індексу, фаз Місяця. **Об'єктом** дослідження є екологічний стан регіону, який залежить від геодинаміки та сеймотектоніки Закарпатського внутрішнього прогину. **Предметом дослідження** є астрофізичний стан, який розглянуто через призму варіацій сонячної активності, варіацій геомагнітного індексу, геодинамічний стан регіону, який представлений сучасними горизонтальними рухами кори, сейсмічністю регіону, та їх кінематичними параметрами: швидкостями рухів кори та прискореннями рухів кори, їх взаємовпливом.

Актуальність дослідження. Слід звернути увагу на той факт, що Закарпаття є сейсмонебезпечним регіоном України, Карпато-Балканського регіону. Сейсмічні спостереження на території Закарпаття проводяться з другої половини 20 ст. За цей період сформувалася картина сейсмічності регіону, що представлена періодичним проявом сейсмічних явищ. Територія Закарпаття відмічається як сейсмоактивна зона, яка характерна тим, що тут реєструються численні підземні поштовхи, серед яких невелика частка сильних, відчутних місцевих землетрусів. Періодичність їх змінюється від одного до 6–8 сильних відчутних місцевих поштовхів. Актуальність вивчення процесів накопичення та вивільнення енергії підземних бурь викликана також фізико-географічними характеристиками регіону, а також тим, що на території Закарпаття розташовані об'єкти підвищеної небезпеки. Енергія можливих землетрусів може спричинити погіршення екологічного стану регіону. Тому важливо проводити моніторинг сеймотектонічних процесів, вивчати геомеханічні процеси, сейсмічні процеси та реакцію на них геофізичних полів. Методика досліджень полягає в побудові просторово-часових розподілів параметрів геофізичних полів, зокрема геомагнітного індексу, фізичних величин сучасних горизонтальних рухів, виявленні взаємозв'язків між собою.

Побудовано часові розподіли сонячної активності та геомагнітного індексу, розраховано динамічні характеристики спостережуваних параметрів геофізичних полів. Вивчено вплив астрофізичних параметрів на геофізичні параметри. Розглянуто астрофізичні параметри та геофізичні поля за 2022 рік. Для вирішення поставленої екологічної задачі використано Інтернет-ресурси, звідки взято параметри Сонця та сонячної активності, сейсмологічний бюлетень. Дані про сучасні горизонтальні рухи кори отримано вимірявши зміщення в штольні, розрахувавши швидкість рухів та прискорення, штольня розташована в смт Королеве Берегівського району, Закарпатської області. В штольні змонтовано горизонтальний кварцовий деформометр базою 24.5 м Карпатської дослідно-методичної геофізичної та сейсмологічної партії Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім.С.І. Субботіна НАН України.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Головними завданнями, які стоять перед дослідниками є вивчення процесів, які відбуваються в надрах Землі, як реагують на варіації параметрів геодинамічного стану параметри окремих геофізичних полів, магнітного поля Землі, електромагнітної емісії, радіоактивного фону середовища. Дослідження сейсмічності регіону покликане вказати на можливі підземні поштовхи, їх силу, енергію, що важливо для побудови стратегії охорони навколишнього середовища, зокрема від небезпечних геологічних процесів в регіоні. Закарпатський внутрішній прогин є складовою Карпато-Балканського регіону, процеси в них взаємопов'язані, вивчення частини цього регіону дозволить розуміння можливих процесів на суміжних територіях. Комплексні геофізичні спостереження в регіоні важливі для поповнення бази даних, удосконалення методів дослідження екологічно небезпечних територій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У зв'язку з ростом кількості природно-техногенних катастроф актуальною є розробка систем моніторингу за станом геологічного середовища з використанням сучасного математичного апарата та інформаційних технологій. У загальній системі моніторингу докільля важливою складовою є локальний моніторинг територій розташування потенційно небезпечних об'єктів. Таку проблему було розв'язано в роботі методом статистичного моделювання, який надає можливість відображати явище (випадкове поле об'єкта дослідження на площині) у будь-якій точці зони спостереження [1]. В [2] викладено головні підходи та принципи розробки і формування структури бази даних зсувних процесів у межах території України, вказано, що Україна характеризується активним розвитком різногенетичних гравітаційних процесів у межах різних структурно-тектонічних і ландшафтно-кліматичних зон, а це вимагає єдиного підходу до створення системи їхнього обліку, інвен-

таризації та моніторингу з наступним прогнозуванням, оцінкою впливу на техногенні об'єкти різного призначення. Побудова поля радіаційного фону на місцевості за результатами обробки даних вимірювань, які були проведені в кінцевому числі точок, являє собою одне з найважливіших завдань радіаційного моніторингу. В результаті обробки даних із застосуванням різних способів кластеризації було встановлено, що результати аналізу практично збігаються між собою, що доводить достовірність застосування кластерного аналізу для задач радіаційного моніторингу місцевості й побудови карт радіаційного забруднення [3].

Бріогеохімічна індикація є хорошим методом оцінки і моніторингу атмосферного забруднення великих і різноманітних за природними і техногенними умовами територій, запропонований геостатистичний комплекс картографування атмогеохімічного поля показав свою ефективність у розділенні територій за типом забруднення [4]. На основі застосування стандартного методу геологічного опису відслонень, седиментологічного аналізу структурно-текстурних особливостей порід, мікропалеонтологічного методу досліджено об'єкти Закарпатської області, які відображають зародження Карпатського седиментаційного басейну, формування субокеанічної і океанічної кори основи Зовнішньокарпатського Флішового басейну, формування покривів Східних Внутрішніх Карпат, завершальний олігоценний етап розвитку Зовнішньокарпатського флішового басейну [5]. Актуальними є дослідження мінливості мінімального стоку води, який належить до екстремальних режимних характеристик водоносності річок у періоди межень, що є показниками небезпечності і катастрофічності, зокрема у періоди тривалих посух, інформація важлива в умовах сучасних кліматичних змін, в яких суттєво підвищується ймовірність настання екстремальних гідрологічних явищ [6]. Останнім часом зростає використання різноманітних природних ресурсів і відповідно масштаби забруднення зовнішнього середовища відходами виробництва та споживання. Для зняття цих негативних наслідків використовують ландшафтно-екологічний моніторинг (ЛЕМ) стану існуючої екологічної інфраструктури міст (споруд і об'єктів, призначених для охорони, відтворення і поліпшення навколишнього природного середовища), яка покликана забезпечити декомпенсуючу протидію наслідкам антропогенного навантаження, та необхідність розробки науково-обґрунтованої міської екологічної політики, оптимізації системи природокористування [7]. В [8] досліджено просторовий розподіл питомої магнітної сприйнятливості (χ) поверхневих відкладів, зокрема міста Чернівці, висвітлено її інформативність як індикатора геохімічного забруднення ґрунтового покриву, валовий вміст важких металів у ґрунтах міста та кореляційні зв'язки між частотною залежністю магнітної сприйнятливості. В [9] показано,

що для достовірної оцінки напружено-деформованого стану гірських порід і відповідно для прогнозування карстових процесів і деформацій, пов'язаних із наявністю видобувних камер і розвитком карсту, можна застосовувати метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ), при цьому розглянуто фізичні передумови застосування методу, викладено основні постулати класифікації аномалій напруженості поля, розроблено підхід для оцінки глибинності. В [10] показано характеристики напружено-деформаційного стану літосфери Землі за даними моделювання геопалеорекострукцій в геологічному часі, представлена інтерпретація ролі гравітаційно-ротаційних сил у формуванні глобального поля деформацій і напружень як наслідок трансформації фігури поверхні літосфери Землі. Отримані результати можуть використовуватись при вивченні планетарних характеристик нашої планети, динаміки їх змін в часі та глобального напружено-деформованого стану. Деформації земної поверхні відображають процеси глибинної динаміки Землі, які виникають в результаті поступово-обертового руху планети в просторі. Деформації розподіляють згідно із їх змінами в часі, за розподілом на різноманітні просторові зміщення: вони можуть бути віковими, періодичними та епізодичними, а також, розрізняють глобальні, регіональні та локальні деформації [11]. Необхідно виділити тектонічні чи техногенні рухи із усього спектра зареєстрованих переміщень земної поверхні, потрібно вилучити їх гідрометеорологічну складову, оскільки одним із видів метеорологічного впливу на динаміку земної поверхні та реперів є об'ємні деформації набряклих ґрунтів внаслідок варіації їх вологості, що зумовлюють сезонні вертикальні рухи, величина яких залежить від фізичних та мінералогічних властивостей ґрунту, особливостей навколишнього середовища та амплітуди річних коливань температури і вологи [12]. В [13] запропонований комплекс геофізичних методів, який дозволяє з високою достовірністю спрогнозувати зони ймовірних карстових провалів, що дозволить здійснити запобіжні заходи для мінімізації наслідків розвитку карстопровальних ситуацій геологічного характеру. На основі виконаних досліджень в [14] можна припустити, що кореляційний взаємозв'язок між горизонтальними деформаціями визначеними за даними ГНСС і узагальненою сейсмічністю проявляється тільки у зонах субдукції, де є інтенсивна сейсмоактивність і мають прояви постійних деформацій земної кори, що підтверджується проявом зон кореляцій, які розташовані вздовж однієї зі сторін активних розломів. На підставі аналізу інформації про геодинамічну і сейсмотектонічну ситуацію в районі майданчика розташування проєктованих споруд встановлено положення потенційних сейсмоактивних зон, в яких можуть виникати місцеві землетруси та визначено сейсмотектонічний потенціал найближчих до майданчика сегментів

розломів в термінах максимальних магнітуд [15]. В [16] визначено взаємозв'язки між структурно-тектонічними особливостями будови центральної частини Закарпатського прогину, сучасним геодинамічним розвитком фундаменту регіону та особливостями поширення сейсмічних хвиль і формування вогнищ локальних землетрусів, показано, що вплив магматичних порід Вигорлат-Гутинського вулканічного пасма значно зменшує час пробігу сейсмічних хвиль у осадовому шарі та частково у фундаменті. Результати описаних в [17] досліджень дають можливість уточнити геолого-структурні особливості будови земної кори Закарпаття, правильно інтерпретувати просторовий розподіл геофізичних полів та розшифрувати особливості місцевої геодинаміки і сеймотектонічного процесу, уточнювати рівень та характер геоecологічних небезпек, ефективніше прогнозувати і досліджувати глибинно-просторовий розподіл корисних копалин. В [18] оцінено передбачення магнітуди, глибини джерела і координат епіцентру продемонстровані на різних компонентах записів землетрусів для тимчасових вікон різної довжини, також запропоновані алгоритми, які можуть бути застосовані при автоматичній обробці сейсмічної інформації, прогнозі сейсмічної небезпеки, що передбачає пряме оперативне втручання сейсмологічних служб в оцінку сейсмічної небезпеки. Виявлено характерні особливості сейсмодеформаційних сигналів при вибухах, відпрацьована методика їх аналізу, вказано на актуальність дослідження фундаментально-прикладних проблем [19]. Підняття Карпатської споруди внаслідок ізостазії, відбулося його розчленування діагональними, поперечними і поздовжніми зміщеннями, вказано, що в сучасний період обстановка тангенціального стиснення в Карпатах зберігається, про яке свідчать поля стиснення по тектонофізичних і сейсмологічних даними, в верхній частині кори накладається розтягнення під дією гравітаційних сил [20]. На території Закарпаття проводилися дослідження на основі моніторингу геофізичних полів, де вивчено гідрогеологічний аспект сеймотектонічних процесів у Закарпатському внутрішньому прогині [21], тобто суттєвий вплив на ці процеси саме гідрогеологічних станів. Досліджувалися геофізичні та астрофізичні аспекти екологічного стану Закарпаття, де вказано на взаємозв'язок астрофізичних та геодинамічних параметрів на сеймогенеруючих геологічних структурах [22]. Параметри магнітного поля Землі вивчаються на теренах Закарпатського внутрішнього прогину тривалий період та в багатьох місцях, зокрема на режимній геофізичній станції, «Тросник». Виявлено зв'язок вектора магнітної індукції магнітного поля Землі та сучасних горизонтальних рухів кори, які впливають на геодинаміку регіону, підвищення сейсмічності Закарпатського внутрішнього прогину [23]. Для вирішення поставлених в роботі завдань, було використано Інтернет ресурси [24, 25].

Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. В даній статті продовжується пошук розв'язків задачі вивчення астрофізичного стану, через характеристики сонячної активності, геомагнітного індексу, дослідження геодинамічного стану регіону. Вивчення просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності проводиться постійно, відомо, які періоди року є найбільш активними в сейсмічному відношенні. Варіації параметрів астрофізичного стану вивчалися і в попередні роки, при цьому змінювалися спостережувані параметри від параметрів Місяця до параметрів Сонця. Було виявлено, що сейсмічна активність регіону безпосередньо залежить від положення Місяця на небосхилі; знаходячись на території, що є сейсмоактивною, він може гравітаційною взаємодією вплинути на рухи кори, які акумулюють геомеханічну енергію, що при певних геофізичних умовах може вивільнитися через місцеві землетруси. Також було вказано на існування зв'язку між спостережуваними параметрами Сонця та процесів на Землі. Продовження дослідження цих зв'язків важливе в плані статистики та пошуку нових методик аналізу результатів спостереження.

Новизна. У статті проведено дослідження параметрів геодинамічного стану середовища, вимірюючи сучасні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому, сейсмічності в Закарпатському внутрішньому прогині за 2022 рік. Також при вирішенні поставленої мети було використано відомості про варіації параметрів Сонця через Інтернет-ресурси: сонячної активності, геомагнітного індексу за 2022 рік. Також при вивченні зв'язків було розраховано кінематичні параметри сучасних горизонтальних рухів кори, представлено вікові ходи деформацій за досліджуваний рік. Вказано, що інтервали інтенсивних рухів кори співпадають із аномальними варіаціями сонячної активності та впливають на величини геомагнітного індексу, вказуючи на складний механізм взаємовпливу параметрів геодинамічного та астрофізичного станів.

Методологічне або загальнонаукове значення. Проведені наукові роботи в сейсмонебезпечних регіонах по виявленню взаємозв'язків між геофізичними полями необхідні в плані отриманні загальної картини сеймотектоніки регіону, їх варіацій в періоди підвищення сейсмічності регіону, динамічними рухами кори та їх наслідками для екології регіону. Вивчення варіацій параметрів геомагнітного індексу який пов'язаний з магнітним полем Землі, доповнює отриману раніше інформацію про реагування вектора магнітної індукції магнітного поля Землі на інтенсивні рухи кори та сейсмічні події. Отримані результати мають загальнонаукове значення, оскільки можуть бути використані фахівцями різних наукових напрямків. Також вони можуть бути рекомендаціями до вирішення проблем екологічного стану Закарпаття, або інших сейсмонебезпечних територій

Викладення основного матеріалу. Протягом 2022 року на території Карпатського регіону підрозділами НАН України ведуться роботи по спостереженню варіацій параметрів геофізичних полів, місцевої сейсмічності, зміщень верхніх шарів земної кори (рис. 1).

На рисунку 1 зображено розташування геофізичних, сейсмічних та деформометричних пунктів спостережень, температурами повітря в січні та липні, просторовий розподіл атмосферних опадів в досліджуваному регіоні. Зокрема сейсмічність визначаємо за сейсмічними бюлетенями отриманими на режимній геофізичній станції «Тросник», сучасні рухи кори вимірюються на пункті деформометричних спостережень «Королеве» Карпатської дослідно-методичної геофізичної та сейсмологічної партії Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України. Методика обробки та аналізу рядів спостережень полягає в побудові часових залежностей сонячної активності від часу в місячному діапазоні протягом 2022 року, відтворення картини сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому; порівняння кривих рядів спостережень на

предмет виявлення подібності графіків в інтервалі часу. Порівнюються варіації геомагнітної індукції із сонячною активністю та динамікою рухів корив центральної частині Закарпаття.

Січень 2022 року. На рисунку 2, а представлено часовий розподіл сонячної активності(сонячні плями) за досліджуваній місяць.

Крива сонячної активності за січень 2023 року має максимум в другій половині місяця та періодичності із періодами 3–4 доби. Представлено рухи кори та сонячну активність (рис. 2,б); в січні 2022 року загальне зміщення кори становило 0 км, Середньодобова величина сонячних плям становить 143.

Аналізуючи представлений комплексний графік, важливо відмітити кореляцію кривих: мінімуми сонячної активності припадають на періоди характерні розширеннями порід. Розглянуто залежність геомагнітного імпульсу від часу в комплексі геофізичних та астрофізичних досліджень (рис. 3,а).

Крива варіацій геомагнітного індексу корелюється із сонячною активністю: підвищення сонячної активності супроводжується зростання величини геомагнітного індексу, зміна геомагнітного імпульсу корелюються із періодами знакозмінних процесів

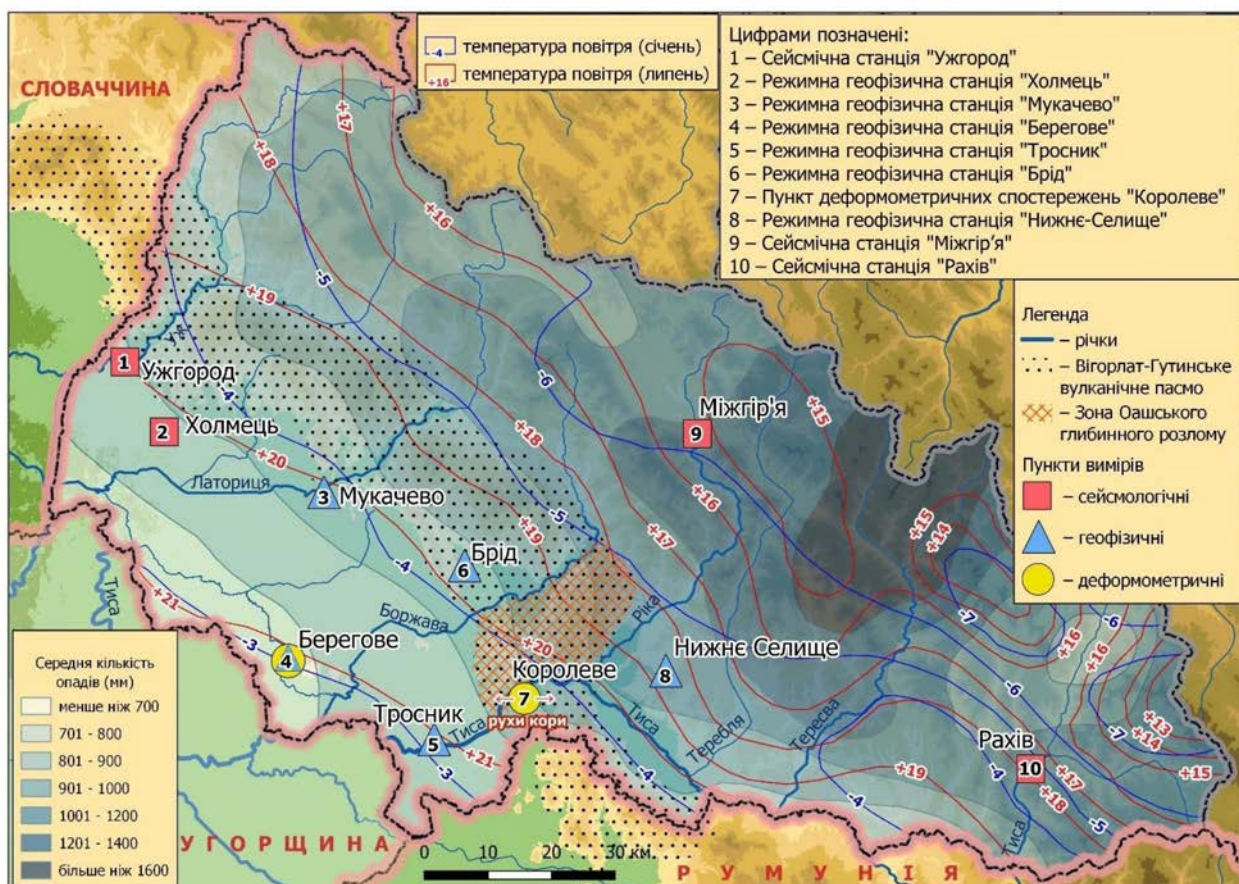


Рис. 1. Розташування пунктів геофізичних, сейсмологічних та деформометричних спостережень Відділу сейсмічності Карпатського регіону та Карпатського відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України в Закарпатському внутрішньому прогині



Рис. 2. а) Сонячна активність в січні 2022 року; б) Сучасні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому та сонячна активність в січні 2022 року

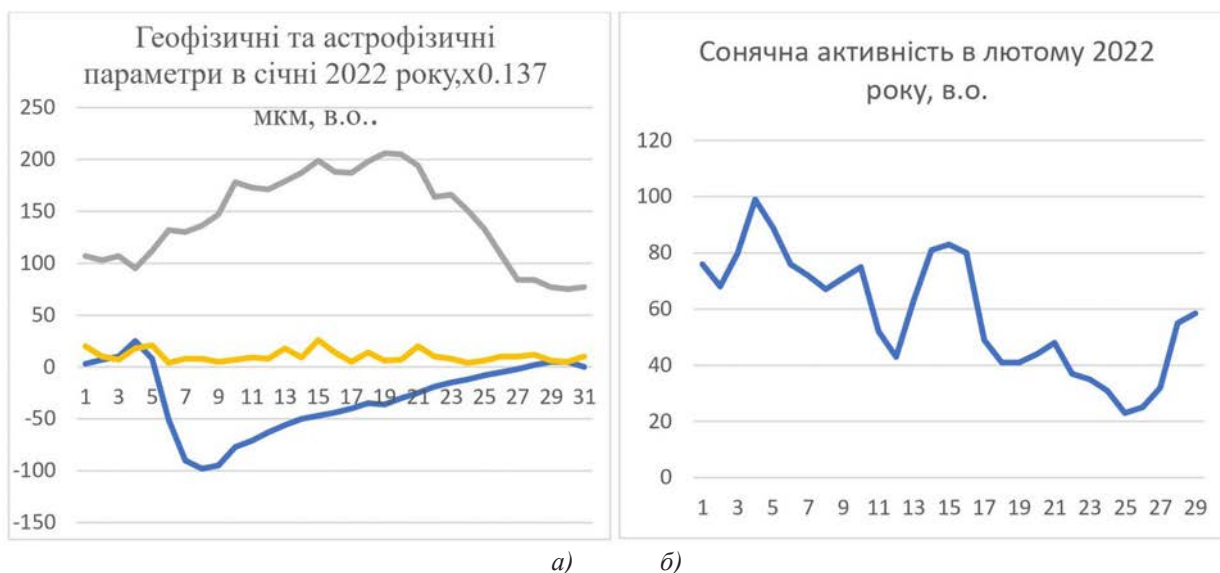


Рис. 3. а) Рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому(крива синього кольору), Сонячна активність (крива сірого кольору), геомагнітний індекс(крива жовтого кольору); Закарпатський внутрішній прогин. Січень 2022 року; б) Сонячна активність в лютому 2022 року

в рухах кори. Тривале розширення порід супроводжується інтенсивними змінами геомагнітного індексу.

Проведений аналіз рядів спостережень, зроблено висновки та представлено пропозиції виконання наукових досліджень, для цього наведено алгоритм дослідження на прикладі січні 2022 року, подібні дослідження та аналіз виконано для всього часового інтервалу. **Лютий 2022 року.** Сонячна активність в лютому місяці представлена на рисунку 3,б. Середньодобова величина сонячної активності становить 58. Аналіз графіку показує на тенденцію зниження числа сонячних п'ятен протягом місяця, виділяються періодичності тривалістю: 5в7 діб, мінімум – 20, максимум – 100. В порівнянні і минулим місяцем активність впала в двічі. Розглянуто сучасні рухи кори в регіоні, виміряні на пункті деформометричних

спостережень в смт Королеве (Закарпатська обл., Березівський район)та розподіл сонячної активності в цей період (рисунок 4,а).

В лютому 2022 року горизонтальні рухи кори виміряні в зоні Оашського глибинного розлому становить стиснення порід величиною: -6.3×10^{-7} . Аналізуючи зв'язок кривих представлених на рисунку 4,а необхідно відмітити кореляцію. Стиснення порід супроводжується зменшеннями сонячної активності. Також встановлено знакозмінний процес наприкінці місяця. Таким чином, зменшення сонячної активності відбувається поряд із стисненнями порід, підвищення-розширеннями порід. Важливо розглянути зв'язок представлених астрофізичних та геофізичних полів із геомагнітним індексом в цей період (рис. 4,б). Проведений аналіз наведеного вище комплексного графіку приводить до висновків. Сонячна активність в лютому 2022 році в певних інтервалах

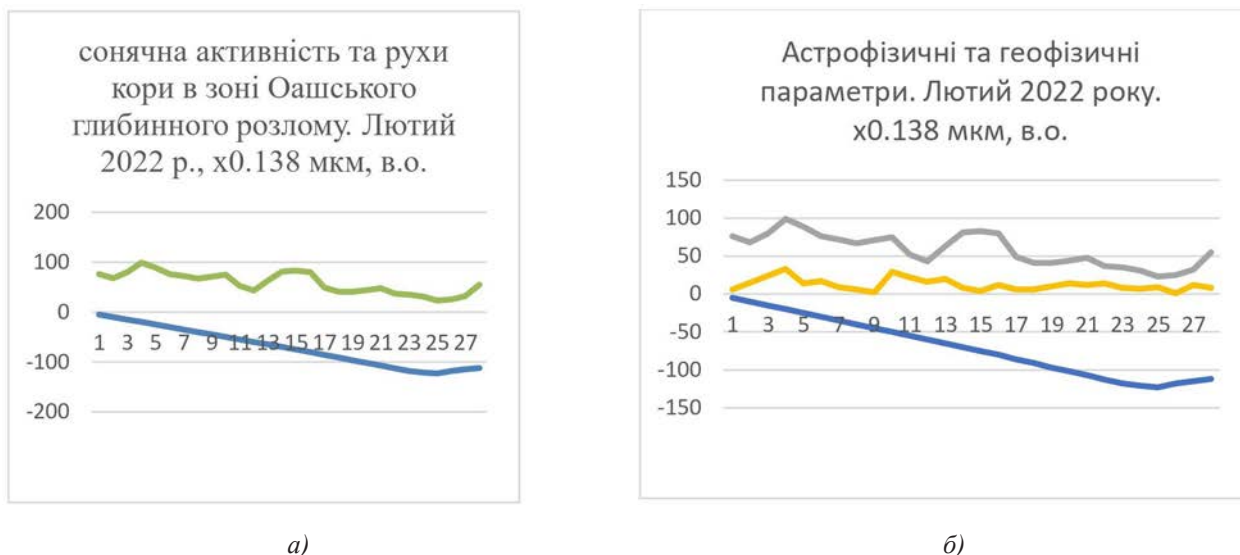


Рис. 4. а) Солячна активність (крива зеленого кольору) та сучасні горизонтальні рухи кори (крива синього кольору) в зоні Оашського глибинного розлому в лютому 2022 року; б) Астрофізичні та геофізичні параметри (солячна активність – крива сірого кольору, сучасні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому – крива синього кольору, геомагнітний індекс – крива жовтого кольору). Лютий 2022 рік

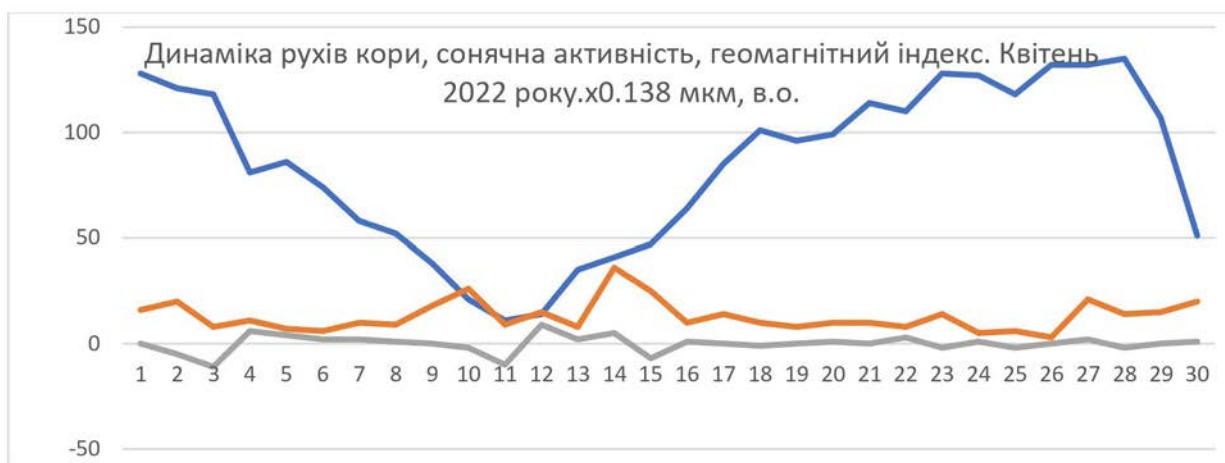


Рис. 5. Динаміка рухів кори (крива сірого кольору), солячна активність (крива синього кольору), геомагнітний індекс (крива жовтого кольору). Квітень 2022 року

часу корелює між собою: в загальному криві корелюють між собою -зменшення солячної активності супроводжується зниженням величини геомагнітного індексу. Теж саме можна відмітити щодо сучасних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому та геомагнітного індексу: сучасні рухи кори в процесі стиснення порід супроводжуються зменшенням величини геомагнітного індексу. Таким чином, солячна активність лінійно впливає на геомагнітний індекс, в свою чергу рухи кори характерні зменшенням динамічних характеристик. **Квітень 2022.** Геомагнітний індекс та солячна активність: геомагнітний індекс динамічно змінюється при мінімумі та максимумі солячної активності в цей період. Періоди зміни солячної активності та рухів кори корелюються між собою. Для вивчення впливу динамічних

характеристик на зв'язок геофізичних та астрофізичних полів використано прискорення сучасних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому (рис. 5).

Використання прискорення рухів замість зміщення земної кори показує наглядно зв'язок геомагнітного індексу із геодинамікою регіону. Аналіз графіків на рисунку 5 показав: зміни солячної активності супроводжуються підвищеними величинами прискорення рухів кори. Стиснення порід та їх динаміка корелюється із геомагнітним індексом: підвищення геомагнітного індексу супроводжується стисненнями кори та деяким невеликим часовим запізненням тривалістю в 1–2 доби. Таким чином, геомагнітний індекс є індикатором та провісником інтенсивних рухів кори в регіоні, що підтверджується фізичними аспектами, зокрема варіаціями магнітного поля Землі.

Головні висновки. За результатами спостережень та досліджень геодинамічного та астрофізичного стану можна зробити такі висновки. Сейсмічність Закарпатського внутрішнього прогину є періодичною, протягом 2022 року на території Закарпаття зареєстровано 12 місцевих землетрусів, на фоні загальної кількості в Карпатському регіоні (52 підземних поштовхи.) Сучасні рухи кори, виміряні на пункті деформометричних спостережень «Королеве» представлені стисненнями порід величиною: -10.87×10^{-7} , зміщення порід становить: -30.9 мкм. Сонячна активність та рухи кори: варіації сонячної активності в 2022 році та прискорення рухів кори корелюються між собою-невеликі амплітудні зміни сонячної активності супроводжуються за кілька діб аномальними рухами кори, зміни сонячної активності у більших масштабах супроводжуються вищими величинами прискореннями сучасних горизонталь-

них рухів кори. Геомагнітний індекс реагує на аномалії в рухах кори та варіації сонячної активності. Таким чином, спостерігається зв'язок параметрів астрофізичного стану на геодинамічний стан регіону, який є одним із визначальних чинників екологічного стану навколишнього середовища.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані результати досліджень важливі в перспективних прогностичних роботах присвячених пошуку методик визначення критичних умов прояву напружено-деформованого стану порід. Як видно важливо мати на увазі також варіації параметрів астрофізичного стану, зокрема параметрів руху Місяця та його фізичних характеристик, оскільки він може впливати на сейсмотектонічні процеси в сейсмогенеруючих регіонах. Результати можна використати при підготовці моделі екологічного стану регіону та визначення чинників його погіршення.

Література

1. Вижва З., Демидов В., Вижва А. Статистичне моделювання випадкового поля на плоскій області з кореляційною функцією типу Уіттлі-Матерна в геофізичній задачі моніторингу довкілля. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія.* 2019. 3(86). С. 55-61. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.86.08>
2. Національна база даних зсувних процесів: принципи розробки, упровадження та застосування для оцінки зсувної небезпеки регіонального і локального рівня/ Іванік О., Шевчук В., Кравченко Д., Гадяцька К. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія.* 2019. 3(86). С. 70-74. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.86.10>
3. Гетманець О., Некос А., Пеліхатий М. Кластерний аналіз і радіаційний моніторинг довкілля. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія.* 2019. 3(86). С. 75-79. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.86.11>
4. Геостатичний аналіз атмогеохімічного поля в приземному шарі атмосфери північної України(за даними бріогеохімічної індикації) / Тютюнник Ю., Шабатура О., Блюм О., Дауніс-і-Естадел'я Д. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія.* 2019. 3(86). С. 80-89. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.86.12>
5. Геологічні /геотуристичні об'єкти Закарпатської області як відображення геологічної історії Карпат / Тютюнник Ю. та ін. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія,* 2019. 4(87). С. 6-13. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.87.01>
6. Багаторічна мінливість абсолютних річних мінімумів стоку води річок України / Ободовський О., Лук'янець О., Почаєвець О., Москаленко С. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія.* 4(87), 2019. С. 89-95. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.87.13>
7. Обґрунтування доцільності застосування геоінформаційних систем у ландшафтно-екологічному моніторингу / Зацерковний В. та ін. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія.* 2020. 1(88). С. 98-105. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.88.14>
8. Бондар К., Сачко А., Цюпа І. Оцінка антропогенного забруднення поверхневих відкладів міста Чернівці за магнітною сприйнятливостю та вмістом важких металів. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія.* 2020. 2(89). С. 71-78. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.89.10>
9. Багрій С., Кузьменко Е., Дзьоба У. Зв'язок природного імпульсного електромагнітного поля Землі з напруженнями та деформаціями гірських порід на відпрацьованих родовищах солі в Передкарпатті в задачах прогнозування розвитку карсту. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія.* 2020. 2(89). С. 79-88. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.89.11>
10. Церклевич А.Л., Шило О.М., Шило С.О. Змінні фігури Землі – геодинамічний фактор напружено-деформованого стану літосфери. *Геодинаміка.* 2019. 1(26). С. 28-42. <https://doi.org/10.23939/jgd2019.01.028>
11. Визначення тензора швидкостей горизонтальних деформацій в Західній Україні / Марченко О.М. та ін. *Геодинаміка.* 2019. 2(27). С. 5-17.
12. Павлик В.Г., Кутній А.М., Кальник О.П. Особливості впливу сезонних варіацій вологи ґрунту на вертикальні рухи земної поверхні. *Геодинаміка.* 2019. 2(27). С. 16-23.
13. Комплексування методів електророзвідки у задачах прогнозування техногенних просідань і провалів на родовищах солі Передкарпаття / Кузьменко Е.Д. та ін. *Геодинаміка.* 2019. 2(27). С. 54-65.
14. Третяк К.Р., Брусак І.В. Дослідження взаємозв'язку сейсмічності та сучасних горизонтальних зміщень за даними перманентних ГНСС-станцій у Карпато-Балканському регіоні. *Геодинаміка.* 2020. 1(28). С. 5-18.
15. Вплив локальних сейсмотектонічних та інженерно-геологічних умов на сейсмічну небезпеку територій(на прикладі майданчика забудови в м. Ужгород) / Купльовський Б.Є. та ін. *Геодинаміка.* 2020. 1(28). С. 29-37.
16. Взаємозв'язок структурно-тектонічних та сейсмічних характеристик Центральної частини Закарпатського прогину / Козловський Е.М. та ін. *Геодинаміка.* 2020, 1(28). С. 62-70.

17. Походження зон низької густини в кристалічній корі Закарпатського прогину (Україна) за даними петрофізичного термобаричного моделювання / Корчін В.О., Русаков О.М., Буртний П.О., Карнаухова О.Є. *Геодинаміка*. 2020. 1(28). С.81-93.
18. Нейромережева оцінка параметрів локалізації і магнітуди джерел землетрусів за початковими ділянками записи сейсмічного сигналу / Лазаренко М.А. та ін. *Геофізичний журнал*. 2019. 41, 1. С. 200-214. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i1.2019.158874>.
19. Шляховий В.П., Шиян Р.В., Шляховий Р.В. Дослідження Полтавських сейсмоприпливних записів в період подій-вибухів в Балаклії і Калинівці. *Геофізичний журнал*. 2019 41(1). С. 215–230. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i1.2019.158876>
20. Муровська А.В., Амашукелі Т. А., Альохін В. Поля напружень і деформаційні режими в межах української частини Східних Карпат за тектонофізичними даними. *Геофізичний журнал*. 2019. 41(2). С. 84-98. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i2.2019.164455>
21. Гідрогеологічний аспект сейсмотектонічних процесів у Закарпатському внутрішньому прогині / Ігнатишин В.В. та ін. *Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Геологія*. 2022. 98(3). С. 42-48. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.98.05>
22. Геофізичні та астрофізичні аспекти екологічного стану Закарпаття / Ігнатишин В.В. та ін. *Екологічні науки: науково-практичний журнал* / Головний редактор Бондар О.І. К.: Видавничий дім «Гельветика». 2022. № 3(42). 236 с. С. 98-106. УДК 550.34 <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.3-42.16>
23. Магнітне поле Землі та геодинамічний стан Закарпатського внутрішнього прогину: екологічний аспект / Ігнатишин В.В. та ін. *Екологічні науки : науково-практичний журнал* / Головний редактор Бондар О.І. К. : Видавничий дім «Гельветика». 2023. № 1(46). 210 с. С.109-118 <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.1-46.19>
24. Sunspot Number graphics URL: <http://www.sidc.be/silso/ssngraphics>).
25. Місячний календар URL: <http://space.vn.ua/inshe/inshe-moon.html>

УДК 502.3:504.5

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.1.7>

АНАЛІЗ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В МІСТІ КИЄВІ

Сагайдак Д.А., Боголюбов В.М.

Національний університет біоресурсів і природокористування України
вул. Героїв Оборони, 15, 03041, м. Київ
denik04@ukr.net, volbog@ukr.net

У статті висвітлюється результати аналізу державної, муніципальної і громадської мереж моніторингу атмосферного повітря в місті Києві. Проаналізовано структуру, область покриття, типи сенсорів, методи збору первинної інформації, алгоритми обробки та представлення даних на різних платформах відображення стану атмосферного повітря в он-лайн форматі. Наведено порівняльний аналіз ефективності державної, муніципальної і громадської систем моніторингу атмосферного повітря з точки зору точності, достовірності, швидкості збору і аналізу даних, їх інформативності та доступності для громадськості.

В роботі розглянуто нову систему моніторингу атмосферного повітря в місті Києві, створену Департаментом захисту довкілля та адаптації до зміни клімату Київської міської державної адміністрації на базі 7 референтних та 46 індикативних автоматичних станцій. Особливу увагу звернули увагу на порівняльний аналіз муніципальної системи моніторингу атмосферного повітря з роботою державної стаціонарної мережі спостережень за станом атмосферного повітря в м. Києві. На основі отриманих результатів запропоновано рекомендації щодо оптимізації функціонування державної і муніципальної систем моніторингу атмосферного повітря в місті Києві. Для цього доцільно змінити програму роботи стаціонарних постів спостереження Центральної геофізичної обсерваторії у контексті збільшення частоти відбирання проб. Важливо також ліквідувати дублювання вимірюваних величин, зокрема, оксиди азоту, діоксид сірки і оксид вуглецю, які більш коректно вимірюються на автоматичних станціях. Такі зміни сприятимуть суттєвому покращенню ефективності функціонування системи моніторингу атмосферного повітря в м. Києві.

Проведений аналіз різних мереж громадського моніторингу засвідчив про найбільшу функціональність платформи SaveEcoBot, на якій відображається інформація переважної більшості автоматичних станцій на території міста Києва.

Ключові слова: системи моніторингу, атмосферне повітря, пости, автоматичні станції, спостереження.

Analysis of atmospheric air monitoring systems in the city of Kyiv. Sagaidak D., Bogoliubov V.

The article highlights the results of the analysis of state, municipal and public air monitoring networks in the city of Kyiv. The structure, coverage area, types of sensors, primary information collection methods, processing algorithms and data presentation on various platforms for displaying the state of atmospheric air in an online format were analyzed. A comparative analysis of the effectiveness of state, municipal, and public air monitoring systems is given in terms of accuracy, reliability, speed of data collection and analysis, their informativeness, and accessibility to the public.

The paper examines the new atmospheric air monitoring system in the city of Kyiv, created by the Department of Environmental Protection and Adaptation to Climate Change of the Kyiv City State Administration on the basis of 7 reference and 46 indicative automatic stations. Particular attention was paid to the comparative analysis of the municipal atmospheric air monitoring system with the work of the state stationary network of atmospheric air monitoring in the city of Kyiv. Based on the obtained results, recommendations are proposed to optimize the functioning of the state and municipal air monitoring systems in the city of Kyiv. For this purpose, it is expedient to change the work program of stationary observation posts of the Central Geophysical Observatory in the context of increasing the sampling frequency. It is also important to eliminate the duplication of measured values, in particular, nitrogen oxides, sulfur dioxide and carbon monoxide, which are more correctly measured at automatic stations. Such changes will significantly improve the effectiveness of the atmospheric air monitoring system in Kyiv.

The conducted analysis of various public monitoring networks testified to the greatest functionality of the SaveEcoBot platform, which displays the information of the vast majority of automatic stations on the territory of the city of Kyiv. *Key words:* monitoring systems, atmospheric air, posts, automatic stations, observation.

Постановка проблеми. На сьогоднішній день активно розробляються і впроваджуються незалежні регіональні центри і системи моніторингу довкілля у співпраці з Гідрометслужбою для розширення та уніфікації мережі постів спостережень [1]. У Києві, зусиллями Департаменту захисту довкілля та адаптації до зміни клімату Київської міської ради (Київської міської державної адміністрації), вже створена і функціонує система моніторингу атмосферного повітря. За останні 2 роки було встановлено 7 референтних і 46 індикативних автоматичних станцій європей-

ського зразка [2]. Інші міста та обласні адміністрації також намагаються проводити самостійну політику в галузі моніторингу довкілля відповідно до положення про регіональні центри моніторингу довкілля [3].

Згідно із законом України про охорону навколишнього природного середовища у Києві функціонують 16 стаціонарних постів спостережень за станом атмосферного повітря, створених Центральною геофізичною обсерваторією (ЦГО) ім. Бориса Срезневського [4]. Проби повітря відбираються щоденно 4 рази на добу (о 1-й, 7-й, 13-й і 19-й години),

окрім неділі та святкових днів¹. У 2020 р. відділом інформації про стан забруднення природного середовища ЦГО розроблено алгоритм надання *щотижневої* інформації про стан забруднення атмосферного повітря з мережі моніторингу до Міндовкілля України для розміщення на сайті міністерства.

Паралельно з державними та регіональними активно розвиваються системи моніторингу атмосферного повітря таких громадських організацій (ГО) як EcoCity, SaveDnipro, LUN misto та інші. Особливість діяльності цих ГО полягає ще й у тому, що вони надають можливість кожній особі чи підприємству придбати автоматичну станцію моніторингу, зареєструвати її на сайті і отримувати інформацію з інших аналогічних станцій. Станції практично всіх цих мереж (окрім станцій EcoCity) передають інформацію на платформу AirNet, яка створена командою засновників з Пекіну (КНР).

На сьогодні Українські мережі не дуже скоординовані між собою через розрізнене обладнання, неузгоджені методики збору та обробки даних, які часто не узгоджуються з Міндовкілля і це ускладнює використання таких даних на національному рівні [5].

Згідно зі звітом міжнародних експертів модернізацію системи моніторингу атмосферного повітря рекомендується здійснювати поетапно. На першому етапі, в рамках пілотного проєкту, рекомендується розпочати роботу з вимірювань вибраних пріоритетних забруднюючих речовин у різних типах територій залежно від пріоритетного джерела забруднення (фон міста, дорожній рух, промисловість). Однією з причин для застосування поетапного підходу відповідно до звіту є створення умов для ознайомлення персоналу суб'єктів моніторингу з новими методиками та технологіями вимірювання, а також набуття навичок, необхідних для роботи з автоматизованими пунктами спостережень, започаткування процедур забезпечення та контролю якості даних у новостворених мережах спостережень.

Актуальність досліджень. Моніторинг довкілля, зокрема, моніторинг атмосферного повітря, передбачає чотири основні блоки дій – спостереження (отримання інформації про стан довкілля), аналіз отриманої інформації, прогнозування можливих змін і наукове обґрунтування управлінських дій, щодо збереження якісного стану довкілля. У Києві за останні роки сформувалась досить розгалужена мережа станцій і постів спостереження за станом атмосферного повітря, яка багато в чому відповідає європейським стандартам (директивам). Постановою КМУ № 827 встановлено новий порядок державного моніторингу стану атмосферного повітря, згідно з яким, необхідно надавати «інфор-

мацію про концентрації в атмосферному повітрі діоксиду сірки, діоксиду азоту, твердих часток (ТЧ₁₀, ТЧ_{2,5}), озону і оксиду вуглецю – щодня, а за можливості – щогодини» [6].

Актуальною залишається проблема оптимізації процесів оцінювання отриманої інформації, прогнозування можливих змін стану атмосферного повітря і розробка алгоритмів наукової підтримки відповідних управлінських рішень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми розвитку і вдосконалення систем моніторингу стану атмосферного повітря розглянуті в роботах багатьох авторських колективів [2, 3, 5]. Питання оцінювання якості атмосферного повітря в Україні під час воєнних дій розглянуті в роботах [8, 10, 11]. Законодавчому врегулюванню технічних і організаційних питань формування системи моніторингу за станом атмосферного повітря присвячені постанови Мінприроди [1] і КМУ [6]. У дослідженнях [16, 17] зроблені спроби створення системи підтримки управлінських екологічних рішень у галузі екологічної безпеки шляхом розробки інформаційно-аналітичної системи оцінювання стану атмосферного повітря.

Проведений аналіз свідчить, що недостатньо вирішені питання модернізації системи моніторингу стану атмосферного повітря як у контексті оптимізації структури самої системи, так і стосовно формування наукової підтримки управлінських рішень.

Новизна. Запропоновані зміни до програми роботи стаціонарних постів спостереження ЦГО у контексті зменшення дублювання вимірюваних величин (оксиди азоту, діоксид сірки, пил), збільшення частоти відбирання проб і автоматизації процесу вимірювань забезпечить виконання Постанови КМУ від 14.08.2019 р. № 827 [6]. Такі заходи сприятимуть суттєвому покращенню ефективності функціонування системи моніторингу атмосферного повітря в м. Києві і забезпечить наукову підтримку прийняття управлінських рішень щодо збереження якості довкілля

Результати досліджень. Актуальна інформація про стан атмосферного повітря в м. Києві щодня визначається **Центральною геофізичною обсерваторією** імені Бориса Срезневського (ЦГО) і щомісяця викладається на сайті <http://cgo-sreznevskyi.kyiv.ua/uk/> [7]. За процес визначення рівнів забруднення атмосферного повітря у м. Києві в ЦГО відповідає відділ інформації про стан забруднення природного середовища, лабораторії якого 4 рази на добу відбирають проби повітря на 16 стаціонарних постах (рис. 1). Інформація з кожного поста спостережень щодня оновлюється на сайті [8].

Окрім муніципальних і державних постів в м. Києві є мережі автоматичних станцій моніторингу атмосферного повітря, встановлені різними організаціями і просто мешканцями міста, незалеж-

¹ На постах відбирають і аналізують 20 домішок (пил, діоксид сірки, сульфати, оксид вуглецю, діоксид азоту, оксид азоту, сірководень, фенол, формальдегід, аміак, хлористий водень, фтористий водень, важкі метали).

ними проектами та органами місцевого самоврядування. Станції розроблені і обслуговуються такими громадськими організаціями (ГО), як Eco City, SaveDnipro, ЛУН Місто, luftdaten.info, AirVisual, AirPol та іншими. Всі ці платформи мають свої переваги та недоліки, аналіз яких наведено нижче.

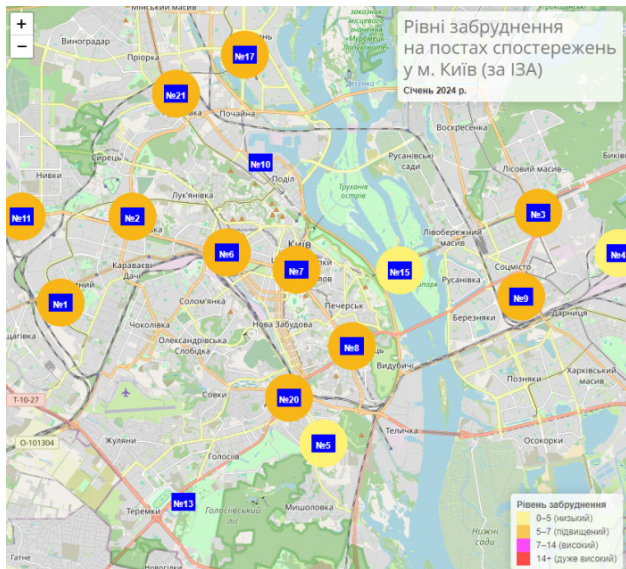


Рис. 1. Мережа спостережень ЦГО

ГО EcoCity створила мережу автоматичних станцій моніторингу якості повітря та власну платформу для громадського моніторингу. Мережа станцій створена командою фахівців з Івано-Франківська, основним завданням якої було забезпечення доступності дітей навчатися автоматизації за допомогою пристроїв Arduino та надання можливості любому мешканцю спостерігати за станом атмосферного повітря у себе в місті. Також команда EcoCity є розробниками мобільних станцій типу AirFreshMax, Sapphire-32 тощо. Команда ГО EcoCity забезпечує можливість будь-якій людині придбати або зібрати станцію-газоаналізатор та підключитись до мережі станцій EcoCity (рис. 2). Кожен мешканець міста чи села в Україні, який має доступ до Internet може отримати таку станцію моніторингу від програми «Чисте повітря для України» [9].

На сьогодні ця платформа є найбільшою (за кількістю станцій) мережею громадського моніторингу якості повітря в Україні. Переваги платформи полягають у простоті використання та доступності кожному, хто виявить бажання долучитися до процесу моніторингу повітря. Команда EcoCity надає можливість кожному власнику станції мати доступ до архіву бази даних у зручному для аналізу форматі з використанням Українського індексу якості повітря (UA AQI), розробленого міжнародною командою програми «Чисте повітря для України» [10]. Він відрізняється від загальноприйнятого Європейського індексу якості повітря і автори вважають його більш

приспосованим для поширених в Україні забруднювальних речовин.

Платформа EcoCity має і свої недоліки: ускладнено можливість графічної ілюстрації змін якості атмосферного повітря протягом доби – діаграма не активована; платформа не забезпечує аналіз рівня точності кожного з сенсорів станції-аналізатора повітря; відсутня стандартизована система чисельної оцінки індексу якості атмосферного повітря для кожної станції; відсутня координація на діаграмах з допустимими рівнями забруднень (ГДК, ГДН тощо); Окремо можна виділити проблеми із тим, що більшість людей, придбавши таку станцію, не обслуговують її. Через це отримані данні часто не відповідають дійсності, оскільки вимірювальні пристрої потрібно повірять та контролювати хоча б на рівні розробника і власника платформи з моніторингу стану атмосферного повітря.

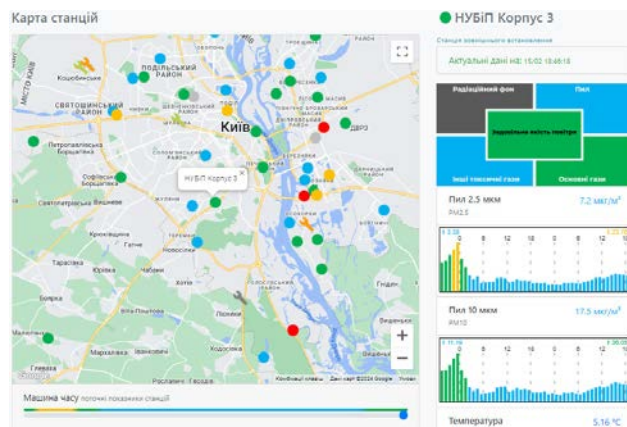


Рис. 2. Головна сторінка мапи станцій EcoCity (в м. Києві)

Платформа SaveEcoBot з автоматичними станціями. Громадська організація SaveDnipro є об'єднанням фахівців з м. Дніпро, яка створена з метою забезпечення тотального моніторингу якості повітря та цифровізації екологічних даних за допомогою створеного екологічного чат-боту SaveEcoBot. Мережа станцій SaveEcoBot включає близько 400 станцій моніторингу якості повітря, зокрема і щодо впливу дрібнодисперсного пилу на здоров'я населення за допомогою Індексу якості повітря (AQI).

Фахівці ГО Save Dnipro виконали аналіз даних з 16 стаціонарних постів спостережень Центральної геофізичної обсерваторії ім. Бориса Срезневського (ЦГО) у м. Києві [11]. Дані, отримані від ЦГО у табличному форматі були перетворені фахівцями ГО Save Dnipro у графічну форму свідчать про 2–3 разове перевищення ГДК по діоксиду азоту протягом перших 9 місяців 2023 року (рис. 3 а). Нами були проаналізовані дані станції КМДА на вул. Харківське шосе 7/1 за березень 2023 року (рис. 3 б).

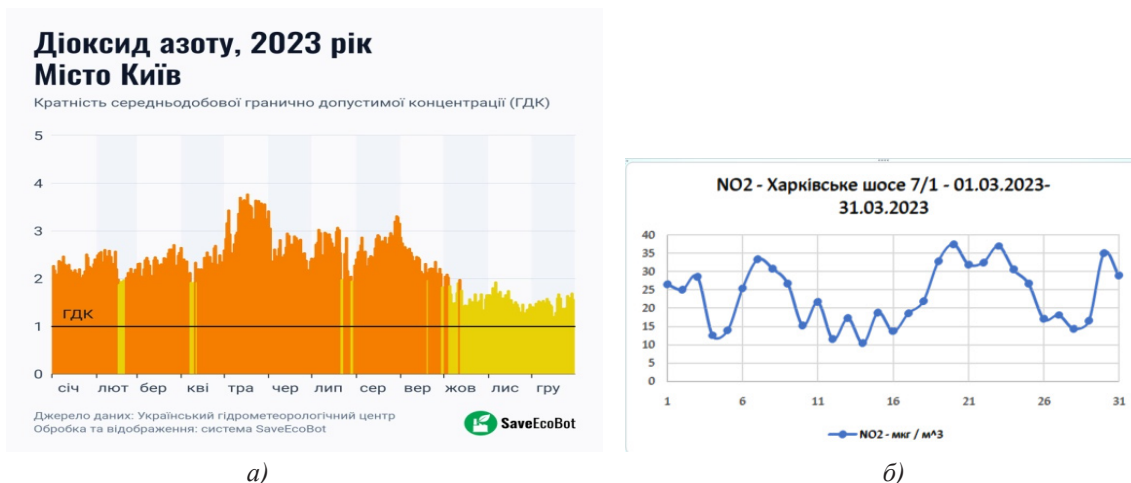


Рис. 3. Середньодобові концентрації діоксиду азоту в м. Києві за даними стаціонарних постів спостережень ЦГО (а) і КМДА (б)

Порівняння даних ЦГО, опрацьованих SaveEcoBot і даних автоматичної станції КМДА свідчить про те, що існуюча в м. Києві державна система моніторингу атмосферного повітря є технічно застарілою і не дозволяє отримувати актуальну інформацію (зокрема, про забруднення ОЗ, ТЧ2.5, ТЧ10) та забезпечувати органи державної влади та громадськість необхідною і своєчасною інформацією про якість атмосферного повітря. Треба зауважити, що стаціонарні пости ЦГО дають результати високої точності, але вимірювання здійснюються тільки 4 рази на добу з інтервалом у 8 годин, тому достовірність середньодобових даних викликає певні сумніви, про що свідчать дані автоматичних станцій КМДА з щохвилинним усередненням [12].

ГО ЛУН Місто AIR створена командою факультету радіофізики, електроніки і комп'ютерних систем КНУ ім. Тараса Шевченка. Громадська мережа станцій ЛУН Місто формується з 2018 року у 12 містах України. Станції ЛУН Місто вимірюють ТЧ1, ТЧ2.5, ТЧ10, температуру, вологість і атмосферний тиск

(рис. 4). Інформація з цих станцій передається real-time на карту misto.lun.ua/air та на інших сервісах [13]. З лютого 2024 року платформа SaveEcoBot поєднує на своїй мапі окрім своїх станцій, ще й станції ЛУН місто і 53 високоточних станції КМДА.

Для комфортного доступу до показників якості повітря, у будь-який час, та в будь-якому місці LUN Misto AIR створило застосунок який можна завантажити на популярні платформи та переглядати стан повітря з гаджетів в режимі реального часу та повідомляє про концентрацію шкідливого дрібного пилу за вашим вікном. Цей віджет доступний для мешканців Києва, Львова та кількох інших міст. Характеристики LUN Misto AIR: дані в реальному часі; показники актуальні для вашого місця розташування; точність станції калібруються в лабораторії.

Всесвітня мережа AirNet проекту World Air Index (Всесвітнього індексу якості повітря – Air Quality Index, China) має сайт з адресою <https://aqicn.org/station/> (рис. 5) [10]. Платформа AirNet використовує мережу станцій типу GAIA (China) з лазерні сенсорами для вимірювання в реальному часі забруднення твердими частинками ТЧ2.5 і ТЧ10 [11]. Ці дані надходять в онлайн-платформу, де вони обробляються та відображаються у зручному для користувачів форматі.

Система моніторингу AirNet має глобальне покриття і охоплює багато міст та регіонів по всьому світу, включаючи міста України. Інтерфейс мережі AirNet є легким у використанні та доступним для громадськості через веб-сайт та мобільні додатки. Загалом, система моніторингу мережі AirNet є важливим і зручним інструментом для відстеження якості повітря у більшості регіонів світу, зокрема, й у місті Києві (рис. 6). На платформі Airnet в Україні працюють автоматичні станції ГО Save Dnipro, LUN misto, luftdaten.info, AirVisual та інші.

Індекс якості повітря AQI (Air Quality Index, розроблений Агенцією з охорони навколишнього

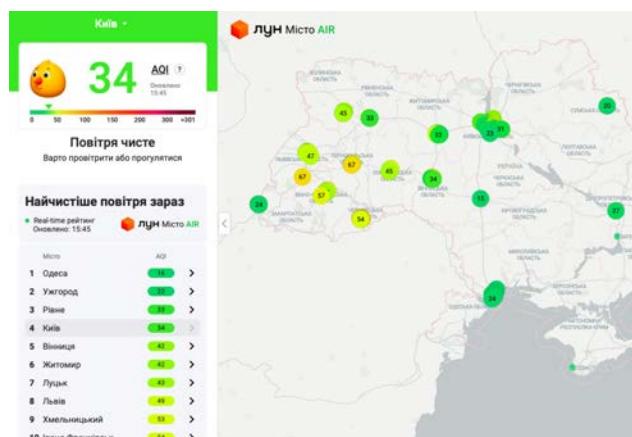


Рис. 4. Головна сторінка мапи якості повітря ЛУН Місто AIR

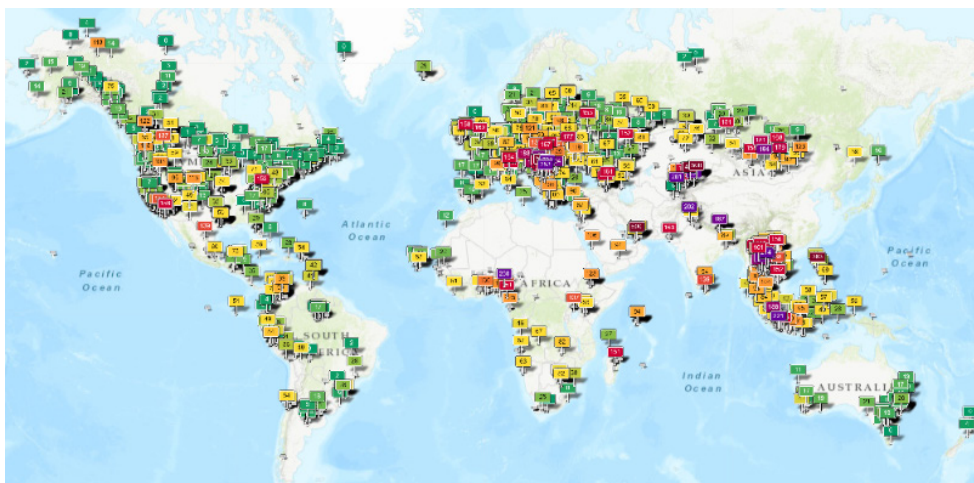


Рис. 5. Всесвітня мережа станцій AirNet

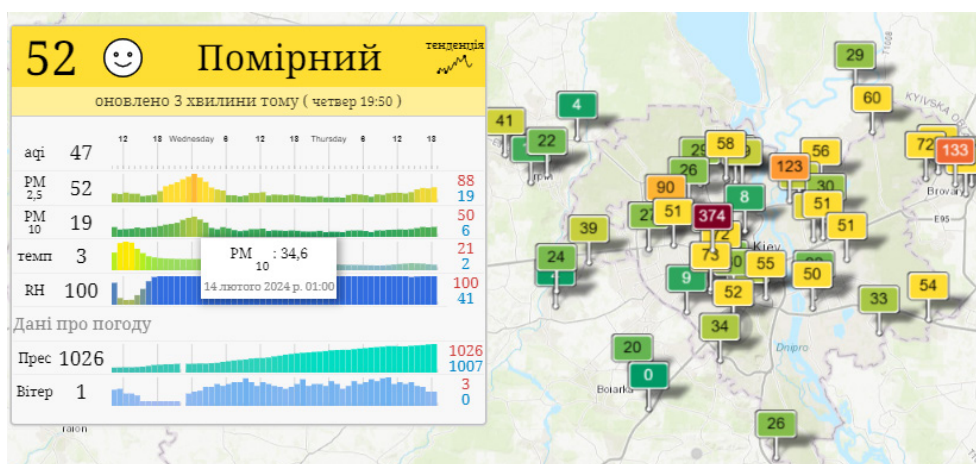


Рис. 6. Мережа AirNet з станціями Save Dnipro в м. Києві

середовища США (US EPA), який використовується у більшості країн світу при моніторингу якості атмосферного повітря. AQI – це числовий індекс, що використовується для оцінки рівня забруднення повітря в конкретній місцевості, який представляється шкалою від 0 до 500, де більші значення вказують на більш серйозне забруднення.

При обчисленні індексу AQI використовують інформацію про концентрації різних полутантів, таких як дрібнодисперсний пил (ТЧ2.5, ТЧ10), NO₂, SO₂ та інші. Нижче наведено типову класифікацію AQI:

- 0-50: Якість повітря вважається *задовільною*; рівень забруднення низький або відсутній – колір індексації зелений.

- 51-100: Якість повітря *прийнятна* (помірна); деякі забруднення можуть бути відчутними для невеликої групи людей, дуже чутливих до таких забруднень - колір індексації жовтий.

- 101-150: Якість повітря вважається *поганою* (нездоровою для чутливих груп населення); забруднення може впливати на здоров'я осіб з особливою

чутливістю до забруднення повітря - колір індексації помаранчевий.

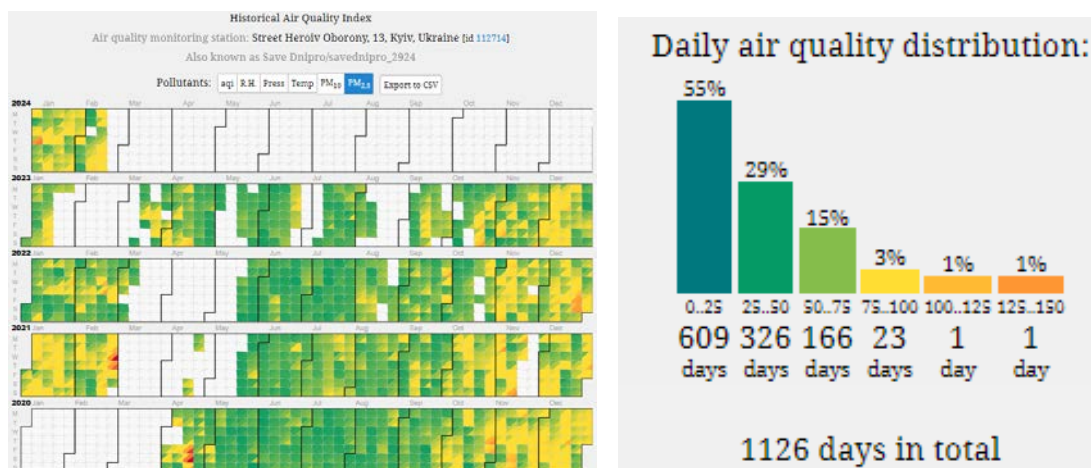
- 151-200: Якість повітря вважається *нездоровою* (дуже поганою); кожна людина може відчути вплив на здоров'я, а для чутливих груп можуть бути важкі наслідки – колір індексації червоний.

- 201-300: Якість повітря вважається *надзвичайною поганою*; можуть виникати серйозні ефекти на здоров'я, особливо для дітей та людей з хворобами, велика ймовірність небезпеки для всього населення – колір індексації фіолетовий.

- 300+: Якість повітря вважається *небезпечною*; всім особам рекомендується утриматися від будь-якої активності на відкритому повітрі – колір індексації коричневий.

Цей індекс дозволяє людям легко оцінити якість повітря та приймати відповідні заходи для захисту свого здоров'я.

Переваги платформи AirNet полягають як у простоті використання, так і у очевидності графічної ілюстрації концентрацій забруднювальних речовин з активними стовпчиками діаграм (на рис. 6 о 1.00



а) б)
Рис. 7. Ретроспективні данні по станції на вул. Героїв Оборони, 13
а) база даних за 5 років; б) добовий розподіл якості повітря



а) б)
Рис. 8. Референтні станції КМДА
а) станції на мапі Києва із показниками; б) загальний вигляд станції

ночі – $PM_{10}=54,6$ $\mu\text{кг}/\text{м}^3$). Більше того, платформа AirNet забезпечує аналіз рівня точності кожного з сенсорів станції-аналізатора повітря, забезпечує постійне оновлення індексу якості повітря у цифровому вигляді, а також зберігає середньодобові дані з кожного сенсора за останні декілька років (рис. 7). Цей функціонал також забезпечує визначення розподілу в часі якості повітря протягом всього періоду спостережень (рис. 7,б).

Якщо розглянути станцію id 112714², то за 5 років спостережень вона працювала 1126 діб, з них 84 % якість атмосферного повітря на вул. Героїв Оборони, 13 була прийнятною і лише 5% часу повітря було нездоровим для чутливих груп населення.

Варто зауважити, що платформа SaveEcoBot, не включає притаманні системі AirNet, сервіси щодо аналізу якості даних сенсорів та історичних даних про якість повітря.

Автоматичні пости і станції КМДА. Починаючи з 2021 року, Управління екології та природних ресур-

сів КМДА у співпраці з Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України розпочали встановлювати сучасне, сертифіковане обладнання, яке відповідає кращим європейським стандартам, зокрема, директивам ЄС та рекомендаціям ВООЗ. На сьогодні в м. Києві встановлено 7 референтних автоматичних постів моніторингу атмосферного повітря у вигляді малих архітектурних форм (рис. 8) [12].

Пости оснащені сучасними аналізаторами для визначення концентрації в атмосферному повітрі таких шкідливих речовин як дрібнодисперсний пил фракцій 2,5 та 10 $\mu\text{м}$ ($PM_{2.5}$ та PM_{10}), діоксид азоту (NO_2), діоксид сірки (SO_2), оксид вуглецю (CO), приземний озон (O_3), а на деяких постах – сірководень, бензол і формальдегід. За показниками якості атмосферного повітря з цих постів можна слідкувати у режимі реального часу на онлайн-мапі (на сайті asm.kyivcity.gov.ua), де на кожній станції можна відобразити графіки щомісячних, тижневих, добових і погодинних змін кожного з показників, а також і зміни комплексного індексу якості повітря (CAQI). Але на цих графіках не відображені ні гра-

² Станція НУБіПУ в м. Києві по вул. Героїв Оборони, 13, працює з 2020 року.

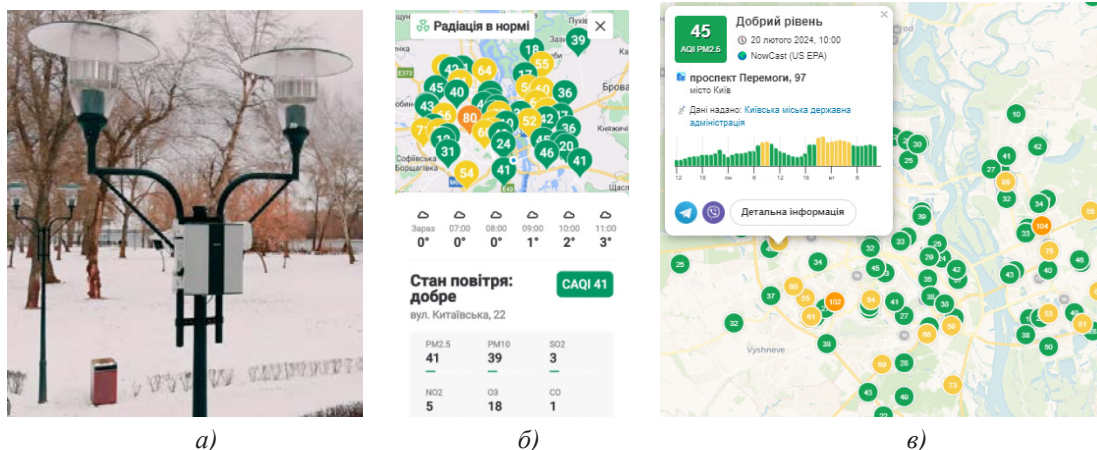


Рис. 9. Індикативні станції КМДА
а) загальний вигляд станції; б) у додатку «Київ цифровий»; в) SaveEcoBot

нично допустимі концентрації, ні допустимі рівні забруднень, що дещо знижує їх інформативність для громадськості.

Розташування стаціонарних постів спостереження обумовлене попередніми аналітичними дослідженнями найбільш забруднених місць Києва, проведених Управлінням екології та природних ресурсів КМДА. Муніципальна система моніторингу атмосферного повітря у Києві окрім референтних станцій за останні 2 роки доповнена мережею із 46 індикативних автоматичних станцій, представлених у мобільному додатку Київ-Цифровий, а останнім часом і на платформі SaveEcoBot (рис. 9).

Ці станції використовують більш дешеві сенсори, мають дещо нижчий рівень точності, але також сертифіковані і дають достовірні результати. Додаток «Київ цифровий» має зручний інтерфейс представлення даних по кожному із вимірюваних параметрів. Модернізацію системи моніторингу атмосферного повітря в Києві, як і лабораторій ЦГО з аналізу атмосферного повітря потрібно розпочинати паралельно з створенням мережі автоматичних станцій і постів спостережень, на яких здійснюватиметься безперервний відбір проб повітря з подальшим їх автоматичним аналізом [18].

Висновки

1. Для виконання Постанови КМУ від 14.08.2019 р. № 827 доцільно, на наш погляд, змінити програму роботи стаціонарних постів спостереження ЦГО у контексті збільшення частоти відбирання проб, автоматизації процесу вимірювань і зменшення

дублювання вимірюваних величин, зокрема, оксиди азоту, діоксид сірки і оксид вуглецю більш коректно вимірюються на автоматичних станціях. Зміни програми роботи стаціонарних постів спостереження ЦГО сприятиме суттєвому покращенню ефективності функціонування системи моніторингу атмосферного повітря в м. Києві.

2. Роль громадської мережі спостережень останніми роками стала дещо меншою, хоча за рахунок значно більшої кількості громадських автоматичних станцій, вони і досі важливі. Аналіз різних платформ громадського моніторингу свідчить про найбільшу функціональність платформи SaveEcoBot, на якій відображається інформація всіх станцій на території міста Києва – муніципальних станцій КМДА, ЛУН місто, SaveDnipro, Airly, AirVisual, luftdaten.info (окрім станцій EcoCity та постів ЦГО). З метою розширення доступу громадськості до інформації, зокрема, ретроспективної, про стан атмосферного повітря можна рекомендувати КМДА і ЦГО підключитись до платформи AirNet, яка забезпечує додаткові сервіси щодо аналізу якості даних сенсорів та ретроспективних даних про якість повітря.

3. Для забезпечення можливості формування наукової підтримки управлінських рішень щодо збереження якості атмосферного повітря необхідно розробити алгоритм функціонування системи моніторингу стану атмосферного повітря відповідно до встановлених Постановою КМУ від 14.08.2019 р. № 827 порогів оцінювання і граничних величин забруднювальних речовин.

Література

1. Примірне положення про регіональні центри моніторингу довкілля: URL <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Prumirne-polozhennya-regionalni-tsentry-pdf-3.pdf>.
2. Найбільша в Україні автоматична система моніторингу якості повітря працює в Києві / Звіт КМДА про роботу за 2021-2022 рік. <https://www.ukrinform.ua/rubric-kyiv/3698933-najbilsa-v-ukraini-avtomatichna-sistema-monitoringu-akosti-povitra-pracue-u-kievi.html>
3. За інформацією Програми державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря зони «Київська» на 2021-2025 роки. URL <https://koda.gov.ua/wp-content/uploads/2022/02/Projekt-rishennya-pro-zatverdzhennya-Programii-derzh-monitoringu-atmosferi-12-2021-3.docx>.

4. Лабораторія спостережень за станом атмосферного повітря (ЛСЗА ЦГО). URL <http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/uk/zabrudnennia/pro-narpiatok/17-monitorinh-stanu-dovkillia/195-lsza>
5. Бабій В.В. Аналіз систем моніторингу якості повітря у місті Києві. Політ. Сучасні проблеми науки : тези доповідей XXI Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених. – Національний авіаційний університет. Київ, 2021. С. 82-83.
6. Порядок здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря, затверджений Постановою КМУ від 14 серпня 2019 року № 827, URL <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-2019-p#Text>
7. Центральна геофізична обсерваторія ім. Бориса Срезневського. <http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/uk/>.
8. Спостереження за забрудненням атмосферного повітря в м.Києві. URL <http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/uk/diialnist/khimichne-zabrudnennia/sposterezhenia-za-zabrudnenniam-atmosfernoho-povitria-v-mkyievi/>.
9. Чисте повітря для України. Встанови свою станцію. URL <https://cleanair.org.ua/vstanovy-sviy-sensor/>.
10. Radiation and Smog Alarm. Настанови та принципи оповіщення населення про якість повітря, радіаційну та хімічну небезпеку / під заг. ред. М. Л. Сорока. Прага - Івано-Франківськ: Arnika, 2022. 58 с. URL <https://cleanair.org.ua/wp-content/uploads/2022/12/cleanair.org.ua-radiation-and-smog-alarm-uaqi-radiation-and-smog-alarm-2022-1.pdf>.
11. Скок А., Хрутьба В., Хлобистов С. Якість атмосферного повітря в Україні до і під час повномасштабного вторгнення. Київ, 2023. 67 с. URL. https://www.savednipro.org/wp-content/uploads/2023/10/zvit_doslidzhennya_101723.pdf.
12. Стан повітря в Києві у 2023 році: переважно більшість часу рівень забрудненості повітря був низьким або дуже низьким / Матеріали круглого столу КМДА 14 лютого 2024 року. https://kyivcity.gov.ua/news/stan_povitrya_v_kyievi_u_2023_rotsi_perevazhnu_bilshist_chasu_riven_zabrudnenosti_povitrya_buv_nizkim_abo_duzhe_nizkim
13. Громадський моніторинг якості повітря ЛУН Місто AIR. https://fileview.fwdcdn.com/?url=https://mail.ukr.net/api/public/file_view/list%3Ftoken%3DCuin9oO_BWA-gIrgHpGIESwUi-B-0WFhsLtnr1RbmXNWGCirpaTNQlgzGalvXw8Xboay-e_Y9NPXQcifDBmcWKdX04QYVyuWQQ:VRSQQpXHtKyUVVQB%26r%3D1708202815325&default_mode=view&lang=uk#start=2.
14. Світове забруднення повітря: індекс якості повітря в реальному часі. <https://waqi.info/> .
15. Монітори якості повітря Gaia - серія продуктів <https://aqicn.org/gaia/>.
16. Бондар О.І., Машков О.А., Міхєєв В.С. Системний підхід щодо створення системи підтримки екологічних рішень для забезпечення екологічної безпеки держави. Екологічні науки: науково-практичний журнал. К.: ДЕА, 2020. № 3(30), 2020, с. 30–38.
17. Боголюбов В.М., Голуб Б.Л. Інформаційно-аналітична система оцінювання стану атмосферного повітря / Сталій розвиток – XXI століття. Дискусії 2021: матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції / Національний університет «Києво-Могилянська академія» / за ред. проф. Хлобистова Є.В. – Київ, 2021. – 527 с. С. 235-246.
18. Модернізація системи моніторингу повітря в Україні: Міндовкілля та Фінський метеорологічний інститут визначають напрямки співпраці та обсяги технічної допомоги. <https://mepr.gov.ua/modernizatsiya-systemy-monitoryngu-povitrya-v-ukrayini-mindovkillia-ta-finskyj-meteorologichnyj-Instytut-vyznachayut-napryamky-spivpratsi-ta-obsyagy-tehnichnoyi-dopomogy/>.

ВИКОРИСТАННЯ ОНЛАЙН-ІНСТРУМЕНТІВ ГІС ДЛЯ АНАЛІЗУ ПРИРОДНИХ РЕКРЕАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ

Сопов Д.С.^{1,2}, Кирпичова І.В.¹, Мацай Н.Ю.¹, Чередниченко І.В.¹,
Сопова Н.В.^{2,3}, Винограденко С.О.², Садовий І.І.²

¹Державний заклад «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»
вул. Ковалюка, 3, 36003, м. Полтава

²Державний біотехнологічний університет
вул. Алчевських, 44, 61002, м. Харків

³Уманський національний університет садівництва
вул. Інститутська, 1, 20301, м. Умань

lnu.sopov@gmail.com, kirinopsis@gmail.com, m19050829@gmail.com,
soil911@ukr.net, lnu.sopov@gmail.com, lnau.sopova@gmail.com,
s.vinogradenko15@gmail.com, sadddd007@gmail.com, lnau.sopova@gmail.com

Однією з ключових характеристик, яка впливає на розвиток туризму та рекреаційної сфери в Україні, є привабливість території. Зараз, природно-заповідний фонд (ПЗФ) України найвищого рівня охорони, який включає національні парки, природні і біосферні заповідники та національні природні парки, становить 1 236 366 гектарів. На жаль, майже половина цих територій перебуває під впливом бойових дій, тимчасово перебуває під контролем російських окупантів або є недоступною для України. Проте варто відзначити, що, незважаючи на конфлікт з росією, екологічний туризм набуває все більшої популярності в Україні. Це відпочинок на природних територіях, які залишилися малозміненими, із акцентом на позитивному ставленні до природного середовища, а не лише на його експлуатації. У цьому контексті, національні природні парки, як важливі об'єкти природно-заповідного фонду, виступають основними центрами для рекреації та екологічного туризму в Україні. Однією з їхніх головних функцій є створення умов для організованого відпочинку громадян у природних умовах. Це досягається через ретельне планування та організацію території, що сприяє збереженню найцінніших природних угідь. Також в таких об'єктах контролюється вплив відвідувачів на навколишнє середовище, і вживаються заходи для відновлення пошкоджених екосистем. Ця задача особливо актуальна в контексті втрат та окупації значної частини об'єктів природно-заповідного фонду України внаслідок військової агресії російської федерації. Крім того, на заповідні території Карпатського регіону накладається значний тиск від рекреаційної діяльності, що вимагає пошуку нових місць для відновлення фізичного і психічного здоров'я як для місцевого населення, так і для внутрішньо переміщених осіб, військовослужбовців та інших категорій громадян. Одним із таких місць, на наш погляд, є національний природний парк «Мале Полісся», який і став об'єктом нашого дослідження. У статті здійснено наукову спробу визначення коефіцієнту атрактивності (привабливості) природних рекреаційних ресурсів національного природного парку «Мале Полісся» із застосуванням онлайн-інструментів ГІС, що і обумовлює новизну та актуальність нашого дослідження. *Ключові слова:* онлайн-інструменти ГІС, атрактивність, національний природний парк, рекреація, екологічний туризм, природні рекреаційні ресурси.

Use of online GIS tools for the analysis of natural recreation resources. Sopov D., Kyrpychova I., Matsai N., Cherednychenko I., Sopova N., Vynohradenko S., Sadovyy I.

One of the key characteristics that affects the development of tourism and recreation in Ukraine is the attractiveness of the territory. Currently, the nature reserve fund (NRF) of Ukraine of the highest level of protection, which includes national parks, nature and biosphere reserves and national nature parks, is 1 236 366 hectares. Unfortunately, almost half of these territories are under the influence of hostilities, are temporarily under the control of the russian occupiers, or are inaccessible to Ukraine. However, it is worth noting that, despite the conflict with russia, ecological tourism is gaining more and more popularity in Ukraine. This is recreation in natural areas that have remained little changed, with an emphasis on a positive attitude to the natural environment, and not only on its exploitation. In this context, national natural parks, as important objects of the nature reserve fund, act as the main centers for recreation and ecological tourism in Ukraine. One of their main functions is to create conditions for organized recreation of citizens in natural conditions. This is achieved through careful planning and organization of the territory, which contributes to the preservation of the most valuable natural lands. Also, in such objects, the impact of visitors on the environment is monitored, and measures are taken to restore damaged ecosystems. This task is especially relevant in the context of the loss and occupation of a significant part of the objects of the nature reserve fund of Ukraine as a result of the military aggression of the russian federation. In addition, the protected areas of the Carpathian region are under significant pressure from recreational activities, which requires the search for new places to restore physical and mental health both for the local population and for internally displaced persons, military personnel and other categories of citizens. One of these places, in our opinion, is the «Male Polissya» National Nature Park, which became the object of our research. The article makes a scientific attempt to determine the coefficient of attractiveness (attractiveness) of natural recreational resources of the national nature park «Male Polissya» using online GIS tools, which determines the novelty and relevance of our research. *Key words:* online GIS tools, attractiveness, national natural park, recreation, ecological tourism, natural recreational resources.

Методи і теорія. Метою нашого дослідження є багаторазовий поглиблений аналіз та оцінка атрактивності (привабливості) природних рекреаційних ресурсів, розташованих у межах національного природного парку «Мале Полісся». Для досягнення цієї мети нами використані передові технології та онлайн-інструменти геоінформаційних систем, що дозволили нам отримати комплексну та деталізовану інформацію про територію дослідження.

Нами проведено оцінку туристичної привабливості, використовуючи ретельно обрані критерії та методи, які враховують різноманітність природних рекреаційних ресурсів. Аналіз природних рекреаційно-туристичних ресурсів здійснено відповідно до методики оцінювання природних рекреаційно-туристичних ресурсів (РТР) [9] та охоплює оцінку їхнього впливу на екосистеми, різноманіття флори та фауни, доступність для відвідувачів, наявність інфраструктури та інші важливі аспекти. Наш підхід до оцінювання дав можливість здобути глибоке розуміння потенціалу та стійкості рекреаційних ресурсів для раціонального використання та збереження природи цієї унікальної території.

Аналіз досліджень і публікацій. Багато українських вчених, включаючи туризмознавців, географів, землевпорядників, екологів, економістів, фахівців з наук про Землю, наразі зосередженні на дослідженні природних рекреаційно-туристичних ресурсів і ресурсного потенціалу України. Один із головних внесків в цю галузь науки зробив відомий вчений О. Бейдик [1], який розробив систему класифікації рекреаційних ресурсів України та висунув методику їхньої оцінки, а також створив картографічну візуалізацію їхнього розподілу. Детальний аналіз рекреаційних ресурсів був проведений у дослідженнях О. Любіцевої, Є. Панкової та В. Стафійчук [2], які дослідили стан розвитку рекреаційного господарства України та рівень забезпеченості рекреаційними ресурсами. Також, Л. Івченко, Н. Погуда та К. Вовк, в своїй науковій праці [3], запропонували підхід до оцінки рівня розвитку туризму за допомогою методів кваліметрії, який не лише дозволяє порівнювати рівні розвитку туризму в різних країнах, але і визначати потенціал використання людських ресурсів для розвитку туризму в країні. Застосування геоінформаційного аналізу та сучасних геоінформаційних технологій у розвитку екологічного туризму, а також в рекреаційній діяльності, детально розглянуто у праці Ю. Косенко [4]. В наукових працях В. Лепетюк [5] та С. Шевчук, О. Ласло, В. Оніпко [6], розкриті питання геоінформаційного моніторингу туристичного потенціалу територій та ГІС-технологій для підвищення туристичної привабливості дестинації. Також, проблематиці оцінювання туристичних ресурсів України у воєнний період присвячено наукову публікацію О. Роїк, А. Терехух, Н. Паньків [14] в якій проведено оцінку втрат туристичних ресурсів в умовах збройних протистоянь та

запропоновано нові рішення у використанні туристичних ресурсів в період післявоєнної відбудови.

Виклад основного матеріалу. Національний природний парк «Мале Полісся» створений в 2013 році з метою збереження цінних природних комплексів та історико-культурних об'єктів східної частини Малевого Полісся, що мають важливе природоохоронне, наукове, естетичне, рекреаційне та оздоровче значення. До території національного природного парку увійшло 8762,7 га земель державної власності, з них 2764,0 га надаються в постійне користування, 5998,7 га включаються до його складу без вилучення [12]. Парк розташований в межах Шепетівського району (раніше Ізяславського та Славутського районів) Хмельницької області, у її північній частині, поблизу порівняно великих населених пунктів – Шепетівка, Славута і Нетішин Хмельницької області та м. Острог Рівненської області [13].

Заповідна зона національного природного парку займає площу 676,3 га або 7,7 % і включає найбільш цінні території. Зона регульованої рекреації виділяється на площі 2541,8 га, що становить 29 % від загальної площі. Зона стаціонарної рекреації виділяється в межах ділянок, на яких планується розвиток інфраструктури місць довгострокового відпочинку. Загальна її площа становить 6,3 га або 0,1 % від площі. Господарська зона розташована на площі 5538,3 га, що становить 63,2 % від площі національного природного парку [13]. Набори вищезазначених даних отримано (згенеровано) на платформі «Google Earth Engine» (GEE) за допомогою онлайн-інструменту ГІС – «Google Dynamic World» (DW) (рис. 1).

Розвиток туризму національного природного парку «Мале Полісся» перебуває на початку становлення. Тут прокладено 1 екологічну стежку (рис. 2) в зоні відпочинку Голубі озера – «Перлина Славутчини», організовано зони стаціонарної рекреації на березі озера Святе та біля штучних водойм в гідрологічному заказнику «Голубі озера» [11]. Одним із найголовніших завдань функціонування національного природного парку «Мале Полісся» на сьогодні є розробка заходів з розвитку рекреації, для чого необхідно здійснити комплексну оцінку рекреаційного потенціалу його території.

В результаті аналізу проектних та наукових матеріалів даємо характеристику природних рекреаційних ресурсів національного природного парку «Мале Полісся». У рослинному покриві парку переважає лісова рослинність – вкриті лісовою рослинністю лісові ділянки становлять 89,9 % загальної площі парку. Основними лісокористувачами території національного природного парку «Мале Полісся» є філія «Славутське лісове господарство» державного спеціалізованого господарського підприємства «Ліси України» (раніше ДП «Славутське лісове господарство») та філія «Ізяславське лісове господарство» державного спеціалізованого господарського підприємства «Ліси України» (раніше

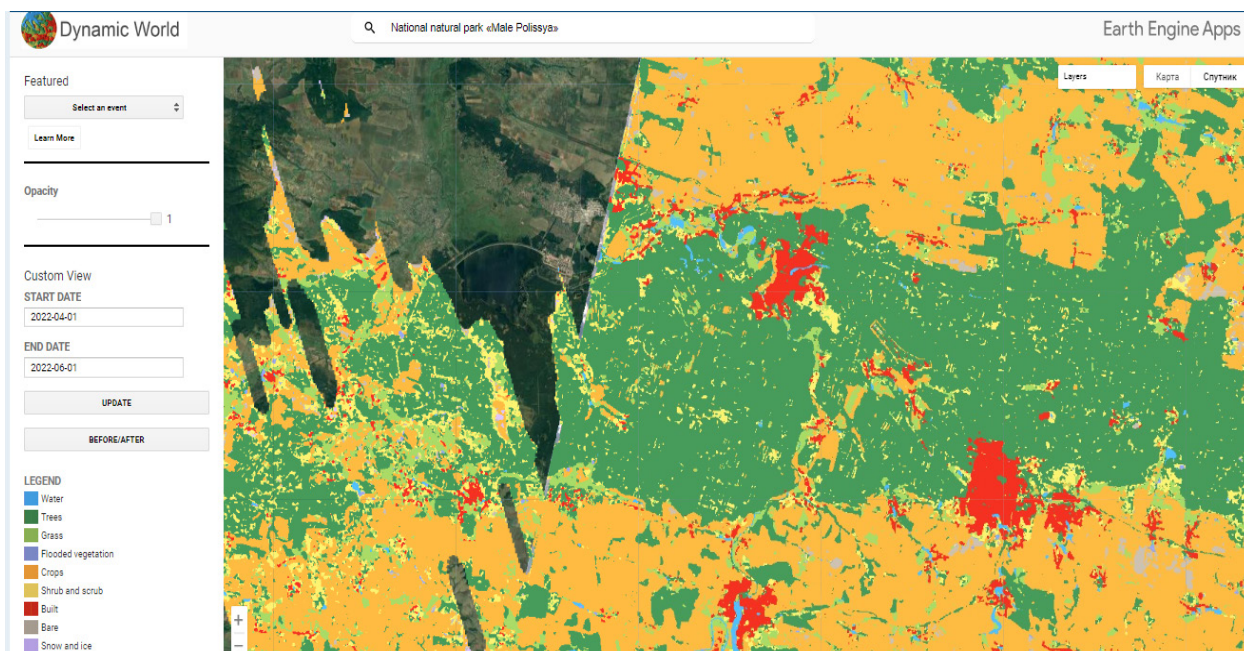


Рис. 1. Національний природний парк «Мале Полісся» (Google Dynamic World – <https://dynamicworld.app/explore>)

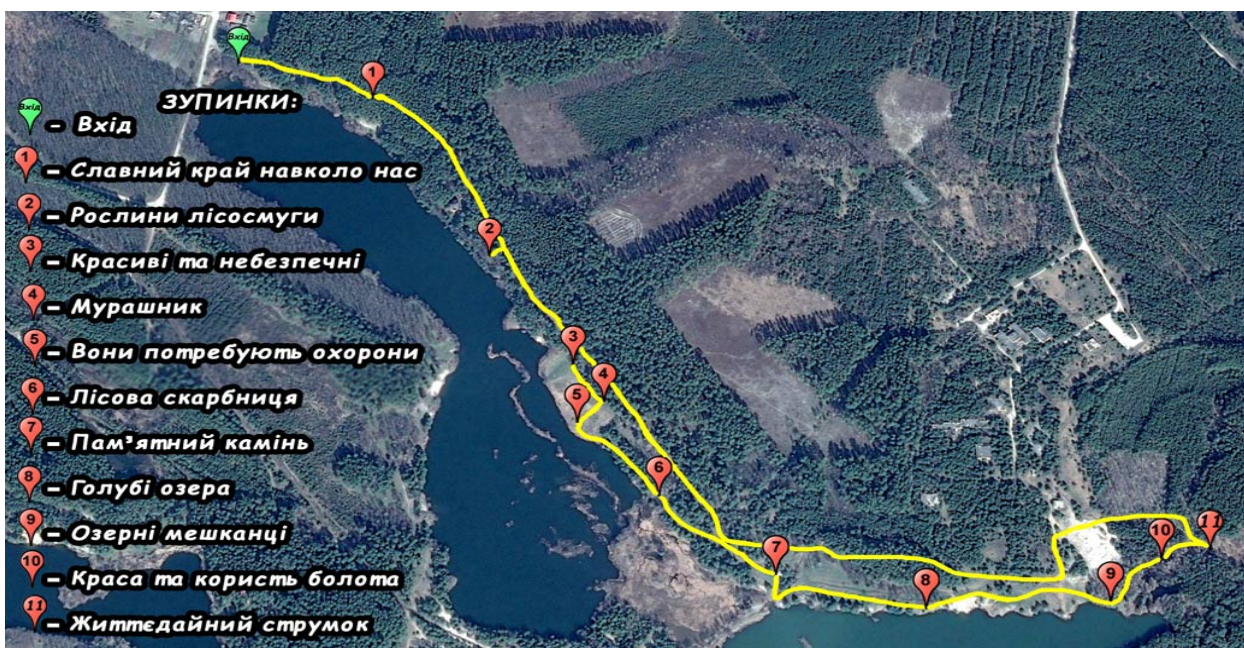


Рис. 2. Екологічна стежка в зоні відпочинку Голубі озера – «Перлина Славутичини» національного природного парку «Мале Полісся» (Google Earth – <https://earth.google.com>)

ДП «Ізяславське лісове господарство»). Територія національного природного парку «Мале Полісся» здебільшого вкрита сосновими та дубово-сосновими лісами, болотами та луками. Невисока родючість ґрунтів і заболоченість обмежили антропогенний вплив на рослинність території та сприяли її збереженню [13].

Територією національного природного парку «Мале Полісся» протікає річка Гнилий Ріг (Гнилий Ріг) з небагатьма притоками та спрямленим руслом

у нижній течії. Річка до будівництва Хмельницької АЕС та Нетішинського водосховища була правою притокою р. Вілія. Тепер річка впадає у ставок-охолоджувач, який сполучений із Вілією залишками русла та з Горинню – кількома штучними каналами. Довжина річки Гнилий Ріг – 28 км, площа водозбірного басейну 201 км². Річище звивисте, у пониззі випрямлене, завширшки 8–12 м [13]. Безпосередньо територією національного природного парку річка протікає на проміжку близько 2,5 км. Інші річки



Рис. 3. Геоморфологічне районування України (<https://geomap.land.kiev.ua/zoning-6.html>)
*3-2 – Малополіська пластово-аккумулятивна рівнина на крейдових відкладах

(Горинь, Вілія) знаходяться за межею заповідної території. Р. Гнилий ріг, через заболоченість русла та протікання її серед малопрхідних захарашчених територій, не є придатною для здійснення на ній рекреаційної діяльності.

Озера сконцентровані в основному у східній частині Парку – Святе, Голубі озера, озера ботанічного заказника занальнодержавного значення «Теребіжі». Озеро Святе – найбільше озеро Хмельницької області. Знаходиться на півдні Славуцького району, за 17 км від м. Ізяслав. Це водойма природного походження. Озеро лежить в басейні річки Горинь. Озеро славиться мальовничістю, кришталевою прозорістю води. Площа озера складає 8,2 га. У центрі озера розташований острів, а навколо озера ліс. Озеро живиться артезіанськими джерелами, що б'ють із дна. Озеро Святе з 1970 року оголошене гідрологічною пам'яткою природи місцевого значення, а також має статус гідрологічної пам'ятки природи загальнодержавного значення. Озеро Святе формує сфагнові плави, властиві лише для боліт північних широт. Голубі озера – водойми антропогенного походження, розташовані за 11 км на північний захід від м. Славути. Включають каскад із п'яти водойм. Утворилися озера на місці відпрацьованих піщаних кар'єрів.

Найбільше з них поблизу села Стригани, входить до складу гідрологічного заказника місцевого значення з однойменною назвою «Голубе озеро». Озера заказника Теребіжі представлені групою з чотирьох озер, розташованих між ними грив та прилеглих до водойм соснових лісів. Територія гідрологічного заказника – це колишня долина стоку льодовикових вод. Усі водойми перебувають на різних стадіях евтрофікації та перетворилися на болота різних типів. Площа заказника 30,3 га [13]. Загалом під водоймами знаходиться 72,5 га території національного природного парку, що становить 0,8 % [13].

Територія національного природного парку «Мале Полісся» розташована у межах геоморфологічного утворення Малополіської денудаційної рівнини (рис. 3).

Орографічно поверхня національного природного парку «Мале Полісся» порівняно із прилеглими до неї височинами вирівняна, слабо розчленована, понижена. Відносні висоти коливаються в межах 15–25 м, абсолютні висоти становлять 200–240 метрів над рівнем моря. Найвищою є центральна частина паркової території, представлена абсолютними висотами від 218 до 245 м. Абсолютні висоти знижуються у напрямі на північ [7; 11].

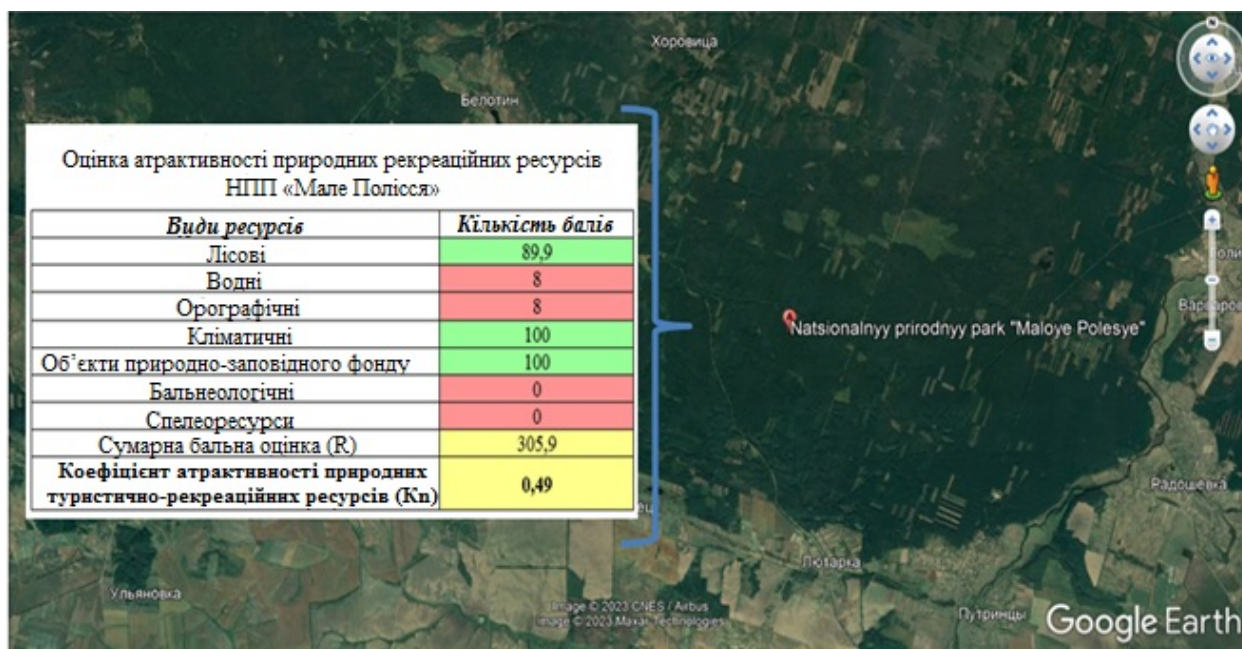


Рис. 4. Оцінка атрактивності природних рекреаційних ресурсів національного природного парку «Мале Полісся» (Google Earth – <https://earth.google.com>)

Клімат території національного природного парку «Мале Полісся» характеризується помірною континентальністю та значною зволоженістю [10]. Для розвитку туризму та рекреації в межах національного природного парку важливою є оцінка біокліматичних ресурсів. В результаті аналізу метеорологічних показників на території національного парку визначено, що комфортні та субкомфортні періоди для відпочинку і рекреаційної діяльності становлять 243 дні на рік.

Хоча вся територія національного природного парку відноситься до природно-заповідного фонду [8], ми оцінюємо лише територію заповідних об'єктів, які існували до створення парку та повністю увійшли до зон заповідної, регульованої та стаціонарної рекреації. Решта ж території становить господарську зону, яка, хоч і може бути використана з метою рекреації, становить територію без вилучення інших землекористувачів, що утруднює розвиток рекреації. Загальна площа об'єктів природно-заповідного фонду, що увійшли до складу парку, складає 2255,49 га (25,7 % території) [13].

За результатами аналізу природних рекреаційних ресурсів, описаних вище, відповідно до зазначе-

ної методики [9] даємо оцінку атрактивності даних рекреаційних ресурсів для національного природного парку «Мале Полісся» застосовуючи картографічну основу Google Earth (рис. 4).

Висновки. Згідно оцінки, зробленої з використанням онлайн-інструментів ГІС, коефіцієнт атрактивності природних рекреаційних ресурсів національного природного парку «Мале Полісся» склав – 0,49. Таким чином, територія парку характеризується «середньою атрактивністю» (привабливістю) природних рекреаційних ресурсів.

Отже, національний природний парк «Мале Полісся» має значний потенціал та сприятливі природні умови для здійснення рекреаційної діяльності, а саме: високий показник заліснення, певну кількість природних та штучних водойм. Біокліматичні ресурси парку створюють позитивні умови для розвитку та проведення рекреаційної діяльності в теплий, а також холодний період року. Це безумовно повинно дати поштовх для розвитку у відповідних зонах національного природного парку «Мале Полісся» пізнавального, лікувально-оздоровчого та спортивно-оздоровчого туризму.

Література

1. Бейдик О. О. Рекреаційні ресурси України : навч. посіб. Київ : Альтерпрес, 2011. 462 с.
2. Любіцева О. О., Панкова Є. В., Стафійчук В. І. Туристичні ресурси України : навч. посіб. Київ : Альтерпрес, 2007. 369 с.
3. Івченко Л. О., Погуда Н. В., Вовк К. М. Оцінка рівня розвитку туризму методами кваліметрії. *Економіка та суспільство*. 2021. № 26. 10 с. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-26-5> (дата звернення: 04.12.2023).
4. Косенко Ю. Ю. Застосування сучасних геоінформаційних технологій у розвитку екологічного туризму. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Географічні науки*. 2018. № 9. С. 233–238. URL: <https://gj.journal.kspu.edu/index.php/gj/article/view/231/225> (дата звернення: 23.11.2023).

5. Lepetiuk V. B. The GIS technologies` products for increasing the tourist attractiveness of the destination (on the example of Chernigiv region). *Geodesy, cartography and aerial photography*. 2020. Vol. 92. P. 55–67. URL: <https://doi.org/10.23939/istcgcap2020.92.055> (дата звернення: 30.10.2023).
6. Shevchuk S. M., Laslo O. O., Onipko V. V. Geoinformation monitoring of the tourist industry potential of the territory. *Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference*. Osaka, Japan. 2023. P. 124–128. URL: <https://isg-konf.com/scientific-directions-of-research-in-educational-activity/> (дата звернення: 15.11.2023).
7. Палієнко В. П., Барщевський М. С., Бортник С. Ю., Палієнко Е. Т., Вахрушев Б. О., Кравчук Я. С., Гнатюк Р. М., Зінько Ю. М. Загальне геоморфологічне районування території України. *Український географічний журнал*. 2004. № 1. С. 3–11.
8. Про природно-заповідний фонд України : Закон України від 16 червня 1992 р. № 2456-ХІІ : станом на 1 січня 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-12#Text> (дата звернення: 19.11.2023).
9. Іванунік В. О., Явкін В. Г. Атрактивність рекреаційно-туристичних територій : навч. посіб. Чернівці : Чернівецький нац. ун-т, 2012. 248 с.
10. Ліпінський В. М., Дячук В. А., Бабіченко В. М. Клімат України. Київ : Вид. Раєвського, 2003. 343 с.
11. Мале Полісся. Національний природний парк. *Мале Полісся* : веб-сайт. URL: <http://malepolisja.in.ua> (дата звернення: 12.12.2023).
12. Про створення національного природного парку «Мале Полісся» : Указ Президента України від 02 серпня 2013 р. № 420/2013. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/420/2013#Text> (дата звернення: 19.11.2023).
13. Проект організації території Національного природного парку «Мале Полісся», охорони, відтворення та рекреаційного використання його природних комплексів та об'єктів. Київ. 2020. 286 с. (Рукопис).
14. Roik O., Terebukh A., Pankiv N. The assessment of tourist resources in Ukraine in the conditions of war. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2023. №. 32 (3). P. 598–608. URL: <https://geology-dnu.dp.ua/index.php/GG/article/view/1045> (дата звернення: 25.12.2023).

ПРОБЛЕМИ АДАПТАЦІЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В УКРАЇНІ ДО ВИМОГ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ

Ткачук О.П., Мазур О.В.

Вінницький національний аграрний університет
вул. Сонячна, 3, 21008, м. Вінниця
tkachukop@ukr.net

Узагальнено підходи до моніторингу атмосферного повітря, що реалізовувалися Українським гідрометеорологічним центром Державної служби з надзвичайних ситуацій до 2021 року. Подано основні принципи Порядку здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря, що затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 14 серпня 2019 р. № 827. Представлено принципи моніторингу атмосферного повітря в ЄС. Визначено усі Директиви ЄС, що регламентують моніторинг атмосферного повітря в Європі. Обґрунтовано необхідність застосування Індексу якості повітря. Встановлено основні проблеми у повній реалізації нового Порядку державного моніторингу атмосферного повітря та окреслено шляхи їх подолання.

Традиційний для України Індекс забруднення атмосфери (ІЗА) в Євросоюзі замінений на Індекс якості повітря. Він враховує не тільки порівняння фактичної концентрації ряду забрудників з їх граничними значеннями та приведення до певного класу небезпеки, як це відбувається в ІЗА, але й враховує вплив цих речовин у певних концентраціях на стан здоров'я людини.

Основними проблемами повного переходу на реалізацію даного Порядку є відсутність визначення завислих частинок пилу діаметром менше 2,5 та 10 мкм, озону, бензену, миш'яку, ртуті. Більша частина території країни залишається без достовірних даних, оскільки дослідження характеризують лише місця відбору проб. Відсутнє безперервне визначення концентрацій забрудників, оскільки часові проміжки спостережень обмежуються 4-разовим відбором проб. Критерії оцінювання рівнів забруднення повітря, а також гігієнічні нормативи застаріли та мають бути замінені на нові критерії: «оцінка ризику» для людини. Немає об'єктивної системи інформування населення про рівень забруднення атмосферного повітря, а також системи управління забрудненням повітря. Застарілі та недосконалі методи проведення моніторингу, а також технічні засоби виконання вимірювань. *Ключові слова:* атмосферне повітря, моніторинг, забруднення, Євросоюз, програми спостережень, адаптація.

Problems of adapting the atmospheric air monitoring system in Ukraine to the requirements of the European Union. Tkachuk O., Mazur O.

Approaches to atmospheric air monitoring implemented by the Ukrainian Hydrometeorological Center of the State Emergency Service until 2021 are summarized. The main principles of the State monitoring procedure in the field of atmospheric air protection, which was approved by the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated August 14, 2019 No. 827, are presented. The principles of atmospheric air monitoring in the EU are presented. All EU Directives regulating atmospheric air monitoring in Europe have been defined. The necessity of using the Air Quality Index is substantiated. The main problems in the full implementation of the new Procedure for State Monitoring of Atmospheric Air are identified and the ways to overcome them are outlined.

The Air Pollution Index (API), traditional for Ukraine, has been replaced by the Air Quality Index in the European Union. It takes into account not only the comparison of the actual concentration of a number of pollutants with their limit values and bringing them to a certain class of danger, as is the case in IZA, but also takes into account the impact of these substances in certain concentrations on human health.

The main problems of the complete transition to the implementation of this Order are the lack of determination of suspended dust particles with a diameter of less than 2.5 and 10 microns, ozone, benzene, arsenic, mercury. Most of the territory of the country remains without reliable data, since the studies characterize only the sampling sites. There is no continuous determination of pollutant concentrations, as the time intervals of observations are limited to 4 samplings. The criteria for evaluating air pollution levels, as well as hygienic standards, are outdated and should be replaced by new criteria: "risk assessment" for humans. There is no objective system for informing the population about the level of atmospheric air pollution, as well as a system for managing air pollution. Outdated and imperfect methods of monitoring, as well as technical means of performing measurements. *Key words:* atmospheric air, monitoring, pollution, European Union, observation programs, adaptation.

Постановка проблеми. Підписання Україною Євроінтеграційних документів передбачає адаптування її нормативних актів до вимог Євросоюзу. Не оминула ця проблема і сферу захисту навколишнього середовища, де Європейський Союз має дуже жорсткі вимоги. Одним із визначальних пріоритетів у сфері захисту довкілля в Європі належить системі моніторингу довкілля, зокрема атмосферного повітря [1].

Програми державного моніторингу атмосферного повітря в Україні функціонують ще з кінця

двадцятого століття. На сьогодні вони морально і фізично застаріли та потребують швидкої адаптації до Європейських вимог.

Актуальність дослідження. Запровадження європейських принципів моніторингу атмосферного повітря в Україні сприятиме більш якісному та системному контролю за станом повітря. Проте велика різниця між існуючими національними та Європейськими програмами з моніторингу повітря вимагає складної адаптації. Короткі терміни,

обмежене фінансування, військові дії сповільнюють ці процеси. Тому важливо визначити основні проблеми, що виникають при адаптації Європейських програм з моніторингу повітря в національні програми.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Адаптація європейських систем моніторингу атмосферного повітря у національні програми спостережень за станом довкілля є важливим практичним завданням нашої держави у контексті Євроінтеграційних процесів. Повний перехід Україною на Європейські принципи моніторингу довкілля пришвидшать вступ нашої країни до ЄС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Моніторинг атмосферного повітря у містах України здійснюється Українським гідрометеорологічним центром Державної служби з надзвичайних ситуацій. Спостереження тривалий час проводилися на основі Постанови Кабінету Міністрів України від 9 березня 1999 року № 343 і Керівництва з контролю забруднення атмосфери РД 52.04.186-89 [2].

Визначення концентрацій забруднюючих речовин здійснювалося методом відбору проб повітря на стаціонарних постах спостереження. Нормативна кількість стаціонарних постів у містах залежить від чисельності населення та площі міста. Один стаціонарний пост встановлюють з розрахунку на 50 тис. жителів та на 10–20 км² території міста [3] (табл. 1).

Таблиця 1

**Нормативи розміщення
стаціонарних постів в Україні**

| Кількість постів, шт. | Чисельність населення, чол. | Площа охоплення території одним постом, км ² |
|-----------------------|-----------------------------|---|
| 1 | 50 тис. | 10-20 на рівнині/ 5-10 на пересіченій місцевості |
| 2 | 50-100 тис. | |
| 3 | 100-200 тис. | |
| 3-5 | 200-500 тис. | |
| 5-10 | 500 тис.-1 млн. | |
| 10-20 | Понад 1 млн. | |

Станом на 2016 рік в Україні функціонувало 129 стаціонарних постів у 39 містах. Найбільше їх було у Києві – 16; у Харкові – 10; в Одесі – 8; у Дніпрі – 6; у Запоріжжі, Кривому Розі, Маріуполі – по 5; у більшості обласних центрів – не більше чотирьох постів [4].

Моніторинг атмосферного повітря передбачав визначення концентрації пилу, діоксиду сірки, оксиду вуглецю, діоксиду азоту, свинцю та його неорганічних сполук, бенз(а)пірену, формальдегіду та радіоактивних речовин. Інші забруднюючі речовини могли контролюватися за рішенням органів місцевого самоврядування відповідно до специфіки джерел забруднень [5].

Для оцінки якості забруднення повітря виявлені концентрації забруднюючих речовин порівнюють з гра-

нично допустимими концентраціями (ГДК). Результат подається у разовості перевищення ГДК. Оскільки різні забруднюючі речовини мають різну шкідливість, то порівняти їх між собою складно. Для врахування класу небезпечності різних забрудників використовують індекс забруднення атмосфери (ІЗА) [6].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Через неможливість забезпечити якість атмосферного повітря існуючою системою моніторингу та для охоплення спостереженнями повного переліку забруднюючих повітря речовин, відповідно до директив ЄС, починаючи з 2021 року моніторинг атмосферного повітря в Україні проводиться відповідно до Порядку здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря, що затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 14 серпня 2019 р. № 827. Новий порядок ґрунтується на європейських положеннях Директиви 2008/50/ЄС про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи та Директиви 2004/107/ЄС щодо As, Cd, Hg, Ni та поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ) у атмосферному повітрі [7].

Проте до цього часу існує ряд проблемних питань, які обмежують повний перехід на Європейську систему моніторингу. Саме виокремленню цих проблем та визначенню шляхів їх подолання присвячена стаття.

Новизна. Проведено комплексний аналіз усіх проблем, що відтермінують повну реалізацію практичних принципів Порядку здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря, що затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 14 серпня 2019 р. № 827. Визначено способи їх вирішення.

Методологічне або загальнонаукове значення. Дослідження проводилися на основі опрацювання наукових, нормативних та методологічних літературних джерел за тематикою статті.

Виклад основного матеріалу. Здійснення моніторингу атмосферного повітря за новим Порядком проводиться на рівні зон (областей) та агломерацій (міст). Програма державного моніторингу атмосферного повітря розробляється на п'ять років і містить інформацію про: орган управління якістю повітря, що розробив цю програму; мережу спостережень, перелік пунктів спостережень та лабораторії, які здійснюють фіксовані вимірювання, їх адреси та географічні координати, карти-схеми розміщення пунктів спостережень; перелік показників, які визначають лабораторним способом та іншими методами аналізу; інформацію про суб'єкти моніторингу повітря на відповідних пунктах спостережень; методи, які використовуються для вимірювання, обчислення, прогнозування та оцінки рівня забруднення на пунктах спостережень; встановлений режим оцінювання (дані, на основі яких було встановлено режим оцінювання); дані щодо планів встановлення пунктів спостережень та/або вдосконалення наявних мереж

спостереження, створення та/або вдосконалення лабораторій спостереження за станом атмосферного повітря, карти-схеми розміщення пунктів спостережень; етапи, механізм та строки виконання запланованих заходів [7].

Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів розроблено форму програми. Вона включає інформацію про: джерела забруднення, зокрема підприємства, які здійснюють викиди; кількість зареєстрованих транспортних засобів; загальну протяжність доріг, а також наявність інших джерел забруднення (аеропортів, портів, місць утворення та видалення відходів); викиди забруднюючих речовин від усіх джерел забруднення; інформацію щодо сертифікації обладнання, приладів та процедури їх перевірки мережі пунктів спостереження [7].

Принципи моніторингу атмосферного повітря в ЄС ґрунтуються на безперервних спостереженнях у просторі. Відбирати проби повітря на всій території країни нераціонально. В Європейському Союзі для оцінки якості повітря застосовують такі методи: фіксовані вимірювання з відбором проб повітря; індикативні вимірювання; моделювання [8].

Фіксовані вимірювання передбачають відбір проб повітря, подібно до функціонування стаціонарних постів спостережень в Україні. Це найбільш точні дослідження якості повітря. Індикативні вимірювання відповідають вимогам щодо якості даних, але є менш суворими, ніж вимоги до фіксованих вимірювань. Моделювання передбачає встановлення концентрацій забруднюючих речовин опосередковано з урахуванням чинників, які на них впливають. Останні два методи не дуже точні, але дешеві та доз-

воляють охопити спостереженнями всю територію держави [9].

Вибір методу вимірювання визначається фактичними концентраціями забруднюючої речовини. За високих концентрацій забрудників у повітрі необхідно застосовувати точні фіксовані вимірювання. За низьких концентрацій забрудників використовують індикативні методи та моделювання для приблизного встановлення фактичних даних [10].

Встановлені нижній та верхній пороги оцінки концентрацій забрудників. Якщо концентрація забруднюючої речовини перевищує верхній поріг, то застосовують фіксовані вимірювання з обов'язковим відбором проб і лабораторним аналізом (рис. 1).

У Європейському Союзі обов'язково ведуться спостереження за діоксидом сірки, діоксидом і оксидом нітрогену, пиловими частинками $ТЧ_{10}$ та $ТЧ_{2,5}$, свинцем, бензолом, оксидом карбону. Вимірювання вмісту озону проводиться за певних умов і регулюється окремими нормами. Європейськими директивами визначені нормативи безпеки для здоров'я людини (поріг небезпеки) та для екосистем (критичний рівень) [11].

Моніторинг якості атмосферного повітря в ЄС визначається наступними директивами: Директива 1999/32/ЄС про сірку у рідкому паливі; Директива 98/70/ЄС щодо якості бензину та дизельного палива; Директива 94/63/ЄС стосовно контролю летючих органічних сполук (ЛОС); Директива 2004/42/ЄС про фарби; Директива 2004/107/ЄС щодо As, Cd, Hg, Ni та поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ) у атмосферному повітрі; Директива 2008/50/ЄС про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для

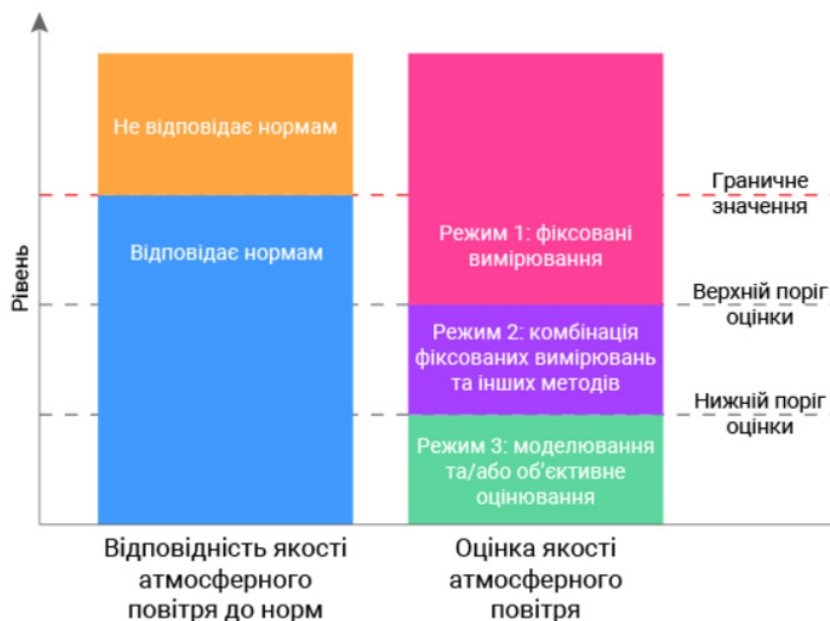


Рис. 1. Співвідношення показників верхнього та нижнього порогів оцінки й граничного значення при Європейському моніторингу повітря

Європи; Директива 2001/81/ЄК щодо державних граничних норм для певних забруднювачів атмосфери; Директива 2010/75/ЄС3 про промислові викиди (інтегроване запобігання та контроль забруднення); Директива ЄС 2016/22844 про скорочення викидів окремих атмосферних забруднюючих речовин на національному рівні на 2020 та 2030 рр. відповідно до цілей Гетеборзького протоколу [12].

Найважливішою щодо моніторингу атмосферного повітря є Директива 2008/50/ЄС. Вона визначає рамкові вимоги щодо контролю та оцінки якості атмосферного повітря. Відповідно до неї по всій території України встановлені зони та агломерації залежно від ступеня забруднення атмосферного повітря. Коли фактичний вміст забруднюючих речовин у повітрі перевищує нормативну граничну величину чи виникає ризик перевищення, розробляється план дій щодо унормування якості повітря [13].

Традиційний для України Індекс забруднення атмосфери (ІЗА) в Євросоюзі замінений на Індекс якості повітря. Він враховує не тільки порівняння фактичної концентрації ряду забрудників з їх граничними значеннями та приведення до певного класу небезпеки, як це відбувається в ІЗА, але й враховує вплив цих речовин у певних концентраціях на стан здоров'я людини [14] (рис. 2).

Розрахунок Індeksu якості повітря здійснюється за середніми значеннями концентрації забруднюючих речовин за певний період, що одержані за результатами фіксованих вимірювань чи моделювання атмосферної дисперсії. У цьому випадку початковий рівень концентрацій забруднюючих речовин у повітрі визначається фіксованими вимірювання із зазначенням часу таких вимірювань та розраховується рівень ймовірності її зміни у часі [15].

Фактичне значення Індeksu якості повітря розподіляється по діапазонах.

Кожний діапазон має свій ідентифікатор, код кольору та рекомендації для населення для охорони здоров'я. Зростання Індeksu якості повітря вказує на ризик погіршення стану здоров'я населення. Індекс якості повітря розраховується на основі вимірювання концентрації забруднюючих речовин: діоксиду азоту, діоксиду сірки, озону, частинок пилу розміром до 2,5 мкм ($PM_{2.5}$), частинок пилу розміром до 10 мкм (PM_{10}) [16].

У Євросоюзі паралельно з індексом якості повітря використовується Загальний Індекс якості повітря, що дозволяє узагальнювати стан повітря в містах. Він має три індекси, що відрізняються часовими проміжками: погодинний – вимірюється та оновлюється щогодини; щоденний – встановлюється за попередній день; щорічний – встановлюється як середній за рік.

У 2017 році Європейською агенцією довкілля запущено Європейський Індекс якості повітря, який в режимі реального часу дозволяє аналізувати показники якості повітря за даними понад 2 000 стан-

цій контролю якості повітря, що розміщені по всій Європі. Аналіз здійснюється за показниками: тверді частинки пилу ($PM_{2.5}$ та PM_{10}), озон (O_3), діоксид азоту (NO_2) та діоксид сірки (SO_2) у короткотерміновій перспективі. Дані оновлюються кожні 6 годин. При відсутності даних або їх затримці застосовується метод наближення, що дозволяє змоделювати дані для таких випадків [17].

Сьогодні в Україні є ще дуже багато прогалін, які не дозволяють адаптувати національну систему моніторингу атмосферного повітря з європейською. Не проводилося визначення завислих частинок пилу діаметром менше 2,5 та 10 мкм ($TC_{2.5}$ і TC_{10} або $PM_{2.5}$ і PM_{10} відповідно) та інших агресивних забруднювачів: озону, бензену, миш'яку, ртуті. Дані щодо якості повітря існують лише для місць відбору зразків, як правило великих міст, а більша частина території країни залишається без достовірних даних. Часові проміжки спостережень обмежуються максимум 4-разовим відбором проб повітря впродовж доби. Критерії оцінювання рівнів забруднення повітря, а також гігієнічні нормативи застаріли. Немає об'єктивної системи інформування населення про рівень забруднення атмосферного повітря, а також системи управління забрудненням повітря. Застарілі та недосконалі методи проведення моніторингу, а також технічні засоби виконання вимірювань [18].

Існують розбіжності у кількості постів спостережень у населених пунктах України та ЄС. Зокрема кількість стаціонарних постів в Україні у кілька разів перевищує їх кількість в Європі на одну і ту ж чисельність населення. Також відрізняються програми спостереження. В Україні фіксовано обмежений перелік компонентів, що підлягають моніторингу, а в ЄС принцип вимірювання усіх речовин на усіх постах [19].

У ЄС програма спостережень визначається пороговими рівнями. При їх перевищенні ускладнюється методика виявлення та контролю таких забрудників. Завдяки такому підходу немає потреби проводити експериментальні вимірювання усіх забруднюючих речовин, акцентувавши увагу на тих забрудниках, концентрація яких досягає або перевищує порогові рівні [20].

Методика здійснення індикативного вимірювання та моделювання концентрації забруднюючих речовин слабо визначена. Це обмежує отримання достовірних даних про стан забруднення атмосферного повітря за різних умов, на певній території та упродовж часових термінів. Необхідно відмовитися від чітких часових термінів відбору проб повітря і використовувати постійний відбір проб, що дозволить виявляти максимальні значення концентрацій забрудників упродовж доби [21].

Важливим є відхід від традиційного критерію оцінювання небезпеки забрудників атмосферного повітря – «Гранично-допустима концентрація, ГДК» та перехід на показник «оцінка ризику». ГДК

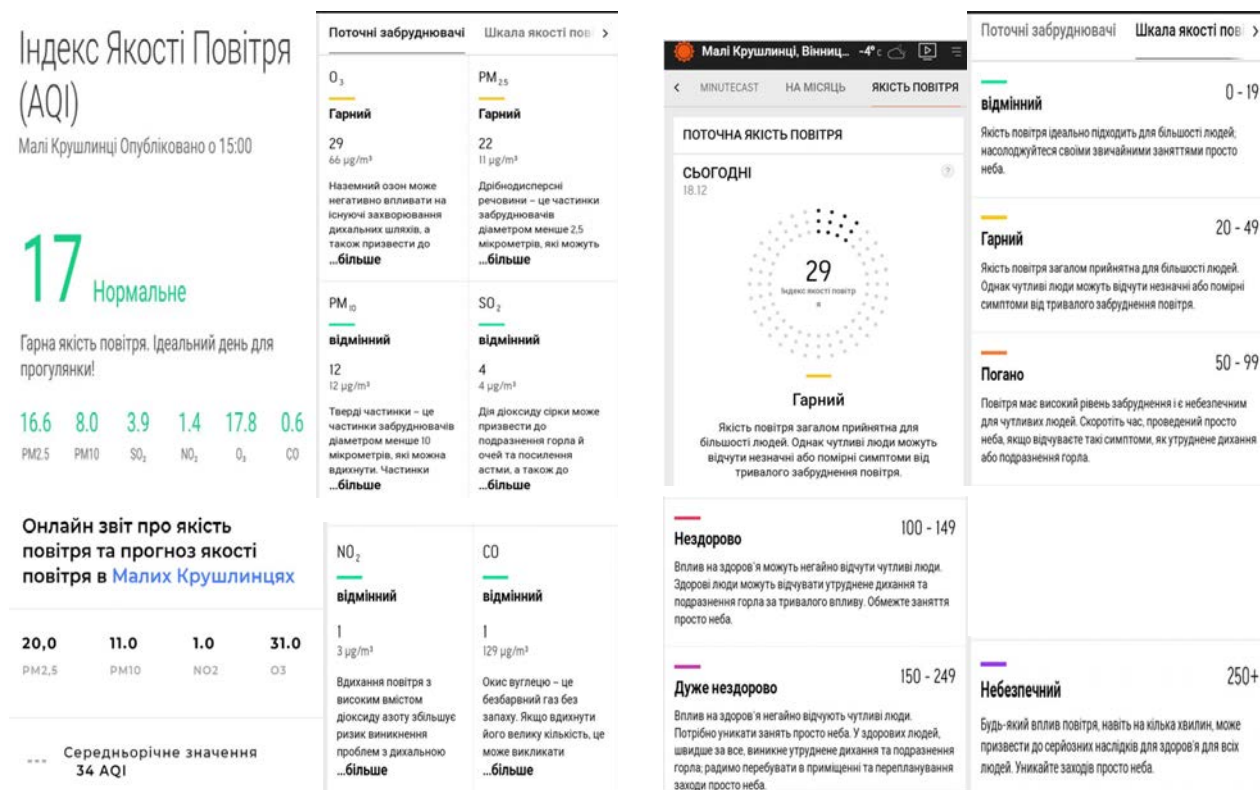


Рис. 2. Скрін мобільного додатку з моніторингу повітря для встановлення Індексу якості повітря

враховує прямий, опосередкований, органолептичний (рефлекторний) вплив на організм людини забруднюючих речовин. Такий вплив не завжди може вказувати на порушення здоров'я. Значення ГДК для деяких забрудників були розроблені поспіхом. Що часто не несе об'єктивного змісту про шкоду здоров'ю людини [22].

Європейський критерій – оцінка ризику, враховує безпосередню дію забруднюючих речовин і чутливість до них різних груп населення (за віковим, принципом, захворюваностями); визначає, що деякі забрудники мають безпороговий канцерогенний чи мутагенний вплив; враховує наслідки одночасної шкідливої дії на організм кількох речовин. Також необхідно враховувати і впроваджувати нормативи екологічної безпеки для збереження екосистем та довкілля. Відповідні норми до цього часу в Україні ще не затверджені [23].

Головні висновки. З 2021 року моніторинг атмосферного повітря в Україні проводиться відповідно до Порядку здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря, що затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 14 серпня 2019 р. № 827. Новий порядок ґрунтується на європейських положеннях Директиви 2008/50/ЄС про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи та Директиви 2004/107/ЄС щодо As, Cd, Hg, Ni та поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ) у атмосферному повітрі.

Основними проблемами повного переходу на реалізацію даного Порядку є відсутність визначення завислих частинок пилу діаметром менше 2,5 та 10 мкм, озону, бензену, миш'яку, ртуті. Більша частина території країни залишається без достовірних даних, оскільки дослідження характеризують лише місця відбору проб. Відсутнє безперервне визначення концентрацій забрудників, оскільки часові проміжки спостережень обмежуються 4-разовим відбором проб. Критерії оцінювання рівнів забруднення повітря, а також гігієнічні нормативи застаріли та мають бути замінені на нові критерії: «оцінка ризику» для людини. Немає об'єктивної системи інформування населення про рівень забруднення атмосферного повітря, а також системи управління забрудненням повітря. Застарілі та недосконалі методи проведення моніторингу, а також технічні засоби виконання вимірювань.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані результати досліджень будуть корисними для фахівців з моніторингу атмосферного повітря регіонального та державного рівня при вирішенні конкретних практичних проблем при реалізації Порядку здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря, що затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 14 серпня 2019 р. № 827.

Література

1. Стаднік В.Ю., Тихомирова Т.С., Грекова А.В. Поточна ситуація у сфері екомоніторингу у країнах ЄС, США та в Україні. *Тези XVIII Всеукраїнської наукової on-line конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених з міжнародною участю «Сучасні проблеми екології»*, м. Житомир, 06 жовтня 2022 року. С. 55-56.
2. Про державну систему моніторингу довкілля: Постанова КМУ від 30 березня 1998 року №391. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/391-98-%D0%BF> (дата звернення 3.02.2024).
3. Клименко М.О., Прищеп А.М., Вознюк Н.М. Моніторинг довкілля: підручник. К.: Академія, 2006. 360 с.
4. Стаднік В.Ю., Тихомирова Т.С. Проблема оцінки стану повітря великих міст України на прикладі м. Харкова. *Екологічні науки*. 2019. № 1(24). Т. 1. 178 с.
5. Ткачук О.П. Моніторинг довкілля: курс лекцій та практичні заняття: навчально-методичний посібник. Вінниця: РВВ ВНАУ, 2014. 418 с.
6. Боголюбов В.М., Клименко М.О., Мокін В.Б. Моніторинг довкілля: підручник. Херсон, 2012. 530 с.
7. Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря. Постанова КМУ від 14 серпня 2019 р. № 827Київ. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-2019-%D0%BF#Text> (дата звернення 3.02.2024).
8. Кольцов М., Шевченко Л. Моніторинг якості атмосферного повітря: український та міжнародний досвід. Аналітична записка. Київ: ГО «Фундація «Відкрите Суспільство», 2018. 13 с.
9. Суха Н.О., Григор'єва Л.І. Місце індикативних вимірювань у системі моніторингу якості атмосферного повітря. *Екологічні науки*. 2020. № 4(31). С. 27-30.
10. Григор'єва Л.І., Томілін Ю.А., Суха Н.О. Комплексна оцінка забруднення атмосферного повітря в місті Миколаєві. *Екологічні науки*. 2018. № 4 (23). С. 19–23.
11. Пістаріла Г. Кращі практики ЄС у сфері моніторингу та управління якістю повітря, приклад Фінляндії. *Круглий стіл: «Впровадження законодавства ЄС у сфері якості повітря: досвід ЄС та український вимір»*. 28.03.2019. Мінприроди, Київ, Україна. URL: https://ecolog-ua.com/sites/default/files/banners/2019/docs/AQ%20and%20Europe_Pietarila_round%20table_28032019_UKR.pdf (дата звернення 3.02.2024).
12. Баштаннік М.П., Дворецька І.В., Онос Л.М., Савенець М.В. Основні засади виділення зон якості атмосферного повітря на території України та їх класифікація згідно з вимогами Директив 2004/107/ЄС та 2008/50/ЄС. *Наукові праці УкрНДГМІ*. 2016. Вип. 269. С. 123-137.
13. Оцінка та управління якістю атмосферного повітря та моніторинг. Директива 2008/50/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 21 травня 2008 року про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи. URL: <https://livingplanet.org.ua/upload/otsinka-ta-upravlinnya-yakistyu-atmosfernogo-povitrya-ta-monitoring.pdf> (дата звернення 3.02.2024).
14. Колесник В.Є., Павличенко А.В., Калініна К.Р. Екологічна класифікація якості атмосферного повітря за комплексними індексами його забруднення. *Геотехнічна механіка*. 2017. № 137. С. 156-169.
15. Мотрунич М. Управління якістю атмосферного повітря в країнах Європи. К.: Центр екологічних ініціатив «Екодія», 2022. 40 с.
16. Ангурець О., Хазан П., Колесникова К. Управління якістю атмосферного повітря: від концепції до впровадження: Звіт за результатами досліджень. Прага-Київ: Arnika, 2021. 52 с.
17. Якушенко Л. Аналіз досвіду Європейського співробітництва щодо формування і втілення інституцій та інструментів екологічної політики. Аналітична записка. URL: <https://www.niss.gov.ua/doslidzhennya/nacionalna-bezpeka/analiz-dosvidu-evropeyskogo-spravrobitnictva-schodo-formuvannya-i> (дата звернення 3.02.2024).
18. Моніторинг довкілля. Аналітична записка щодо стану та перспектив розвитку державної системи моніторингу довкілля. Київ, 2023. 119 с. URL: https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/02/Monitoring-Green-Paper_15_02_2022.pdf (дата звернення 3.02.2024).
19. Іванюта С.П. Створення ефективної системи моніторингу довкілля в Україні: проблеми і шляхи їх вирішення. Аналітична записка. URL: <https://niss.gov.ua/doslidzhennya/nacionalna-bezpeka/stvorennya-efektivnoi-sistemi-monitoringu-dovkillya-v-ukraini> (дата звернення 3.02.2024).
20. Законодавчі заходи та бізнес-стимулювання щодо боротьби із забрудненням повітря у країнах з розвинутою економікою. Інформаційна довідка, підготовлена Європейським інформаційно-дослідницьким центром на запит народного депутата України. URL: <https://infocenter.rada.gov.ua/uploads/documents/29405.pdf> (дата звернення 3.02.2024).
21. Звіт щодо виконання Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії та їхніми державами-членами, з іншої сторони за II квартал 2020 року. URL: <https://dsns.gov.ua/upload/9/3/8/6/2020-6-18-3-zvit-ii-kvartal-shhodo-vikonannya-ugodi-pro-asociaciyu-miz-ukrayinoyu-z-odnijeyi-storoni-ta-jevropeiskim-soyuzom.pdf> (дата звернення 3.02.2024).
22. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf> (дата звернення 3.02.2024).
23. Дячук В.А., Баштаннік М. П., Кіптенко С. М., Козленко Т. В., Надточій Л. М. Вивчення моніторингу стану забруднення атмосферного повітря та напрямів його вдосконалення в м. Києві. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. № 4(55), 111-121. URL: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2019.4.9> (дата звернення 3.02.2024).

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА СТАНУ МІСТА КРИВИЙ РІГ МЕТОДОМ АНАЛІЗУ СТЕРИЛЬНОСТІ ПИЛКУ

Федорчак Е.Р.

Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України
вул. Маршака, 50, 50089, м. Кривий Ріг
huseinova93@gmail.com

У статті досліджено стерильність пилку *P. abies* на різних ділянках Кривого Рогу та стан навколишнього середовища в межах міста. Кривий Ріг є одним з найкрупніших промислових міст України з підвищеним техногенним навантаженням, що обумовлено наявністю різних галузей промисловості. Встановлено, що в умовах пресингу внаслідок інтенсивного автотранспортного руху стерильність пилку у дерев *P. abies* зростає у 2,2 рази порівняно з мало забрудненою ділянкою. Це підтверджується й значеннями показників коефіцієнта стерильності пилку (Ксп), який збільшується у середньому 3,1 рази у рослин *P. abies* які зростають біля промислових підприємств, що є додатковим свідченням високого техногенного навантаження на навколишнє середовище. Відмічено, що поступове збільшення відсотку безкрохмальних зерен призводить до зменшення фертильного пилку та спричиняє зміни коефіцієнту чутливості (Кч). Найвищим цей показник був у рослин *P. abies* з насаджень ботанічного саду та складав 5,2. Найнижчі показники Кч зафіксовані у насаджень *P. abies*, що ростуть біля ПрАТ «ПівнГЗК» та біля металургійного комбінату ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», що у 4,3 та 5,8 разів менше порівняно з контролем. За значеннями умовного показника пошкодження *P. abies* виявлено, що найсприятливіші умови для рослин наявні в КБС НАН України, парку Шахтарський, парку Героїв АТО, де стан території характеризується як безпечний. Деяко гірші умови зростання для *P. abies* відмічено по вул. Черкасова та Ватутіна, де рівень ушкодження рослин відмічався як середній та вище за середній, що характеризує помірно небезпечний та небезпечний стан території. Найгірші умови навколишнього середовища відзначено по проспекту Металургів, а особливо поблизу комбінатів ПрАТ «ПівнГЗК» і ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», де ураженість *P. abies* досягає високого рівня, а стан цих територій відзначається як надзвичайно небезпечний. Тому у цих зонах необхідно провести ряд цілеспрямованих заходів щодо відновлення екологічного стану ушкоджених територій та біосистем. **Ключові слова:** *P. abies*, забруднення, пилок, стерильність, стан середовища.

Environmental assessment of the state of the city of Kryvyi Rih using the analysis of pollen sterility. Fedorchak E.

In the article, we investigated the sterility of *P. abies* pollen in different plantations of Kryvyi Rih and the state of the environment within the city. Kryvyi Rih is one of the largest industrial cities of Ukraine with an increased technogenic pressure due to the presence of various industries. We found that under pressure conditions due to intensive motor vehicle traffic, pollen sterility in *P. abies* trees increases by 2.2 times compared to a lightly polluted area. This is also confirmed by the values of the coefficient of pollen sterility (Cps), which increases by an average of 3.1 times in plants of *P. abies* growing near industrial enterprises, which is an additional evidence of a high man-made pressure on the environment. It was noted that a gradual increase in the percentage of starch-free grains leads to a decrease in fertile pollen and causes changes in the vulnerability coefficient (Cv). This indicator was the highest in *P. abies* plants from the plantations of the botanical garden and was 5.2. The lowest values of Cv were recorded in the plantations of *P. abies* growing near Private JSC 'Northern Ore Dressing Works' and near the metallurgical plant Public JSC 'ArcelorMittal Kryvyi Rih', which are 4.3 and 5.8 times less compared to the control. According to the values of the conditional indicator of damage to *P. abies*, it was found that the most favorable conditions for plants are available in the Kryvyi Rih Botanical garden of National Academy of Sciences of Ukraine, Shakhtarskyi Park, Heroiv ATO Park, where the state of the territories is characterized as safe. Somewhat worse growth conditions for *P. abies* were noted along the Cherkasov street and Vatutin street, where the level of plant damage was considered as medium and above medium, which characterizes the moderately dangerous and dangerous state of the territory. The worst environmental conditions were noted along Metalurgiv Avenue, and especially near combines Private JSC 'Northern Ore Dressing Works' as well as Public JSC 'ArcelorMittal Kryvyi Rih', where the damage of *P. abies* reaches a high level, and the condition of these areas is considered as extremely dangerous. Therefore, in these zones, it is necessary to carry out a number of targeted measures to restore the ecological state of damaged territories and biosystems. **Key words:** *P. abies*, pollution, pollen, sterility, state of the environment.

Постановка проблеми. Сучасний стан забруднення повітря є однією із найважливіших екологічних проблем в усьому світі. Кожна країна стикається з ними, внаслідок чого виникають питання не тільки про їх вирішення, але перш за все про визначення рівня забруднення, особливо гостро це питання стоїть міських і промислових територій [1, 2, 3, 4]. У великих містах працюють різні промислові підприємства, інтенсивно зростає рух автотранспорту, що призводить до утворення високого рівня забруднювачів газоподібних і твердих частинок, які вики-

даються в повітря [5, 6] та негативно впливають на живі організми [4, 7].

У системі заходів з покращення екологічної ситуації міст важливе значення відіграють деревні насадження. Вони виконують різноманітні функції: санітарно-гігієнічну, декоративно-формувальну, природоохоронну та культурно-освітню [6, 7, 8]. Зелені насадження поглинають газоподібні викиди, затримують пил та інші тверді частки, збагачують атмосферу корисними для людини фітонцидами і легкими іонами, пом'якшують мікроклімат, а також зменшують

негативний вплив радіоактивного забруднення [3, 4, 8]. Проте, покращуючи умови середовища, рослини самі зазнають пригнічення [1, 2, 3], що спричиняє зміни їх функціональних показників. Тому вони є зручними об'єктами для біологічного моніторингу стану навколишнього середовища.

Актуальність дослідження. Фітоіндикація, складовою якої є пилковий аналіз, – доступний, надійний, відносно простий і водночас ефективний спосіб оцінки якості середовища. Високий рівень забруднення спричиняє погіршення якості пилку, що призводить до утворення великої кількості стерильних пилових зерен та, в подальшому, до зменшення їх життєздатності [2, 9].

У ході таких досліджень обирають види, які широко використовуються в озелененні міст та є біоіндикаторами довкілля [4, 10, 11, 12, 13]. Такими рослинами є вид *Picea abies* (L.) Karst., чоловіча генеративна сфера якої дуже чутлива до аерополітантів [14], а також вона поширена у різних за призначенням зонах промислових міст [8, 13, 15, 16], в тому числі і в Кривому Розі [17, 18]. Оскільки Кривий Ріг – один з найбільших індустріальних міст України, де рівень забруднення перевищує норму [19], актуальною є оцінка стану навколишнього середовища з використанням *P. abies* в якості об'єкта дослідження.

Мета – аналіз стерильності пилку *P. abies* в різних насадженнях Кривого Рогу та стану навколишнього середовища у межах міста.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження виконувались у відділах оптимізації техногенних ландшафтів в рамках науково-дослідних робіт «Науково-практична оцінка та впровадження ефективних способів сприяння розвитку рослинного покриву на кар'єрно-відвальних комплексах Криворіжжя» (2017-2019 рр.), державний номер реєстрації 0117U000830 та Ценотичні, флористичні зміни та морфоструктурні адаптації видів у природних і штучних угрупованнях посушливого Правобережного степу в зв'язку з глобальним потеплінням (2017-2021 рр.) державний номер реєстрації 0117U000829.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемі впливу техногенних викидів на якість пилку, як хвойних [16, 20, 21], так і листяних рослин [22, 23, 24] присвячено багато робіт. Збільшення вмісту забруднювачів повітря, таких як CO₂, SO₂, оксиди азоту, сажи, пилу тощо, завжди присутні в міських середовищах проживання та справляють негативний вплив на чоловічу генеративну сферу хвойних дерев [13], проте, основне техногенне навантаження на рослини спричиняється шкідливими викидами з промислових підприємств. У вищезгаданій публікації українських авторів [16], виявлено у ході трирічних спостережень, що показники стерильності пилку у іншого виду роду *Picea* – *P. pungens* були найбільшими у рослин які зростали в умовах сильного рівня

забруднення поблизу Донецького металургійного заводу і коливались в межах 20–30%. Найнижчими ці показники були в насадженнях Донецького ботанічного саду і становили 17–21%. У ході досліджень [25] відмічено, що серед 7 видів ялин-інтродуцентів з насаджень дендрологічного парку «Асканія-Нова» найвищу фертильність пилку (89% та 78%) і найменшу його стерильність (11% та 22%) мали рослини *P. abies* та *P. pungens* відповідно.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячена означена стаття. Дана стаття присвячена питанням моніторингу екологічного стану міста Кривий Ріг, яке входить до десятки міст України з найвищим рівнем забруднення повітряного басейну. Головними джерелами повітряних політантів в місті є викиди промислових підприємств та автотранспорту.

Новизна. Вперше досліджено стерильність пилку *P. abies* на різних ділянках Кривого Рогу та оцінено стан навколишнього середовища в межах міста.

Матеріали та методи досліджень. Матеріалом для дослідження слугував свіжозібраний пилок *P. abies* в період масового розкриття стробілів. Об'єктами вивчення були 30–40-річні дерева *P. abies* восьми насаджень, які було відібрано в залежності від рівня техногенного навантаження по всій довжині міста (126 км) в трьох районах: Тернівському, Покровському та Металургійному (рис. 1). Перші три насадження знаходились на відносно малозабруднених аерополітантами ділянках – дендрарій Криворізького ботанічного саду НАН України (КБС) (ділянка 1, контроль), парк Шахтарський (ділянка 2) і парк Героїв АТО (ділянка 3). Наступні три – біля проїзної частини з високою інтенсивністю автотранспортного руху по вул. Черкасова (ділянка 4), по вул. Ватутіна (ділянка 5,) та по проспекту Металургів (ділянка 6). Найвища концентрація аеротехногенних викидів спостерігається на ділянках 7 – поблизу ПрАТ Північного гірничо-збагачувального комбінату («ПівніГЗК») та 8 – біля металургійного гіганту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Мікропрепарати готували за стандартною методикою [26]. Для вивчення стерильності пилових зерен в якості барвника використовували йодний розчин. Аналізували по 3000 клітин з насадження, фертильним вважали пилок, який цілком, або наполовину заповнений крохмалем, а стерильним – в якому його зовсім не було, або містилися лише залишки крохмалю.

Дослідження проводили за допомогою мікроскопа Carl Zeiss Primo Star (×400). Для фотографування застосовували цифрову камеру Canon PowerShot A620.

Кількість стерильних пилових зерен визначали у відсотках (%), коефіцієнт стерильності пилку обчислювали за формулою:

$$K_{сп} = \frac{C_{рл}}{C_{к}}$$

Ксп – коефіцієнт стерильності пилку;

Срд – стерильність пилку в районі дослідження;

Ск – стерильність пилку в контролі.

Коефіцієнт чутливості (Кч) органів чоловічої репродукції до техногенного забруднення досліджували шляхом відношення фертильних пилових зерен до стерильних – Ф/С [27].

Для оцінки стану навколишнього середовища використовували тест «Стерильність пилку рослин фітоіндикаторів» [26]. Статистичні відмінності визначали за t-критерієм Стьюдента з використанням програмного пакету MS Excel 2007.

Результати та обговорення. Оцінка інтенсивності забруднення середовища у Кривому Розі за стерильністю пилових зерен *Picea abies* дозволила встановити кількісні відмінності чоловічого гаметофіту залежно від рівня забруднення досліджуваних територій. Аналіз результатів показав суттєве варіювання кількості стерильного пилку від 16,2 до 53,5% на різних ділянках міста (рис. 2).

Найменша кількість стерильного пилку була зафіксована в КБС НАН України (ділянка № 1 – контроль) і складала 16,2%. Схожі значення (17,4% та 22,1%) до контролю були відмічені у дерев, що зростають у парку «Шахтарський» (ділянка № 2) та парку Героїв АТО (ділянка № 3) відповідно. Біля доріг (ділянка № 4, № 5, № 6) з високим рівнем



Рис. 1. Картосхема регіону Кривого Рогу на якій зображені ділянки, що досліджувались

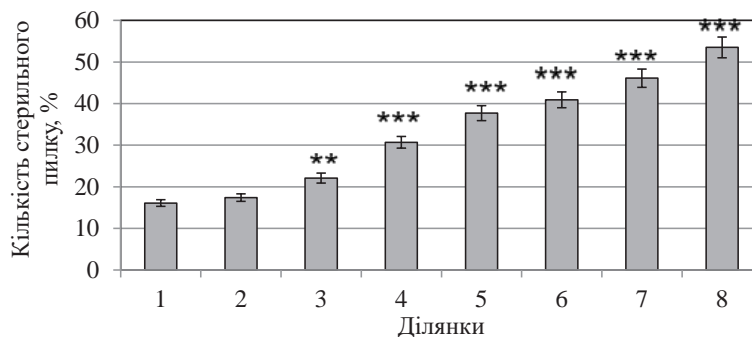


Рис. 2. Стерильність пилку на різних ділянках Кривого Рогу

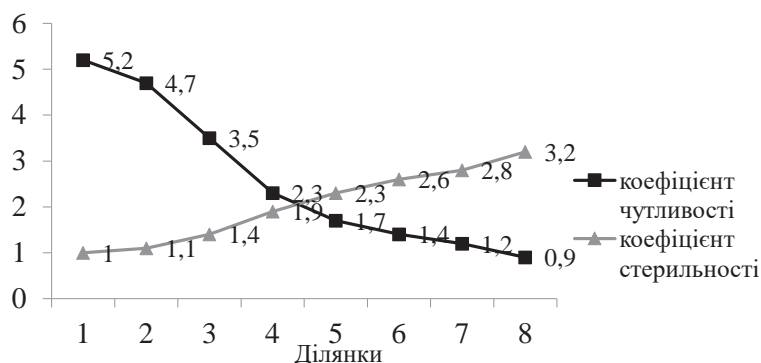


Рис. 3. Рівень стерильності та чутливості пилку на різних ділянках Кривого Рогу

автотранспортного руху цей показник складав – 30,7–40,9%, що в середньому у 2,2 разів більше, ніж у ботанічному саду. Такі результати свідчать про те, що вихлопні гази автотранспорту призводять до погіршення якості пилку та спричиняють збільшення кількості безкрохмальних пилових зерен у насаджень, які зростають біля автошляхів. Проте, основне техногенне навантаження на рослини спричиняється шкідливими викидами з промислових підприємств.

Високі показники стерильного пилку *P. abies* зафіксовані і у наших дослідженнях біля промислових підприємств, які були максимально високими порівняно з контролем. Так, біля ПрАТ «ПівнГЗК» (ділянка № 7) та ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (ділянка № 8) кількість стерильного пилку складала 46,1% та 53,5%, що у 2,8 і 3,3 разів більше, ніж у дендрарії КБС відповідно.

З наведених вище даних очевидно достовірно послідовне збільшення кількості безкрохмальних пилових зерен у *P. abies*, ніж на відносно чистих територіях. Це підтверджується й значеннями показників коефіцієнта стерильності пилку – Ксп (рис. 3), що є додатковим свідченням високого техногенного навантаження на навколишнє середовище.

Мінімальні показники Ксп зафіксовані у ботанічному саду (ділянка №1) та парках (ділянка № 2, № 3) та не перевищували значення 1,4. Біля автошляхів (ділянка № 4, № 5, № 6) коефіцієнт стерильності (Ксп) варіював в межах 1,9–2,6, а біля промислових підприємств ПрАТ «ПівнГЗК» (ділянка № 7) та ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (ділянка № 8) збільшився до 2,8 та 3,2 відповідно.

Показник кількості стерильного пилку у *P. abies* обернено пропорційний до частки фертильного, тому поступове збільшення відсотку безкрохмальних зерен призводить до зменшення останнього та спричиняє зміни коефіцієнту чутливості (відношення фертильних пилових зерен до стерильних) органів чоловічої репродукції до техногенного забруднення – Кч (див. рис. 2). У контрольній зоні коефіцієнт чутливості був максимальним і складав 5,2. З підвищенням рівня забруднення він поступово зменшувався: у зоні інтенсивного руху автотран-

спорту даний показник знизився в середньому майже в 3 рази; у насаджень, що ростуть біля ПрАТ «ПівнГЗК» (ділянка № 7) – у 4,3 разів, а біля металургійного комбінату ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (ділянка № 8) – у 5,8 разів.

Рівень стерильності пилку рослин-біоіндикаторів характеризує не лише загальну токсичність навколишнього середовища, а й відображає інтенсивність мутагенної напруги [26]. Відповідно до значень умовного показника ушкодження (УПУ) в межах досліджуваної території можна виділити відмінні за рівнем токсико-мутагенної напруги зони (табл. 1).

Аналіз умовного показника ушкодження показав, що насадження *P. abies* в ботанічному саду (ділянка № 1) та парках (ділянка № 2, № 3) характеризують безпечний стан території, та мають низький рівень ушкодженості (0,00–0,03) або нижче за середній (0,16). В наступних двох насадженнях *P. abies*, що ростуть біля доріг (ділянка № 4, № 5) з інтенсивним автотранспортним рухом, рівень ушкодженості рослин відзначається як середній та вище за середній (0,39–0,58) та характеризують помірно небезпечний та небезпечний стан території. Це свідчить про те, дерева відчувають негативну дію вихлопних газів автотранспорту, особливо на ділянці № 5, проте вони не призводять до істотного пошкодження рослин.

По проспекту Металургів (ділянка № 6) деревні особини *P. abies* мають високий рівень ушкодженості (0,66) і загрозливий стан та відображають надзвичайно небезпечні умови екологічної безпеки території.

Максимальні значення УПУ (0,80 та 1,00) виявлені біля ПрАТ «ПівнГЗК» (ділянка № 8) та біля ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (ділянка № 8) відповідно, стан територій відзначається надзвичайно небезпечний, а ушкодженість досліджуваного виду досягає високого рівня і знаходиться у катастрофічному стані.

Таким, чином, отримані дані свідчать про те, що найгірші умови для існування живих організмів спостерігаються на тих територіях, де працюють промислові підприємства міста. Крім цього, високий рівень ушкодженості рослин та надзвичайно небезпечні умови екологічної безпеки територій

Таблиця 1

Екологічний стан навколишнього середовища за токсико-мутагенним фоном

| № | Ділянка | УПУ | Рівень ушкодженості | Категорія екологічної безпеки території за токсико-мутагенним фоном |
|---|--------------------------------|------|---------------------|---|
| 1 | КБС (контроль) | 0,00 | Низький | Безпечна |
| 2 | парк Шахтарський | 0,03 | Низький | Безпечна |
| 3 | парк Героїв АТО | 0,16 | Нижче за середній | Безпечна |
| 4 | вул. Черкасова | 0,39 | Середній | Помірно небезпечна |
| 5 | вул. Ватутіна | 0,58 | Вище за середній | Небезпечна |
| 6 | просп. Металургів | 0,66 | Високий | Надзвичайно небезпечна |
| 7 | ПрАТ «ПівнГЗК» | 0,80 | Високий | Надзвичайно небезпечна |
| 8 | ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» | 1,00 | Високий | Надзвичайно небезпечна |

відмічено по проспекту Металургів (ділянка № 6), що знаходиться в Металургійному районі, де до того ж розташований найбільший металургійний комбінат ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (ділянка № 8). Тому у цих зонах необхідно провести ряд цілеспрямованих заходів щодо відновлення екологічного стану ушкоджених територій та біосистем.

Висновки. Пілок *P. abies* є чутливим на зміну умов навколишнього середовища, що супроводжується збільшенням кількості стерильних пилоквих зерен від 16,2% до 53,5% з підвищенням рівня техногенного навантаження внаслідок дії вихлопних газів автотранспорту та шкідливих викидів з промислових підприємств. За відсотком стерильних пилоквих зерен виявлено рівень ушкодженості *P. abies* та стан територій, де ростуть ці рослини. Отримані дані показали, що в ботанічному саду (ділянка № 1) та парках (ділянка № 2, № 3) найбільш найсприят-

ливіші умови для насаджень *P. abies*. Деяко гірші показники в насадженнях *P. abies*, що ростуть біля доріг (ділянка № 4, № 5) рівень ушкодженості рослин відзначається як середній та вище за середній (0,39–0,58) та характеризують помірно небезпечний та небезпечний стан території.

Найгірший стан навколишнього середовища відмічений по просп. Металургів (ділянка № 6) з високим рівнем ушкодженості (0,66), а особливо біля промислових підприємств ПрАТ «ПівнГЗК» (ділянка № 7) та ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (ділянка № 8), де ушкодженість рослин досягає максимального рівня (0,80 та 1,00) відповідно. Тому на цих територіях слід провести заходи щодо відновлення екологічного стану територій, оскільки рослини на цих територіях мають найвищий рівень пошкодження порівняно з іншими дослідженими насадженнями.

Література

1. Kuddus M., Kumari R., Ramteke P.W. Studies on air pollution tolerance of selected plants in Allahabad city, India. *Journal of Environmental Research and Management*. 2011. Vol. 2. P. 042–046.
2. Бессонова В.П., Бессонов Є.П., Зверковський В.М. Оцінка стану пилку деревних рослин в урботехногенній екосистемі. *Питання біоіндикації та екології*. 2013. Вип. 18(1). С. 70–83.
3. Sadia HE., Jeba F., Uddin M.Z. Sensitivity study of plant species due to traffic emitted air pollutants (NO₂ and PM_{2.5}) during different seasons in Dhaka, Bangladesh. *SN Applied Sciences*. 2019. Vol. 1. P. 1377. DOI: 10.1007/s42452-019-1421-4.
4. Azzazy M.F. Plant bioindicators of pollution in Sadat City, Western Nile Delta, Egypt. *Plos One*. 2020. Vol. 15(3). P. 1–17. DOI:10.1371/journal.pone.0226315.
5. Chan C.K., Yao X. Air pollution in mega cities in China. *Atmospheric Environment*. 2008. Vol. 42(1). P. 1–42. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2007.09.003.
6. Yang J., Chang Y., Yan P. Ranking the suitability of common urban tree species for controlling PM_{2.5} pollution. *Atmospheric Pollution Research*. 2015. Vol. 6, № 2. P. 267–277. DOI: 10.5094/APR.2015.031.
7. Swami A. Impact of automobile induced air pollution on road side vegetation. *International Journal for Environmental Rehabilitation and Conservation*. 2018. Vol. 9(1). P. 104–119. DOI: 10.31786/09756272.18.9.1.113.
8. Ayan S., Sarsekova D., Kenesaryuly G., Yilmaz E., Gülseven O., Şahin İ. Accumulation of heavy metal pollution caused by traffic in forest trees in the park of Kerey and Janibek Khans of the city of Nur-Sultan, Kazakhstan. *Journal of Forests Science*. 2021. Vol. 67. P. 357–366.
9. Ситнікова І.О., Филипчук Т.В. Паліноіндикація атмосферного повітря м. Чернівці. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія*. 2019. № 1(75). С. 80–87. DOI:10.25128/2078-2357.19.1.10.
10. Миленька М.М. Використання деревних видів для діагностики екологічного стану довкілля урбанізованих територій. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2008. Вип. 114. С. 111–114.
11. Kvilala M., Lackova E., Urbancova L. Photosynthetic active pigments changes in Norway spruce (*Picea abies*) under the different acclimation irradiation and elevated CO₂. *Environmental Chemistry*. 2014. Vol. 1. P. 1–4. DOI: 10.1155/2014/572576.
12. Chen L., Liu C., Zhang L., Zou R., Zhang Z. Variation in Tree Species Ability to Capture and Retain Airborne Fine Particulate Matter (PM_{2.5}). *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7(3206). P. 1–11. DOI: 10.1038/s41598-017-03360-1.
13. Nikolic M.B., Stefanović A.M., Veselinović M.M., Milanović D.S., Mladenović D.K., Mitrović Ž.S., Eremija M.S., Rakonjac B.L.J. Needle morpho-anatomy and pollen morphophysiology of selected conifers in urban conditions. *Applied Ecology and Environmental Research*. 2019. Vol. 17(2). P. 2831–2848. DOI: 10.15666/aeer/1702_28312848.
14. Obratov-Petković D., Beloica J., Čavlović D., Djurdjević V., Belanović Simić S., Bjedov I. Modelling response of Norway spruce forest vegetation to projected climate and environmental changes in central Balkans using different sets of species. *Forests*. 2022. Vol. 13(5). P. 666. DOI: 10.3390/f13050666.
15. Lepedus H., Cesar V., Suver M. The annual changes of chloroplast pigments content in current- and previous-year needles of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) exposed to cement dust pollution. *Acta Botanica Croatica*. 2003. Vol. 62(1). P. 27–35.
16. Макогон І.В., Коршиков І.І. Якість пилку та насіннева продуктивність *Picea pungens* Engelm. у зоні викидів металургійних підприємств Донбасу. *Український ботанічний журнал*. 2010. Вип. 67(5). С. 736–745.
17. Шевчук Н.Ю., Гусейнова Е.Р., Коршиков І.І. Розповсюдженість та життєздатність трьох представників роду *Picea* A. Dietr. у придорожніх насадженнях м. Кривий Ріг. *Інтродукція рослин*. 2018. № 3(79). С. 75–82.
18. Fedorchak, E. Influence of pollution on photosynthesis pigment content in needles of *Picea abies* and *Picea pungens* in conditions of development of iron ore deposits. *Ekológia (Bratislava)*. 2020. Vol. 39(1). P. 1–15. DOI: 10.2478/eko-2020-0001.
19. Криворучкіна О.В. *Екологічний стан Кривбасу: проблеми та шляхи їх вирішення*: матеріали виїзного засідання комітету з питань екологічної політики та природокористування (Кривий Ріг, 24–25 жовтня 2019 р.). Кривий Ріг, 2019. С. 3–69.

20. Tretyakova I.N., Noskova N.E. Scotch pine pollen under conditions of environmental stress Russian. *Journal of Ecology*. 2004. Vol. 35(1). P. 20–26. DOI: 10.1023/b:ruse.0000011105.90297.07.
21. Vasilevskaya N., Osechinskaya P. Biomonitoring of the toxic effects of industrial emissions. *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 295(03001). P. 1–7. DOI: 10.1051/e3sconf/202129503001.
22. Юсипіва Т.І., Коростильова Т.С. Вплив техногенного навантаження на фізіологічні та цитогенетичні показники генеративних органів представників роду *Tilia*. *Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Biol. Ekol.* 2015. Вип. 23(1). P. 10–14. DOI:10.15421/011502.
23. Sénéchal H., Visez Charpin D., Shahali Y., Peltre G., Biolley Lhuissier F., Couderc R., Yamada O., Malrat-Domenge A., Pham-Thi 187 N., Poncet P., Sutra J-P. A review of the effects of major atmospheric pollutants on pollen grains, pollen content, and allergenicity. *The Scientific World Journal*. 2015. P. 1–29. DOI: 10.1155/2015/940243.
24. Григорчук І.Д., Оптасюк О.М. Аналіз стерильності пилку деревних рослин в умовах міста Кам'янець-Подільський. *Біологічні системи*. 2018. Т. 10. Вип. 2. С. 145–150. DOI: 10.31861/biosystems2018.02.145.
25. Михайлецька І.В. Характеристика пилку та пилкового режиму видів з роду *Picea* A. Dietr. у дендропарку «Асканія-Нова». *Вісті Біосферного заповідника «Асканія-Нова»*. 2020. Вип. 22. С. 67–73.
26. Горова А.І., Павличенко А.В., Борисовська О.О., Ґрунтова В.Ю., Деменко О.В. Біоіндикація. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт студентами напряму підготовки 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування»: навч. посібник. Дніпропетровськ: НГУ, 2014. 76 с.
27. Ібрагімова Е.Е. Екологічна оцінка дії техногенних хімічних забруднень на цитогенетичні показники вищих рослин в умовах Криму: автореф. дис. ... канд. біол. наук: 03.00.16. Київ, 2008. 20 с.

ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ

УДК 628.33

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.1.11>

РОЛЬ ТА МІСЦЕ МЕТОДУ МАГНІТНОЇ СЕПАРАЦІЇ В ІНТЕГРОВАНІЙ СИСТЕМІ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ СОЛОДОВЕНЬ ПИВОВАРЕНИХ ЗАВОДІВ (НА ПРИКЛАДІ ПРАТ «ОБОЛОНЬ»)

Бондар О.І.¹, Загороднюк К.Ю.¹, Брук-Левінсон Е.Т.², Загороднюк Ю.В.³, Салтанюк В.М.⁴

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

²Компанія AMTR Scientific Ltd.

вул. Мівца Кадеш, 21, 49345, Петах-Тиква, Ізраїль

³Громадська організація «Фонд розвитку водоочисних технологій»
пр. Визволителів, 1, 02125, м. Київ

⁴Приватне акціонерне товариство «Оболонь»
вул. Богатирська, 3, 04212, м. Київ

Досліджено метод магнітної сепарації в інтегрованій системі утилізації відходів солодовень пивоварних заводів. «Довкілля і зміна клімату» – один із передбачених розділів переговорів щодо членства України у ЄС, зокрема й критерії приєднання. Одне із ключових питань, що доведеться вирішувати фахівцям, – це впровадження неокласичних технологій, здатних забезпечити так званий «зелений перехід» підприємств, зокрема й водопровідно-каналізаційного господарства. Вуглецевий слід водоочисних та каналізаційних очисних споруд яких, за Європейською методологією оцінки, – один з найбільших серед великих промислових підприємств України. Без неокласичних технологій захисту навколишнього середовища, нерозуміння внеску існуючих технологій водопостачання та водовідведення, основ публічного управління та адміністрування, визначити, запроєктувати, впровадити, експлуатувати необхідні, прийнятні в кожному окремо взятому випадку технологічні рішення, а отже, досягти кліматичної нейтральності, а також повноправного членства в ЄС неможливо. Промислові сектори виробництва продуктів харчування та напоїв, хімічна, фармацевтична, целюлозно-паперова промисловості та тваринництво є основними, більш суворі вимоги до діяльності яких призводять до необхідності підвищення ефективності виробничих технологій, перш за все, з метою зниження споживання води, зменшення кількості стічних вод, і, якщо це можливо, отримання стічних вод такої якості, що дозволяє їх повторне використання у виробничому процесі. Підвищення тиску світового ринку у напрямку зменшення витрат, змушує компанії скорочувати останні для підтримки своєї конкурентоспроможності. Ці два фактори відкривають можливості новим технологіям, використання яких може забезпечити одночасного досягнення високої ефективності і значного скорочення витрат. Одним з методів, який відкриває можливості існування таким технологіям, є метод магнітної сепарації, який є ефективним засобом видалення майже 100% зважених твердих частинок, і, таким чином, забезпечує дуже ефективне відокремлення води від органічних і мінеральних речовин, які розкладаються під час нагрівання, термостійких неорганічних речовин тощо. Наукові дослідження засвідчили, що метод магнітної сепарації відіграє одну з ключових ролей в інтегрованій системі утилізації відходів солодовень пивоварних заводів, хоча, власне, і не гарантує їхню утилізацію, проте забезпечує ефективний поділ відходів солодовень пивоварних заводів на компоненти, використання яких добре вивчено і навіть може приносити вигоди власнику таких відходів. *Ключові слова:* метод магнітної сепарації, інтегрована система утилізації відходів солодовень пивоварних заводів, зниження витрат, підтримка конкурентоспроможності, більш суворі вимоги, очищення стічних вод, підвищення тиску світового ринку.

Magentic separation method role and place in ntegrated system of breweries' malt houses wastes' utilization (on PJC “Obolon” example). Bondar O., Zahorodniuk K., Brook-Levinson E., Zahorodniuk Yu., Saltaniuk V.

“Environment and climate change” is one of clauses in negotiations on Ukraine’s membership in the EU, including the accession criteria. One of the key points to be resolved by specialists is introduction of neoclassical technologies capable to ensure the so-called “green transition” of enterprises, including the water supply and sewage industry, the carbon footprint of water treatment and sewage treatment plants of which are one of the largest among big industrial enterprises of Ukraine in case when is assessed according to European methodology. Without neoclassical environmental protection technologies, in case of contribution of existing water supply and drainage technologies understanding lack, lack of public management and administration basics, to determine, design, implement, operate the necessary, acceptable in each individual case technological solutions, which means to achieve climate neutrality, as well as full membership in the EU is simply impossible. Industrial sectors of Food&Drinks, Chemicals, Pharmaceuticals, Pulp paper and Livestock are the main, stricter requirements to which leads to the need for improved more efficient technologies, that consume less water, produce less waste water, and, if possible, produce waste water with such a quality that enables its reuse in the production processes. Increasing pressure of the world market in the field of cost reduction, which makes the company to reduce its costs in order to maintain their competitiveness. These two facts open the possibility for new technologies that can achieve simultaneously

outstanding efficiency and significant reductions in costs. One of the methods, which enables such technologies, is magnetic separation method, which is an effective tool to achieve nearly 100% removal of suspended solids, and thus very effectively separate water from organic and mineral substances which decompose when heated, heat-resistant inorganic substance on each and any stage of waste water processing. Our researches proved that magnetic separation method plays one of key roles in integrated system of breweries' malt houses wastes utilization, while itself it does not ensure their recycling, but it provides effective breweries' malt houses wastes separation into components which utilization well studied and even leads to benefits for wastes owner. *Key words:* magnetic separation method, integrated system of breweries' malt houses wastes utilization, cost reduction, competitiveness maintaining, stricter requirements, waste water treatment, increasing pressure of the world market.

Актуальність. Загальна сутність проблеми.

Європейський ринок комунальних послуг в галузі водопостачання, водовідведення та очистки стічних вод – один з найбільш зрілих ринків у світі і може бути порівняний за видатками з аналогічними ринками глобальних партнерів ЄС, а його щорічний обсяг обчислюється десятками (на даний час вже більше сотні) млрд. доларів [1]. Технології водопідготовки та очищення стічних вод складають 7,6% цього ринку, який зростає і, як очікується, буде стійко зростати з сукупними темпи річного збільшення на 3,8% (з \$ 104.27 млрд. до \$ 130.51 млрд.) за 2019–2025 року (без урахування України), рушійною силою чого є потреби у поліпшенні або відновленні ефективності технологічних процесів, а також посилення законодавчих вимог.

Промислові сектори виробництва продуктів харчування і напоїв, хімічна, фармацевтична, целюлозно-паперова промисловості та тваринництво є основними, більш суворі вимоги до діяльності яких призводять до необхідності вдосконалення технологій. У зв'язку з цим компанії відкриті до нових рентабельних технологій, які довели свою надійність з урахуванням поточних витрат і впливу на навколишнє середовище та готові їх впроваджувати, якщо обслуговування забезпечується надійним партнером. Сьогодні заводи потребують скорочення інвестицій, витрат на технічне обслуговування та експлуатаційних витрат за рахунок простих, недорогих, ефективних систем. Великі промислові підприємства, основні кінцеві споживачі технологій очищення стічних вод на основі методу магнітної сепарації, стикаються з високими витратами на очищення стічних вод через їх (стічних вод) великі обсяги та перевищення запланованих видатків. Більш жорсткі вимоги, пов'язані з необхідністю зниження викидів забруднюючих речовин з промислових об'єктів ЄС, буде результатом реалізації Директиви ЄС з промислових викидів [2], зокрема, особлива увага буде зосереджена на забрудненнях від точкових джерел, в тому числі і промислових стічних водах [3]. Це негативно впливає на глобальну ринкову конкурентоспроможність підприємств ЄС у порівнянні з тими підприємствами, що підпадають під менш жорсткі вимоги щодо цього питання. Також підвищується попит на утилізацію шлаків, утворення яких різко збільшилось [3]. На сьогодні основними тенденціями європейського ринку стічних вод комунального та промислового господарства є імплементація передових технологій очищення стоків та відновлення застарілої інфраструктури [4], тому існує потреба ринку в більшій ефективності експлуатації обладнання і його модернізації, яка, як очікується, збільшить витрати підприємства. Одним з типів відходів, що слабо піддаються утилізації за їх складного поділу на компоненти є відходи харчової промисловості. Серед підприємств цієї галузі найбільш складна задача стосується утилізації відходів солодовень пивоварних заводів. Таким чином, наше дослідження було зосереджено саме на цьому питанні.

Основними відходами солодовень пивоварних заводів є промислові стічні води, аспіраційний пил сушильних камер та невловлювані газоподібні речовини.

Більшість солодовень пивоварених підприємств для очистки стічних вод використовує аеробні методи, що потребує приблизно 100 кВт-год електроенергії на 100 кг ХСК вихідних стічних вод, яка витрачається на забезпечення аеробних процесів киснем через систему аерації. З аспіраційного пилу сушильних камер виготовляють пеллети, що використовують для отримання тепла та/чи електроенергії у піролізних котлах. Невловлювані газоподібні речовини, що за законодавством не є відходами, викидаються в атмосферне повітря і завдають суттєвої шкоди навколишньому середовищу.

Ефективність очистки стічних вод є одним з вирішальних факторів екологічної безпеки будь-якої держави. Найскладніше здійснювати якісне очищення стічних вод саме підприємств харчової промисловості, оскільки одні лише біологічні методи їх очистки далеко не завжди здатні гарантувати необхідну ефективність.

Окрім того, на підприємствах харчової промисловості утворюються і інші відходи, окрім стічних вод (наприклад, на солодовнях пивоварювальних заводів – аспіраційний пил сушильних камер та невловлювані газоподібні речовини), які досить часто важко піддаються утилізації. До складу відходів всіх харчових підприємств входить вода, органічні речовини, мінеральні речовини, що розкладаються при нагріванні та термостійкі неорганічні речовини (зола). Співвідношення між водою та всіма іншими речовинами, що входять до складу відходів визначає стан останніх: рідкий чи твердий.

Сучасні технології дозволяють перетворити органічні речовини та мінеральні речовини [5], що розкладаються при нагріванні, в теплову чи

електроенергію, а тому вони фактично являють собою паливно-енергетичну сировину [6, 7]. Воду та термостійкі неорганічні речовини перетворити в теплову чи електроенергію використовуючи відомі на даний час методи практично неможливо або дуже складно [6, 8]. З огляду на, це стає очевидним, що необхідно забезпечувати ефективне розділення різних за своїми властивостями складових відходів підприємств харчової промисловості.

Сучасні технології обробки стічних вод підприємств харчової промисловості представлені широким спектром апаратно оформлених процесів. Основними, проте не єдиними, методами обробки стічних вод підприємств харчової промисловості є фізико-хімічні та біологічні, що часто поєднують [7]. Чільне місце серед фізико-хімічних методів посідають процеси коагуляції та флокуляції. Не вдаючись у деталі вказаних процесів, які широко описані в літературі, слід зазначити, що їх результатом є утворення пластівців, які відділяються від води, утворюючи дисперсну фазу [9]. Таке розділення слід вважати умовним, оскільки дисперсна фаза, що утворилася все ще повинна бути відділена від води. В залежності від щільності пластівців, що утворилися (більша чи менша за щільність води), їх відділення може бути основане на осадженні чи флоатації. Існують методи інтенсифікації обох цих процесів (наприклад, введення баластних домішок у склад пластівців, що суттєво підвищує їх гідравлічну крупність та підвищує швидкість їх осідання, чи насичення води перед її подачею у флотатор повітрям під підвищеним тиском, що призводить до генерації великої кількості мікробульбашок, що сприяє швидкому спливанню пластівців на поверхню). Не вдаючись у добре описані в літературі деталі, слід зазначити, що осадження і флоатація визначаються гравітаційними та гідростатичними силами.

Однак, поряд з гравітаційними силами існують і інші сили, які можна ефективно використовувати для відділення дисперсної фази від води [9]. Такими силами є магнітні сили.

Науковою компанією AMTR Scientific Ltd. доведено, що введення магнітних речовин в якості баластних домішок до складу пластівців, які утворюються при обробці стічних вод, відкриває можливість не лише їх магнітного осадження, але й істотно зменшує вологості осадів, що з них утворюються під дією статичного магнітного поля. Окрім того, такі осади набувають яскраво виражених гідрофобних властивостей, що проявляється спонтанним відділенням води з плином часу без будь-якого зовнішнього впливу [5, 7, 8, 9].

Таке рішення легко технічно реалізується та масштабується [5], що відкриває широкі перспективи використання методу магнітної сепарації для очистки стічних вод підприємств харчової промисловості вцілому та солодовень пивоварних заводів зокрема.

Розділення води та зв'язаних речовин хоча і відкриває нові можливості утилізації вуглецевмісних відходів підприємств харчової промисловості вцілому та солодовень пивоварних заводів зокрема, проте само по собі її не забезпечує, що свідчить про необхідність наукового обґрунтування технологічної схеми утилізації відходів солодовень пивоварних заводів виходячи з можливості їх ефективного розділення.

Зважаючи на вище викладене, **метою** наукового дослідження стала розробка сучасної промислової біотехнології, що базується на останніх українських розробках у галузі метагеноміки, мікробіології, біохімії, фізики та хімії поверхні.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані такі **завдання**:

1) Дослідити склад стічних вод та вуглецевмісних відходів солодовні пивоварного заводу за параметрами, які мають вплив на ефективність метагенезу та піролізу.

2) На підставі отриманих даних та описаних вище можливостей обґрунтувати оптимальну схему утилізації відходів солодовні пивоварного заводу.

3) Підтвердити можливість реалізації обґрунтованої схеми.

Матеріали та методи. Відбір проб стічних вод та вуглецевмісних відходів солодовні пивоварного заводу здійснювали у відповідності до вимог ДСТУ ISO 5667 – 13: 2005, ГОСТ 17.4.3.01 та ГОСТ 2.1560.0. Для дослідження складу стічних вод та вуглецевмісних відходів солодовні пивоварного заводу були використані стандартні органолептичні, фізичні, хімічні, електрохімічні та фізико-хімічні методи [10]. Для обґрунтування оптимальної схеми утилізації цих відходів були використані бібліографічний метод аналізу наукової інформації, методи розрахунків та прогнозування. Для підтвердження можливості реалізації обґрунтованої схеми був використаний метод диференційно-термічного аналізу. Надлишковий активний мулу був оброблений магнітними речовинами, гідроксидом натрію та коагулянтном залізовмісним хлористо-сульфатним, виготовленим за ТУ У 24.1-33075701-002:2011 після чого був пропущений через статичне магнітне поле, внаслідок чого відбулося остаточне незворотне розділення води та осаду стічних вод. Отриманий таким чином осад стічних вод змішали у співвідношенні 3:2 з іншими вуглецевмісними відходами солодовні пивоварного заводу (аспіраційним пилом та сплавом). Нагрівання отриманого зразку суміші осаду стічних вод та вуглецевмісних відходів солодовні пивоварного заводу здійснили на комп'ютерному дериватографі Q-1000 до 1000°C.

Результати та їх обговорення. Фізико-хімічні властивості виробничих стічних вод, первинного осаду (сплаву), надлишкового активного мулу після обробки на декантері та аспіраційного пилу із сушильних камер Солодовні наведено у таблицях 1–4.

Таблиця 1

Фізико-хімічні властивості виробничих стічних вод локальних каналізаційних очисних споруд солодовні пивовареного заводу

| № з/п | Фізико-хімічні властивості | Методики визначення | Одиниці виміру | Значення |
|-------|-------------------------------|---------------------|-----------------------------------|----------|
| 1. | pH | ДСТУ 4077-2001 | од. pH | 8,1 |
| 2. | Жорсткість | ГОСТ 26449.1-85 | мг-екв/дм ³ | 7,2 |
| 3. | Сухий залишок | МВВ 081/12-0109-03 | мг/дм ³ | 985,0 |
| 4. | Лужність | ГОСТ 26449.1-85 | мг-екв/дм ³ | 8,4 |
| 5. | NH ₄ ⁺ | ГОСТ 26449.1-85 | мг/дм ³ | 4,1 |
| 6. | NO ₃ ⁻ | КНД 211.1.4.023-95 | мг/дм ³ | 28,5 |
| 7. | NO ₂ ⁻ | КНД 211.1.4.027-95 | мг/дм ³ | 11,3 |
| 8. | PO ₄ ³⁻ | ДСТУ ISO 6878:2003 | мг/дм ³ | 5,2 |
| 9. | ХСК | ДСТУ ISO 5060-2003 | мгO ₂ /дм ³ | 430,0 |
| 10. | БСК ₅ | КНД 211.1.4.024-95 | мгO ₂ /дм ³ | 310,0 |
| 11. | Завислі речовини | КНД 211.1.4.039-95 | мг/дм ³ | 90,0 |
| 12. | Сульфати | ГОСТ 26449.1-85 | мг/дм ³ | 74,5 |
| 13. | Хлориди | ДСТУ 4079-2001 | мг/дм ³ | 118,3 |
| 14. | Залізо загальне | ГОСТ 4011-72 | мг/дм ³ | 1,3 |
| 15. | Кальцій | ДСТУ ISO 6059:2003 | мг/дм ³ | 96,2 |

Таблиця 2

Фізико-хімічні властивості надлишкового активного мулу після обробки на декантері локальних каналізаційних очисних споруд солодовні пивовареного заводу

| № з/п | Фізико-хімічні властивості | Методики визначення | Одиниці виміру | Опис / Значення |
|-------|--|---------------------|----------------|-----------------|
| 1. | Зовнішній вигляд | - | - | тверда речовина |
| 2. | Колір | - | - | сірувато-чорний |
| 3. | Запах | - | - | прілого ґрунту |
| 4. | Масова частка органічної речовини на сухий продукт | ГОСТ 27980 | % | 15,0 |
| 5. | Кислотність (pH) | ГОСТ 27979 | од. pH | 7,9 |
| 6. | Вологість | ГОСТ 26713 | % | 80 |

Таблиця 3

Фізико-хімічні властивості первинного осаду (сплаву) локальних каналізаційних очисних споруд солодовні пивовареного заводу

| № з/п | Фізико-хімічні властивості | Методики визначення | Одиниці виміру | Опис / Значення |
|-------|--|---------------------|----------------|-----------------|
| 1. | Зовнішній вигляд | - | - | тверда речовина |
| 2. | Колір | - | - | сірувато-жовтий |
| 3. | Запах | - | - | метану |
| 4. | Масова частка органічної речовини на сухий продукт | ГОСТ 27980 | % | 20,5 |
| 5. | Кислотність (pH) | ГОСТ 27979 | од. pH | 7,2 |
| 6. | Вологість | ГОСТ 26713 | % | 50 |

Таблиця 4

Фізико-хімічні властивості аспіраційного пилу із сушильних камер солодовні пивовареного заводу

| № з/п | Фізико-хімічні властивості | Методики визначення | Одиниці виміру | Опис / Значення |
|-------|--|---------------------|----------------|------------------------|
| 1. | Зовнішній вигляд | - | - | Тверда сипуча речовина |
| 2. | Колір | - | - | Блідно-жовтий |
| 3. | Запах | - | - | Майже відсутній |
| 4. | Масова частка органічної речовини на сухий продукт | ГОСТ 27980 | % | 21,0 |
| 5. | Кислотність (pH) | ГОСТ 27979 | од. pH | 7,0 |
| 6. | Вологість | ГОСТ 26713 | % | 20 |

Аналіз отриманих даних свідчить про нераціональне поводження з органічною складовою виробничих стічних вод солодовні пивовареного заводу. Використання одних лише мембранно-біологічних реакторів, які забезпечують аеробні процеси очистки, не дозволяють використати енергію органічної складової повною мірою.

Найбільш перспективною технологією очищення стічних вод та утилізації органічних відходів харчових та сільськогосподарських підприємств є технологія, що дозволяє здійснювати анаеробне метанове бродіння в біореакторах-метантенках із отриманням біогазу та анаеробного осаду, із наступним доочищенням стічних вод аеробними методами.

Вибір такої схеми та її переваги перед виключно аеробною очисткою обумовлені наступними факторами.

На відміну від аеробної очистки, що потребує близько 100 кВт-год електроенергії на 100 кг ХСК вихідної стічної води, що витрачається на забезпечення аеробних процесів киснем через систему аерації, анаеробна очистка проходить із виділення біогазу (горючої суміші газів бродіння) еквівалентного 190 кВт-год електроенергії або 360кВт-год тепла на 100 кг ХСК, із яких приблизно 80 кВт-год тепла на 100 кг ХСК необхідно витратити на підтримку термічного режиму в біореакторах-метантенках. Отже, в результаті анаеробної біологічної очистки чистий вихід отриманої енергії складе $360 - 80 = 280$ кВт-год тепла на 100 кг ХСК або $190 - 80 = 110$ кВт-год електроенергії на 100 кг ХСК, в той час, як в результаті аеробної очистки витрачається 100 кВт-год електроенергії на 100 кг ХСК. Під час анаеробного метановому бродіння органічні сполуки не окислюються повністю, частина енергії вихідного субстрату зберігається в достатньо складних проміжних продуктах, які складають 10–20 кг ХСК/м³ і потребують відповідно вдвічі більше електроенергії для очистки в аеробних процесах, тобто 20–40 кВт-год електроенергії.

Тобто, на комбінації анаеробно-аеробної очистки стічних вод можна отримати $110 - 40 = 70$ кВт-год електроенергії на 100 кг ХСК (якщо утилізувати біогаз на когенераційних установках).

Окрім того під час анаеробного метанового бродіння тільки 10% органічних забруднень, виражених через ХСК, ідуть в приріст біомаси (надлишковий активний мул), при аеробній очистці в надлишковий активний мул перетворюється 50–80% органічних забруднень, виражених через ХСК.

Однак при анаеробному метановому бродінні органічні сполуки не окислюються повністю і частина енергії вихідного субстрату зберігається в достатньо складних проміжних продуктах, які придатні для окислення із значним споживання кисню, що робить неможливим скиди анаеробно оброблених стоків безпосередньо у рибогосподарські водойми, оскільки такі скиди викличуть кисневий дефіцит.

Таким чином, після анаеробної очистки стічних вод необхідна аеробна біологічна очистка, яка може бути доповнена магнітною сепарацією чи фільтрацією через мембрани.

Анаеробно-аеробна біологічна очистка найбільш ефективна для очищення стічних вод із значним вмістом органічних забруднень, наприклад для підприємств харчової промисловості.

Вона повністю відповідає сучасній концепції «подвійних еко» технологій які базуються на принципах ВАР (Best Available Technics) та ВЕР (Best Environmental Practices) і забезпечують подвійну ефективність покращення виробництва: екологічну та економічну.

Зважаючи на те, що при наведеному вище підході все ще залишається необхідність утилізації анаеробного та аеробного осадів, науковцями було вирішено перевірити можливість отримання пеллетів з цих осадів та інших вуглецевмісних відходів для можливості їх подальшої утилізації з використанням піролізних установок. Беручи до уваги той факт, що при аеробній очистці значно більше органічних речовин перетворюється в активний мул, а потім в осад, надлишковий активний мулу був оброблений нами магнітними речовинами, гідроксидом натрію та коагулянтном залізовмісним хлористо-сульфатним, виготовленим за ТУ У 24.1-33075701-002:2011 після чого був пропущений через статичне магнітне поле, внаслідок чого відбулося остаточне незворотне розділення води та аеробного осаду стічних вод.

Після цього аеробний осад стічних вод змішали з аспіраційним пилом та сплавом у співвідношенні 3:1:1 та виготовили з суміші паливні гранули (загальна маса зразка паливної гранули склала 200,2 мг), які залишили на 72 години. Маса зразка паливної гранули, що надійшла через 72 години на дериватографію становила вже 195,5 мг, що свідчить про гідрофобні властивості отриманого аеробного осаду стічних вод та його здатність до спонтанного виділення води без прикладання будь-яких зовнішніх сил.

Дериватограма зразка паливної гранули, виготовленої з суміші аеробного осаду стічних вод та вуглецевмісних відходів солодовні пивовареного заводу наведена на рисунку 1.

Результати диференційно-термічного аналізу зразка паливної гранули, виготовленої з суміші аеробного осаду стічних вод після обробки магнітними речовинами та полем з аспіраційним пилом та сплавом наведені у таблиці 5.

Аналіз отриманої дериватограми, дозволяє стверджувати, що паливні гранули – пеллети, виготовлені з суміші аеробного осаду стічних вод після обробки магнітними речовинами та полем з аспіраційним пилом та сплавом за своїми властивостями при використанні в якості паливно-енергетичної сировини, не поступаються деяким сортам вугілля.

Результати диференційно-термічного аналізу суміші аеробного осаду стічних вод після обробки магнітними речовинами та полем з аспіраційним пилом та сплавом

| Матеріал | Вологість, % | Сухих речовин, % | Органічних речовин, % (на СР) | Мінеральні речовини, що розкладаються, % (на СР) | Зола, % (на СР) |
|-----------------|--------------|------------------|-------------------------------|--|-----------------|
| Паливні гранули | 6,55 | 93,45 | 84,62 | 0,33 | 15,05 |

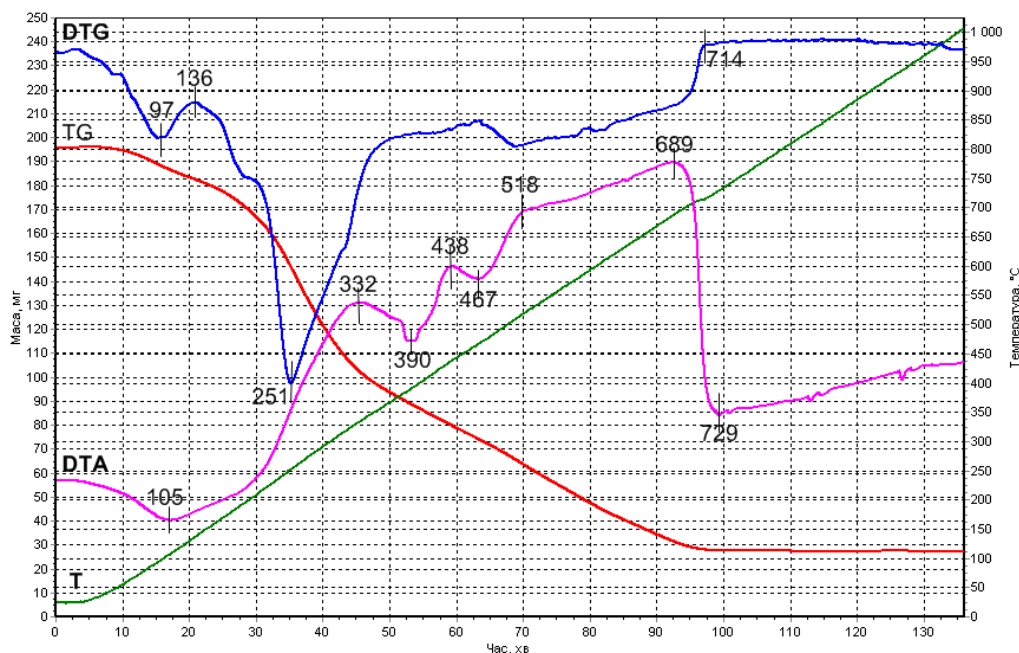


Рис. 1. Дериватограма зразка паливної гранули, виготовленої з суміші аеробного осаду стічних вод та вуглецевмісних відходів солодовні. Вихідна маса зразка, який надійшов на дериватографію – 195,5 мг

Висновки:

1. Застосування магнітних матеріалів та полів для процесів очистки стічних вод підприємств харчової промисловості є ефективним інструментом, що дозволяє досягти близько 100% видалення зважених часток, а відтак вкрай ефективно відділяти воду від органічних та мінеральних речовини, що розкладаються при нагріванні, термостійких неорганічних речовини на будь-якому з етапів обробки.

2. Магнітний осад, що утворюється під час обробки стічних вод підприємств харчової про-

мисловості з використанням магнітних матеріалів та полів, має гідрофобні властивості та здатен до спонтанної віддачі води під час звичайного зберігання.

3. Метод магнітної сепарації відіграє ключову роль у інтегрованій системі утилізації відходів солодовень пивоварних заводів, хоча, власне, і не забезпечує їх утилізацію, а лише дозволяє ефективно здійснювати поділ відходів солодовень пивоварних заводів на складові, утилізація яких належно вивчена та автоматизована.

Література

1. Directive 91/271/EEC concerning urban waste-water treatment.
2. Directive 2010/75/EU on industrial emissions.
3. Бондар О.І. Про першочергові заходи з відновлення і модернізації систем водопостачання територій, що постраждали внаслідок воєнних дій (на прикладі ліквідації наслідків надзвичайної ситуації воєнного характеру на Каховській ГЕС) / О.І. Бондар, К.Ю. Загороднюк, М.Г. Новіков, Ю.В. Загороднюк, В.С. Мошинський, В.Л. Филипчук, В.М. Гуляев: Науково-практичний журнал "Екологічні науки". Київ, 2023. № 4(49). С.7-14.
4. Бондар О.І. Основи водозабезпечення територій з дефіцитом водних ресурсів з урахуванням принципів раціонального природокористування (на прикладі Коблівської ОТГ) / О.І. Бондар, К.Ю. Загороднюк, С.В. Третяков, Загороднюк Ю.В.: Науково-практичний журнал "Екологічні науки". Київ, 2023. № 5(50). С. 7-14.
5. Zahorodniuk K. Experience of Bioregenerator Application for Waste water Treatment and further Processing of Obtained Sludge. Proceedings of International Scientific Conference "Actual Issues of Medicine: Experience of Poland and Ukraine". Lublin, Poland, 20-21 of October 2017 p. 134-137.

6. Загороднюк К.Ю. Інтенсифікація компостування відходів як шлях сталого розвитку тваринництва (на прикладі підстилки курників) / Загороднюк К.Ю., Загороднюк Ю.В., Рахамімов В.Д. Друга Міжнародна науково-практична конференція «Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку»: збірник матеріалів (24-25 жовтня 2019, м. Херсон, Україна). Херсон: Олді-плюс, 2019. С.112-116.
7. Загороднюк К.Ю. Еколого-гігієнічна оцінка процесів очистки стічних вод при застосуванні біорегенератора «Охудо!» (на прикладі комплексу очисних споруд каналізації лівого берега м. Кам'янське, Дніпропетровська область, Україна) / К.Ю. Загороднюк, С.Т. Омельчук, С.Г. Гуша, Ю.В. Загороднюк, В.Г. Войцеховський, В.Д. Рахамімов, Ю.М. Іващенко, О.І. Яровий . Вода: гігієна і екологія № 1-4 (7). Одеса, 2019. С. 39-55.
8. Загороднюк К.Ю. Гігієнічна оцінка умов праці на каналізаційних очисних спорудах при застосуванні біорегенератора «Охудо!» (на прикладі каналізаційних очисних споруд смт Гурзуфа, АР Крим, Україна) / К. Ю. Загороднюк, В. Г. Бардов, С. Т. Омельчук, Ю. В. Загороднюк, В. Г. Войцеховський, І. М. Пельо, А. М. Гринзовський, Є. М. Анісімов, А. А. Борисенко . Український журнал з проблем медицини праці № 3 (44). Київ, 2019. С. 57-70.
9. Коцар О.М. Біотехнології кондиціонування зворотних вод для технічних потреб на основі використання біорегенератора Охудо! / О.М. Коцар, Ю.В. Загороднюк, І.М. Федай, К.Ю. Загороднюк. Вода: гігієна і екологія № 1-4 (7). Одеса, 2013. С. 39-55.
10. APHA, Standard methods for the examination of water and wastewater, American public health association, water works association and water Pollution control federation, 19th Washington, DC, (1995).

УДК 504:628.4:691.32.

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.1.12>

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ РУЙНУВАНЬ В УКРАЇНІ: ВИКОРИСТАННЯ ПЕРЕРОБЛЕНОГО МАТЕРІАЛУ ДЛЯ СТАЛОГО БУДІВНИЦТВА

Палій О.В.

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

В умовах триваючих військових дій в Україні та їх руйнівних наслідків, проблема утилізації будівельних відходів руйнування набуває особливої гостроти. Велика кількість відходів, що утворилися в результаті обстрілів та руйнувань інфраструктури, становить значний екологічний та соціальний виклик. Дослідження зосереджується на вивченні впливу цих відходів на довкілля, виявленні шляхів їх безпечної та ефективної утилізації та рециклінгу.

Питання ефективного управління будівельними відходами в Україні стає ще більш актуальним у світлі необхідності відновлення зруйнованих територій. Наразі існуючі методи утилізації, як правило, обмежуються захороненням відходів, що призводить до додаткового навантаження на звалища та земельні ресурси. Відсутність комплексної стратегії управління відходами робить цю проблему ще більш важливою для розгляду та вирішення на державному рівні. В цьому аспекті особливу увагу заслуговує досвід інших країн, де вже впроваджені технології переробки будівельних відходів та його повторного використання. Наприклад, практика використання руїн як сировини для нового будівництва, яка була успішно застосована під час відновлення Варшави після Другої світової війни, може стати в нагоді Україні в післявоєнний період.

Розвиток «зеленого бетону», який включає в себе використання перероблених матеріалів, є одним із способів мінімізації екологічного впливу будівельної індустрії. «Зелений бетон» не тільки сприяє зменшенню викидів CO₂, пов'язаних з виробництвом традиційного бетону, але й покращує механічні властивості та довговічність конструкцій. Однак, разом із перевагами, використання перероблених матеріалів може нести і ризики, зокрема пов'язані з корозією арматури через присутність хлоридів та інших корозійно-активних компонентів.

Дослідження показує, що інтеграція перероблених матеріалів у виробництво бетону вимагає ретельного вибору компонентів та контролю якості готової продукції. Необхідно враховувати такі фактори, як вміст солей та інших хімічних речовин у вторинних матеріалах, які можуть впливати на процеси корозії в бетонних конструкціях. Також важливо розглядати можливість модифікації складу бетону з використанням добавок, які можуть покращувати його властивості та збільшувати опір проникненню агресивних речовин.

Результати даного дослідження мають стратегічне значення, оскільки вони можуть бути використані для розробки комплексної державної політики у сфері управління будівельними відходами, екологічного будівництва та сталого розвитку інфраструктури. *Ключові слова:* управління відходами, сталий розвиток, відходи руйнування, екологічна безпека, зелений бетон, переробка будівельних відходів, корозія бетону, довговічність бетонних конструкцій.

Environmental aspects of utilization of destruction waste in Ukraine: using recycled material for sustainable construction. Paliy O.

In the context of ongoing military actions in Ukraine and their destructive consequences, the problem of utilizing construction waste acquires particular urgency. The large amount of waste generated as a result of shelling and infrastructure destruction poses a significant environmental and social challenge. The research focuses on studying the impact of this waste on the environment, identifying ways for its safe and efficient disposal and recycling.

The issue of effective management of construction waste in Ukraine becomes even more relevant in light of the need to rebuild the destroyed areas. Current disposal methods are typically limited to waste landfilling, leading to additional strain on landfills and land resources. The absence of a comprehensive waste management strategy makes this problem even more important to consider and resolve at the national level. In this regard, the experience of other countries that have implemented technologies for the processing of construction waste and its reuse is of particular interest. For example, the practice of using rubble as raw material for new construction, successfully applied during the reconstruction of Warsaw after World War II, may be useful to Ukraine in the post-war period.

The development of «green concrete,» which includes the use of recycled materials, is one way to minimize the environmental impact of the construction industry. «Green concrete» not only contributes to reducing CO₂ emissions associated with the production of traditional concrete but also improves the mechanical properties and durability of structures. However, along with the advantages, the use of recycled materials can also carry risks, particularly related to the corrosion of reinforcement due to the presence of chlorides and other corrosive-active components.

Research shows that the integration of recycled materials into concrete production requires careful selection of components and quality control of the finished product. Factors such as the content of salts and other chemical substances in secondary materials, which can affect corrosion processes in concrete structures, need to be considered. It is also important to consider the possibilities of modifying the concrete composition using additives that can improve its properties and increase resistance to the penetration of aggressive substances.

The results of this research have strategic importance, as they can be used to develop a comprehensive national policy in the field of construction waste management, ecological construction, and sustainable infrastructure development. *Key words:* waste management, sustainable development, demolition waste, environmental safety, green concrete, recycling of construction waste, concrete corrosion, durability of concrete structures.

Постановка проблеми. Ще до початку війни будівельні відходи становили значну частину відходів, що вивозилися на звалища, через їх об'єм та велику кількість, що залишалася після реконструкції та будівництва [1].

За даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів, за майже два роки Великої війни росіяни пошкодили або зруйнували майже 60 000 об'єктів. Найбільше постраждали житлові будинки – 48 000. Обласна військово-цивільна адміністрація підраховує кількість відходів, накопичених внаслідок руйнування об'єктів: на початок літа 2023 року кількість будівельного сміття сягне 450 000 тонн, повідомили ЕП у Міністерстві екології [2]. Процес відновлення європейських міст після Другої світової війни був прискорений завдяки інноваційному підходу до використання залишкових будівельних матеріалів. Втілюючи принципи сталого розвитку, використовувалася цегла, врятована з руїн, для повторного використання, а також будівельне сміття, яке перероблялось у новий бетон. Цей метод дозволив не тільки зекономити ресурси, але й забезпечити ефективне використання матеріалів [3]. Подібні практики переробки та повторного використання відходів утвердилися в таких країнах, як Данія, Нідерланди, Німеччина, де законодавство вимагає використання певного відсотка перероблених матеріалів у новому будівництві. Австрія, наприклад, досягла вражаючих результатів, переробляючи близько 87% будівельних відходів [4].

Події, подібні до урагану «Катріна» у 2005 році у Луїзіані (США), де було вивезено понад 30 мільйонів кубометрів відходів на звалища, вказують на необхідність покращення управління відходами після катастроф [5]. Неурядові організації та ООН активно працюють над розробкою ефективних стратегій утилізації відходів, з метою мінімізувати їх негативний вплив на довкілля [6].

Станом на лютий цього року кількість відходів, знищених в Україні внаслідок російської військової агресії, вже становила близько 10–12 мільйонів тонн. Ця цифра продовжує зростати. Зокрема, станом на початок липня 2023 року обсяг відходів від знищеної російської техніки становив 527 000 тонн [7].

Відходи, що утворюються в результаті знищення, мають бути утилізовані таким чином, щоб не завдавати шкоди навколишньому середовищу або мінімізувати цей вплив. Зокрема, частина цих відходів може бути одразу відсортована та перероблена. Однак частина цих відходів є небезпечними і має бути утилізована відповідно до різних нормативних актів [2].

Будівельне сміття містить багато токсичних речовин, які потрапляють у ґрунтові води. Крім того, будівельні відходи від бойових дій містять багато токсичних частинок, таких як вибухівка, електроніка та батарейки. Ситуація ускладнюється незаконним захороненням відходів у лісах та водоймах.

Будівельні відходи можна утилізувати трьома способами: захоронення, переробка та повторне використання. В Україні переважають перші два способи. Наприклад, у Київській області створено 48 місць тимчасового зберігання будівельних відходів. Їх загальна площа становить 55 га, що еквівалентно 77 футбольним полям [1]. У короткостроковій перспективі уряд хоче зменшити безпосередні ризики для здоров'я людей і довкілля. У довгостроковій перспективі він має намір зосередитися на розвитку більш чистої, зеленої економіки. Досі закон не містив вимог щодо повторного використання будівельних відходів. Громади обирали найпростіший шлях і вивозили відходи на полігони для твердих побутових відходів.

У 2022 році Уряд затвердив «Порядок поводження з відходами, що утворилися внаслідок пошкодження (руйнування) будівель і споруд внаслідок воєнних дій, терористичних актів, диверсій або робіт з ліквідації їхніх наслідків». Цей документ регулює питання, пов'язані з поводженням з відходами [8].

Зокрема, він встановлює вимоги до класифікації та обліку відходів, поводження з ними, місць тимчасового зберігання та переробки відходів. Документ відповідає стандартам ЄС.



Рис. 1. Порядок поводження із відходами від руйнувань [9]

Таким чином, виникає актуальна потреба в ефективному використанні відходів від руйнувань. Одним із можливих рішень є створення бетонних сумішей, які включають перероблені відходи, розроблені на основі принципів сталого розвитку. В останні роки стали популярними рецептури «зеленого бетону», спрямовані на вирішення основних екологічних проблем, пов'язаних з виробництвом бетону, яке вимагає великих обсягів природних ресурсів і на яке припадає 8% світових викидів CO₂ [10]. З метою збере-

ження природних ресурсів та зменшення впливу на навколишнє середовище, сировину для бетону замінують різними видами відходів [11]. Ці нові композиції зазвичай добре характеризуються з точки зору механічних короткочасних властивостей (28-денна міцність на стиск і розтяг), але слід звернути увагу на їхню довговічність і корозійну поведінку, які можуть бути змінені введенням відходів у бетонну матрицю порівняно зі стандартним бетоном.

Корозія є одним з основних механізмів руйнування залізобетонних конструкцій, особливо у випадку хлоридної точкової корозії [12]. Як відомо, хлориди руйнують пасивну плівку, що захищає сталеву арматуру, і запускають процес корозії [12]. Коли хлорид досягає порогової концентрації, ініціюється корозійний процес, який скорочує термін служби бетонних конструкцій через розтріскування і відшарування бетонного покриття та пошкодження арматури [13]. Цей корозійний процес присутній у більшості бетонних конструкцій, збільшуючи витрати на обслуговування і скорочуючи фактичний термін служби бетонних конструкцій.

У цьому дослідженні були проведені прискорені міграційні випробування «зеленого бетону», що містить перероблені бетонні агрегати отримані з відходів будівництва та знесення в якості заповнювача, щоб краще зрозуміти поведінку міграції хлоридів і вплив введення такого типу відходів у бетон.

Матеріали для дослідження. Для замішування бетонних сумішей використовували два типи природних заповнювачів: річковий пісок (РП) і природний гравій (ПГ). В якості вторинного заповнювача використовувався подрібнений бетонний гравій (БГ), отриманий з відходів будівництва та знесення, який постачався компанією Araplasa, що займається утилізацією твердих побутових відходів, яка працює на півночі Іспанії. В якості цементу використовувався портландцемент типу СЕМ II/A-LL 42.5 R. У всіх сумішах використовувався суперпластифікатор Marei Dynamon Extend W202R для зменшення кількості води і поліпшення оброблюваності.

Використання всіх компонентів матеріалів, використаних у цьому дослідженні, для виготовлення конструкційного бетону дозволено в EN 197-1 [14], EN 12620 [15] та EN 206 [16].

Викладення основного матеріалу. Три типу сумішей були розроблені і залиті в Інституті матеріалів, випробувань і конструкцій Університету Парми, Італія. Еталонний бетон (ЕБ) містив лише природ-

ний заповнювач і портландцемент. Враховуючи два рівні заміни крупного заповнювача, було визначено два види сумішей, які порівнювалися з еталонним бетоном. Точніше, дві суміші замінили природний гравій на 25% і 50% подрібненого бетонного гравію, названі С25 і С50 відповідно. Різні суміші підсумовані в таблиці 1, де кількості відносяться до твердого залишкового стану заповнювача.

Всі суміші змішувалися за допомогою змішувача барабанного типу з сухим заповнювачем всередині. Потім до суміші додавали воду (50% від загального об'єму) (для перемішування та поглинання заповнювача). Наступним додавали цемент разом з 25% води. Нарешті, додавали воду, що залишилася, і суперпластифікатор та перемішували протягом 3 хв, поки компоненти бетону не стали майже однорідними. У таблиці 1 також наведено середні значення міцності на стиск за 28 днів, отримані згідно з [17] для трьох випробуваних кубів розміром 100x100x100 мм. З метою проведення тесту на міграцію хлоридів для кожної суміші було випробувано три циліндричні зразки розміром 100 мм x 50 мм. Для їх отримання було зроблено зразки розміром 100 мм x 200 мм відповідно до EN 12390-1 [18] для кожної суміші, а потім розрізані на частини для проведення випробування на прискорену міграцію хлоридів. Для отримання результатів, подібних до природної міграції, до всіх зразків було застосовано потенціал 4,5 В. Випробувальна установка представлена на рис. 2. Через деякий час вимірювали середню глибину залягання хлоридів, розрізаючи зразок на дві частини і розпилюючи AgNO₃ для проведення колориметричного тесту [11]. Для кожного зразка та потенційного часу застосування глибина була виміряна в 40 точках. Потім розраховували коефіцієнт дифузії К відповідно до рівняння 1, запропонованого в іспанському стандарті для бетону ЕНЕ-08 [19].

$$D(mm) = K \left(\frac{mm}{h^{0.5}} \right) \times \sqrt{t(h)} \quad (1)$$

Головні висновки. Для того, щоб зрозуміти вплив перероблених заповнювачів, результати з точки зору глибини хлоридів в залежності від часу представлені на рис. 3, для сумішей з табл. 1 з 0%, 25% та 50% перероблених заповнювачів. Отримані результати показані в табл. 2 показують, що значення К є вищими при більшому заміщенні переробленого заповнювача. Ці результати підтверджують тенденцію, вже визнану в літературі іншими авторами, які виявили, що початковий час корозії скорочується при збільшенні коефіцієнта заміни перероблених

Таблиця 1

Склад міксів зразків для експериментальних сумішей

| Код міксу | Відсоток заміни БГ (%) | РП (кг/м ³) | ПГ (кг/м ³) | БГ (кг/м ³) | Цемент (кг/м ³) | Вода (кг/м ³) | Суперпластифікатор (кг/м ³) | Міцність на стиск 28д, МПа |
|-----------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|---|----------------------------|
| ЕБ | 0 | 1139 | 567 | 0.00 | 400 | 200 | 2.6 | 45.52 |
| С25 | 25 | 1139 | 426 | 134 | 400 | 200 | 2.6 | 47.09 |
| С50 | 50 | 1139 | 284 | 268 | 400 | 200 | 2.6 | 42.57 |

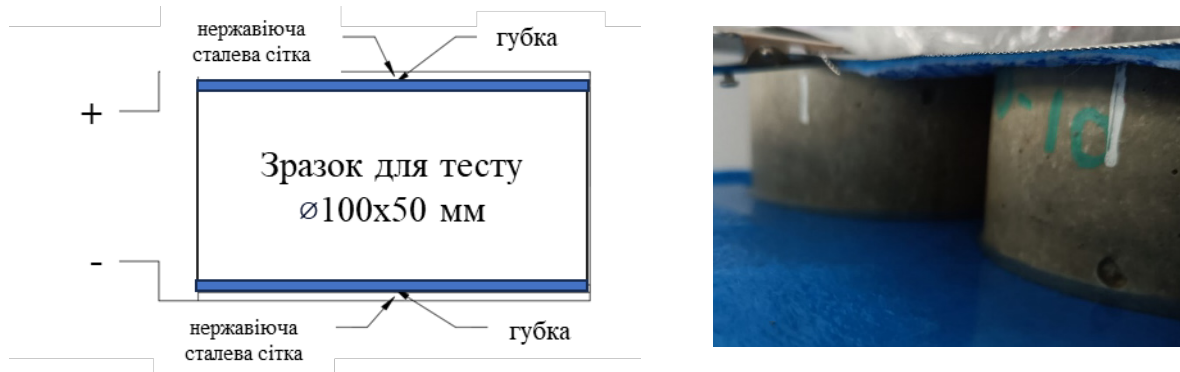


Рис. 2. Випробувальна установка

заповнювачів через низькі показники цементно-заповнювальної перехідної зони бетону [20].

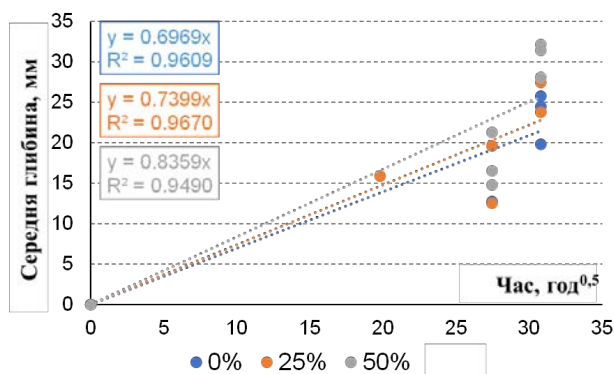


Рис. 3. Глибина залягання хлоридів у залежності від часу для міксів з БГ

Коефіцієнт заміщення і більш високе поглинання вторинних заповнювачів є основними параметрами, що визначають більш пористу структуру [21]. Відомо, що менша структура пор сприяє збільшенню опору проникненню хлоридів [20].

Таблиця 2

Значення коефіцієнта заміщення К для всіх сумішей

| Номенклатура | ЕБ | С25 | С50 |
|--|-------|-------|-------|
| Коефіцієнт К $\left(\frac{mm}{h^{0.5}}\right)$ | 0.837 | 0.781 | 0.925 |

Перспективи використання результатів дослідження. Еталонний бетон (ЕБ) має коефіцієнт К, рівний 0.837, що свідчить про середній рівень проникнення хлоридів. Варіант С25, де 25% природного заповнювача було замінено на БГ, показує трохи нижчий коефіцієнт (0.781), що може вказувати на кращу захищеність від хлоридів. Однак, мікс С50, в якому 50% природного заповнювача замінено, має найвищий коефіцієнт К (0.925), що свідчить про більш високу пористість і, відповідно, більшу схильність до проникнення хлоридів.

Ці дані вказують на те, що хоча використання перероблених матеріалів у бетонних сумішах може мати екологічні переваги, воно також може збільшувати ризики пов'язані з корозією. Зокрема, мікс С50, який має вищий коефіцієнт дифузії, може бути менш підходящим для використання в умовах, де присутній агресивний вплив хлоридів.

Однак, існують способи модифікації складу бетону, щоб зменшити цей ризик. Введення пуццоланових матеріалів, які вступають у реакцію з гідроксидом кальцію, утворюючи додаткові гідратовані силікати кальцію, може зменшити пористість бетону та підвищити його стійкість до корозії. Крім того, використання мікросиліки може сприяти утворенню більш щільної структури матриці та зменшити розмір пор, що також позитивно впливає на стійкість матеріалу до впливу хлоридів [21].

Література

1. Відходи від війни: що це таке та як із ними впоратись?. URL:Режим доступу: <https://rubryka.com/article/waste-from-war/> (дата звернення: 06.12.2023).
2. Construction Waste in Ukraine: What's the Solution? Property Forum. URL: <https://www.property-forum.eu/news/construction-waste-in-ukraine-whats-the-solution/15592> (дата звернення 1.12.2023).
3. J. T. Tanacredi. «Sustainable Waste Management: Strategies and Solutions.» International Journal of Environmental Studies. 2023. № 81 (1). P. 157-171.
4. M. Bjerregaard, et al. «Disaster Waste Management: A Systems Approach.» Environmental Management Review. 2023. № 29 (4). P. 399-416.
5. D. Lu, W. Yuan. «Construction and Demolition Waste Recycling: A Literature Review.» Waste Management & Research. 2023. № 41 (6). P. 830-845.

6. S. A. Mahpour. «Managing Construction and Demolition Waste: Environmental and Economic Issues.» *International Journal of Waste Resources*. 2023. №13 (2). P. 202-218.
7. Н. Kireitseva, L. Demchuk, O. Paliy, A. Kahukina. Toxic impacts of the war on Ukraine. *International Journal of Environmental Studies*. 2023. № 80 (2). P. 267-276.
8. Постанова Кабінету Міністрів України від 27 вересня 2022 року № 1073. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1073-2022-%D0%BF#Text> (дата звернення 15.12.2023).
9. Чому поховати рештки знищених будинків на звалищах – погана ідея. Хмарочос. <https://hmarochos.kiev.ua/2023/11/29/chomu-pohovaty-reshtky-znyshhenyh-budynkiv-na-zvalyshhah-pogana-ideya/> (дата звернення 20.12.2023).
10. Палій О., Пацева І., Кірейцева Г., Циганенко-Дзюбенко І. (2023). Використання відходів гірничо-видобувної галузі, як альтернативної сировини у будівництві. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 1, 27–35 <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-1-4>.
11. Cantero, Blas, et al. 2020. “Mechanical behaviour of structural concrete with ground recycled concrete cement and mixed recycled aggregate”. *Journal of Cleaner Production* 275: 122913.
12. Torres, Julio, Andrade Carmen and Sánchez Javier. 2020. “Initiation period of corrosion by chloride ion according to EHE08 in cracked concrete elements”. *Informes de la Construcción* 72(557): e331.
13. Tian, Ye, et al. 2023. “Corrosion of steel rebar in concrete induced by chloride ions under natural environments”. *Construction and Building Materials* 369: 130504.
14. EN 197-1: 2011. Cement, Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements.
15. EN 12620:2003+A1:2009. Aggregates for concrete.
16. EN 206:2013+A2:2021/1M:2022. Concrete. Specification, performance, production and conformity.
17. EN 12390-3:2020. Testing hardened concrete. Part 3: Compressive strength of test specimens.
18. EN 12390-1: 2021. Testing hardened concrete. Part 1: Shape, dimensions and other requirements for specimens and moulds.
19. Code on Structural Concrete (EHE-08). 2008. Madrid: Ministry of Public Works.
20. Liang, Chaofeng, et al. 2021. “Chloride transport and induced steel corrosion in recycled aggregate concrete: A review”. *Construction and Building Materials* 282: 122547.
21. Golafshani, E. Mohammadi, et al. 2023. “Modeling the chloride migration of recycled aggregate concrete using ensemble learners for sustainable building construction”. *Journal of Cleaner Production*, 407: 136968.

ДРОН ДЛЯ ЗБОРУ СМІТТЯ НА ВОДОЙМАХ: ПРОЄКТУВАННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ

Поліщук М.М., Ролік О.І.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
пр. Перемоги, 37, 03056, м. Київ
borchiv@ukr.net, arolick@gmail.com

Однією із сучасних проблем у сфері екології є створення екологічно чистого обладнання для збору сміття на різноманітних водоймах. Сучасні транспортні засоби у вигляді надводного плаваючого обладнання, такого як судна, катери, моторні човни тощо, не відповідають вимогам екологічної чистоти в наслідок притаманних їм викидів продуктів згорання палива для їх двигунів. В той же час все ширше застосування для моніторингу водойм набувають безпілотні літальні апарати у вигляді мультикоптерів чи квадрокоптерів, також відомих під загальною назвою дронів, що є альтернативою використанню традиційних плаваючих засобів. У статті запропонована принципово нова конструкція технологічного оснащення дрону, який має спеціальне призначення, а саме для збору сміття на різних водоймах (річках, озерах, ставках). Конструктивні відмінності нового дрону складають інженерний аспект вирішення означеної проблеми і надають можливість збору сміття переважно у важкодоступних місцях водойм, наприклад таких, як ділянки, що заросли очеретом, осокою, чагарниками водяного горіха й подібною водною рослинністю. Науковий аспект вирішення даної проблеми складає вперше запропонований структурно-параметричний синтез виконавчих органів дрону для збору сміття та їм подібних пристроїв. Головною мотивацією проведених досліджень є створення екологічно чистого встаткування у вигляді безпілотного літального апарату, який призначений для збору сміття на різноманітних водоймах і особливо в їх важкодоступних місцях. Надані результати досліджень можуть бути застосовані для виконання великомасштабних програм екологічного захисту водних ресурсів, бо сприяють вказаним програмам у частці підвищення ефективності, безпечності і економічної доцільності. *Ключові слова:* платформи безпілотників, квадрокоптер, пристрої для збору сміття, моніторинг водойм.

Drone for garbage collection at water reservoirs: design and modeling. Polishchuk M., Rolik O.

One of the modern problems in the field of ecology is the creation of environmentally friendly equipment for collecting garbage on various reservoirs. Modern vehicles in the form of surface floating equipment, such as ships, boats, motor boats, etc., do not meet the requirements of environmental cleanliness as a result of their inherent emissions of fuel combustion products for their engines. At the same time, unmanned aerial vehicles in the form of multicopters or quadcopters, also known as drones, are increasingly being used for monitoring water bodies, which are an alternative to the use of traditional floating vehicles. The article proposes a fundamentally new design of the technological equipment of a drone, which has a special purpose, namely for the collection of garbage on various bodies of water (rivers, lakes, ponds). The structural differences of the new drone make up the engineering aspect of solving this problem and provide the opportunity to collect garbage mainly in hard-to-reach places of water bodies, for example, such as areas overgrown with reeds, sedges, water walnut bushes and similar aquatic vegetation. The scientific aspect of solving this problem is the first proposed structural-parametric synthesis of the executive bodies of the garbage collection drone and similar devices. The main motivation of the conducted research is the creation of environmentally friendly equipment in the form of an unmanned aerial vehicle, which is designed to collect garbage on various reservoirs and especially in their hard-to-reach places. The provided research results can be applied to the implementation of large-scale programs of ecological protection of water resources, because they contribute to the specified programs in terms of increasing efficiency, safety and economic feasibility. *Key words:* drone platforms, quadcopter, garbage collection devices, water body monitoring.

Постановка проблеми. В нинішній час використання дронів для технічного обслуговування водойм стримується рядом важливих обмежень, насамперед відсутністю відповідного технологічного оснащення. Існуючі зразки дронів для моніторингу водойм та збору сміття, аналіз конструкцій яких надано нижче, позбавлені можливості виконання вказаних операцій у важкодоступних місцях водойм, що поросли різноманітною водною рослинністю. Крім того, вкрай бажано створити безпілотний літальний апарат, котрий був би спроможний не тільки до збору сміття, а ще й здійснював попереднє його сортування, що додатково буде сприяти відповідності екологічним вимогам до подібного облад-

нання. Також відсутність будь яких методик параметричного синтезу дронів стримує їх розвиток.

Актуальність дослідження. Використання традиційних плаваючих надводних засобів для технічного обслуговування водойм завдає негативного впливу навколишньому середовищу, оскільки таким засобам як судна, катери та моторні човни притаманний викид в атмосферу забруднювальних речовин в наслідок використання приводів із двигунами внутрішнього згорання.

Альтернативою використанню вказаних засобів із зазначеною метою є створення й експлуатація безпілотних літальних апаратів з електричним приводом пропелерів та дистанційним їх керуванням. Беручи

до уваги, що даний вид техніки повною мірою задовольняє вимогам екологічної чистоти, а його створення перебуває на початковій стадії й тільки у вигляді дослідних зразків, слід вважати викладені нижче дослідження актуальними.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Робота виконана відповідно до науково-технічної теми ФІОТ-ІТК/2023 «Синтез технологічних роботів довільної орієнтації» за Державним номером реєстрації № 01117U004912, що реалізується в межах досліджень в галузі робототехніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», зокрема на базі лабораторії робототехніки кафедри інформаційних систем та технологій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичні й експериментальні дослідження зі створення безпілотних літальних апаратів як різновиду дронів почалися відносно недавно – в останні два десятиліття. В дослідженнях [1, 2] розглянуто поняття дрону, його конструктивну будову, способи та організацію руху у просторі. Значний інтерес викликає використання дронів у сільському господарстві [3]. В цій роботі надана економіко-математична модель дрону та дедуктивний метод для формування висновків функціонування. Однак у вказаних роботах не надані конструктивні ознаки технологічного оснащення для виконання виробничих операцій. Конструкція та польотні характеристики систем на базі безпілотних літальних апаратів достатньо ретельно розглянуті в роботі [4], але без прив'язки до конкретних технологічних операцій. В роботі [5] запропоновано метод ідентифікації плаваючого в морі сміття на базі безпілотного літального апарату, що включає наступні етапи: зйомку та імпорт зображення, а також його фільтрацію. Таким чином визначення розмірів сміття дозволяє здійснити його ідентифікацію, але відсутність будь яких пристроїв для безпосереднього збору сміття обмежує технологічні можливості даного способу. На відміну від попереднього технічного розв'язку в системі збору речовин за допомогою дронів безпілотний літальний апарат [6] містить в собі контейнер, який дозволяє речовинам попадати в ємність для сміття та запобігає виходу речовин з неї. Такий пасивний збір сміття не гарантує надійність захвату різноманітного сміття.

До безпілотних дронів належать не тільки літальні апарати, а також і надводні машини для збору та очищення сміття з каналів і річок. Так, наприклад, машина, що отримала назву Trash Recovery Vehicle [7], складається з двох понтонних конструкцій, які допомагають направляти плаваючі водорості та сміття у визначене місце, де їх збирає рухома платформа та скидає в зону зберігання на борту. Інший надводний дрон відомий під назвою Artemis [8] призначений для збору сміття на великих площах водойм морів і океанів. Однак завдання використання даних

машин в заростях очерету чи осоки, тобто у важкодоступних місцях водойм, є дискусійним в сенсі збереження флори та фауни водойм.

Не зважаючи на те, що літальні безпілотні апарати значно поступаються надводним засобам вантажопідйомністю, наукова та інженерна спільнота віддають їм перевагу в наслідок їх мобільності. Наприклад, безпілотний літальний апарат для прибирання сміття [9] містить механічну руку із електромеханічним захватом, ємність у вигляді мішка для збору сміття, що покращує технологічні можливості цього апарату, але водночас не дозволяє здійснювати попереднє сортування сміття. Так званий, реконфігураційний (в сенсі здатності змінювати свою структуру) безпілотний літальний апарат [10] для очищення русла ріки від сміття містить гексагональні кільця для захисту пропелерів від зіткнення з зовнішніми перешкодами, що покращує його можливості для збору сміття у важкодоступних місцях водойм, але наявність тільки одного типу захватного пристрою при різноманітті сміття у водоймах, позбавляє вказаний літальний апарат можливості здійснення попереднього сортування сміття. Не аби який інтерес викликає інтелектуальна система моніторингу сміття на базі безпілотника [11] з використанням комп'ютерного зору, що дозволяє здійснювати ідентифікацію різновидів сміття. Таким чином, аналіз наведених технічних рішень вказує на необхідність створення дрону для збору сміття у важкодоступних місцях водойм з одночасною можливістю попереднього сортування різновидів сміття.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Не дивлячись на різноманіття технічних рішень дронів для збирання сміття, досі відсутній дрон, котрий був би здатний здійснювати виконання означеної операції у важкодоступних місцях водойм з одночасним сортуванням сміття під час його збору. Крім того, дотепер відсутня методика параметричного синтезу подібних дронів, яка б дозволила здійснювати їхнє проектування та моделювання.

Новизна. Інженерна новизна конструктивних рішень дрону для збору та сортування сміття на водоймах полягає в наявності роторного накопичувача з кількома ємностями для різного сміття та виконання захватних органів дрону у вигляді револьверної головки з різними захватами. Наукову новизну складає вперше запропонована методика структурно-параметричного синтезу подібних дронів.

Методологічне або загальнонаукове значення. Запропонована модифікована методика структурно-параметричного синтезу дронів для збору та сортування сміття. Пропонована модифікація полягає в відображенні не тільки наявності зв'язку критеріїв оптимізації з незалежними змінними в межах цільових функцій, але ще й зв'язок самих цільових функцій на різних рівнях такої ієрархічної технічної системи як дрон для збору сміття на водоймах.

Викладення основного матеріалу. Для полегшення розуміння нижче наданої методики структурно-параметричного синтезу дрону, спочатку розглянемо принципово нову конструкцію [12] та алгоритм функціонування дрону.

Конструкція дрону. На рис. 1 надано загальний вигляд безпілотного літального апарату, який містить квадрокоптер з чотирма пропелерами із приводом від електричних двигунів, опори для базування, відеокамеру для розпізнавання об'єктів сміття, захватні пристрої та роторний накопичувач для попереднього сортування сміття. На нижній частині корпусу дрону на консолях (рис. 2) встановлено, що найменше, три ємності для сортування сміття, постачених приводом періодичного обертання від електродвигуна через зубчасту передачу.



Рис. 1. Дрон для збору сміття на водоймах

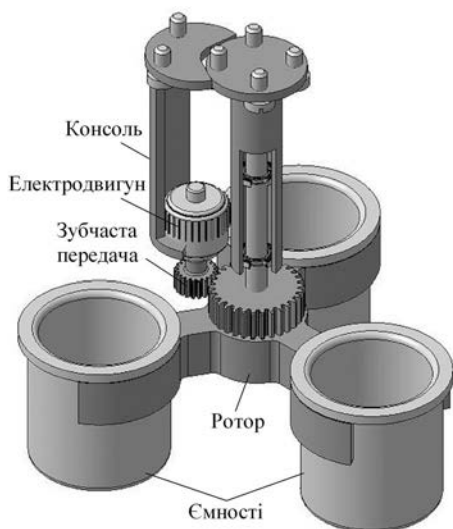


Рис. 2. Роторний накопичувач сміття (див. фрагмент «А» на рис. 1)

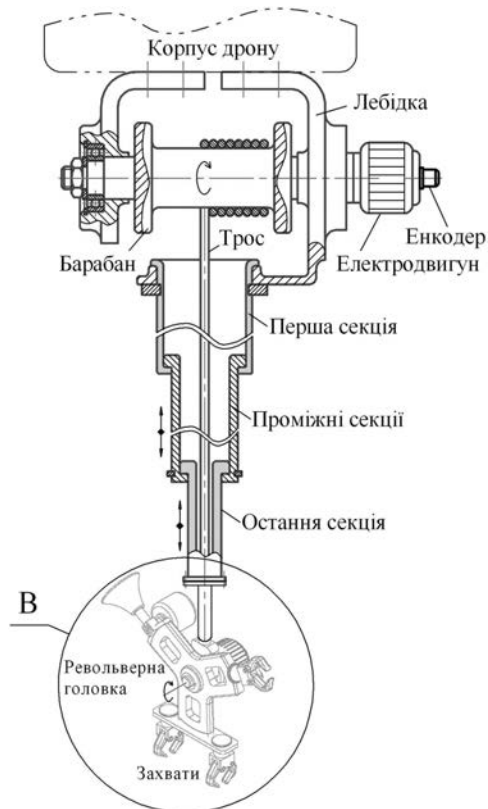


Рис. 3. Тросова лебідка дрону з телескопічною штангою (див. фрагмент «Б» на рис. 1)



Рис. 4. Револьверна головка із захватами для сміття (див. фрагмент «В» на рис. 3)

Власне ротор, що несе ємності, розміщено на опорах кочення, вмонтованих в одну із консолей. Також на нижній частині дрону встановлено лебідку (рис. 3) з приводом від електродвигуна з енкодером для обчислення кількості обертів барабану лебідки. На корпусі лебідки розміщена телескопічна штанга, яка виконана у вигляді коаксіальних трубчастих секцій, перша з яких нерухомо закріплена на корпусі лебідки, а остання з'єднана з револьверною головою

захватів для сміття та з тросом лебідки, який розміщений в середині секцій. Вказана револьверна головка містить вакуумний захват (рис. 4) для плоских форм сміття, двох пальцевий та чотирьох пальцевий захвати відповідно до співвідношень габаритів сміття, а саме: при $D \gg L$ та при $D \ll L$, де: D – максимальний габарит; L – довжина об'єкту сміття. Вказаний вакуумний захват оснащений балонним стислого повітря з ежектором, електромагнітними клапанами та датчиком вакууму. Таке рішення дозволяє створювати зону вакууму між присосом захвату і плоскою поверхню об'єкту сміття без такого вкрай важкого пристрою як компресор, хоча і потребує періодичної зарядки балону стислим повітрям із заданим тиском.

Дрон працює наступним чином. У початковому стані коаксіальні секції телескопічної штанги знаходяться у згорнутому стані між ємностями роторного накопичувача. По заданим оператором координатам дрон прилітає та точку збору сміття і після ідентифікації об'єкту сміття відеокамерою, за командою або оператора, або згідно програми керування дроном, включається електродвигун барабану лебідки, який розмотує трос і під дією сили ваги револьверної головки коаксіальні секції розсовуються на величину згідно заданої кількості сигналів енкодера електродвигуна лебідки. Далі залежно від результату ідентифікації об'єкту сміття револьверна головка під дією електродвигуна повертає один із захватів для контакту з об'єктом сміття. Якщо форма об'єкту сміття наближена до форми умовного «диску» чи умовного «циліндру» (співвідношення їх габаритів див. вище), то вмикається привод одного із захватів і об'єкт сміття ними захватується. У разі плоскої форми сміття за командою повертається револьверна головка, подаючи вакуумний захват до об'єкту сміття. Для спрацювання вакуумного захвату відкривається електромагнітний клапан і стисле повітря з балону витікає під тиском з ежектора, в результаті чого (згідно відомому ежекційному ефекту) між поверхнею плоского об'єкту сміття і порожниною вакуумного присосу створюється вакуум певної глибини (від 0,2 бар до 0,4 бар), що призводить до захвату сміття. Після чого, за сигналом вакуумного датчика, електромагнітні клапани закриваються. Після забору сміття тим чи іншим захватом вмикається реверс електродвигуна лебідки і на її барабан намотується трос, тим самим, згортаючи телескопічну штангу. Залежно від результату ідентифікації сміття, а точніше залежно від того, яким типом захвату об'єкт був захоплений, поворотом від електродвигуна роторного накопичувача одна з ємностей розташовується під револьверною головкою, тобто під відповідним захватом, яким об'єкт сміття був захоплений. Захват вмикається і сміття попадає у відповідну ємність. Таким чином здійснюється попереднє сортування сміття. Далі цикл повторюється. Запропонований дрон може бути реалізований в умовах промисло-

вого виробництва з використанням стандартного встаткування, сучасних матеріалів і технологій на будь-якому машинобудівному підприємстві.

Параметричний синтез дрону. Згідно класичного тлумачення параметричний синтез – це процес визначення оптимальних або квазіоптимальних параметрів елементів синтезованого об'єкта при задоволенні умовам технічного завдання. При параметричному синтезі структура повинна бути задана. На основі методу морфологічного конструювання попередньо виконано синтез необхідної структури, що виділена на морфологічному графові (рис. 5) стовщеними лініями зі стрілками й позначеннями рівнів структури, що відображають пристрої та відповідні до них цільові функції для оптимізації їх параметрів. Зв'язок цільових функцій на рис. 5 показано штриховими стрілками. Отже, на 1-му рівні параметричного синтезу для даної морфологічної комбінації цільова функція включає фактори, що визначають аеродинамічну підйомну силу F кожного гвинта квадрокоптера, а саме:

$$F = \pi \frac{D^2}{4} V \rho u \Rightarrow \max, \quad (1)$$

при обмеженні: $F \geq K(m_k + m_l + m_r)g$, де: $\pi D^2/4$ – площа поверхні, що відмітається несучим гвинтом; V – швидкість польоту, в м/сек.; ρ – щільність повітря; u – індуктивна швидкість струменя, що йде від гвинта, в м/сек.; K – коефіцієнт запасу; m_k, m_l, m_r – відповідно маса квадрокоптера, лебідки та револьверної головки із захватами; g – прискорення вільного падіння.

На 2-му рівні синтезу для морфологічної комбінації рис. 5 цільову функцію можна записати як функцію крутного моменту M_d двигуна тросової підйомної лебідки:

$$M_d = \frac{N_d}{\omega} i \Rightarrow \min, \quad (2)$$

при обмеженні $M_d \geq Rm, g$, де: N_d, ω – потужність і кутова швидкість двигуна лебідки, відповідно; i – передаточне відношення приводу лебідки; R – радіус барабану лебідки.

Для 3-го рівня синтезу морфологічної комбінації ознак дрону цільову функцію можна представити у вигляді формули сили ваги G револьверної головки із захватами:

$$G = m, g = (m_d + \sum_{k=1}^n m_k)g \Rightarrow \min, \quad k = 1, 2, 3 \dots n \quad (3)$$

де: m_d – маса приводу обертання револьверної головки; n – кількість захватів для сміття.

На 4-му рівні параметричного синтезу цільовими функціями можуть служити формули сил захватів для різного виду сміття. Наприклад, для вакуумного захвату сила P утримання плоского об'єкту сміття складає:

$$P = s_p K_s (p_a K_a - p_s) K \Rightarrow \max; \quad P \geq mg, \quad (4)$$

де s_p – площа, обмежена внутрішнім контуром присоса, м²; $s_p = \pi d^2 / 4$; d – діаметр зони вакуумування;

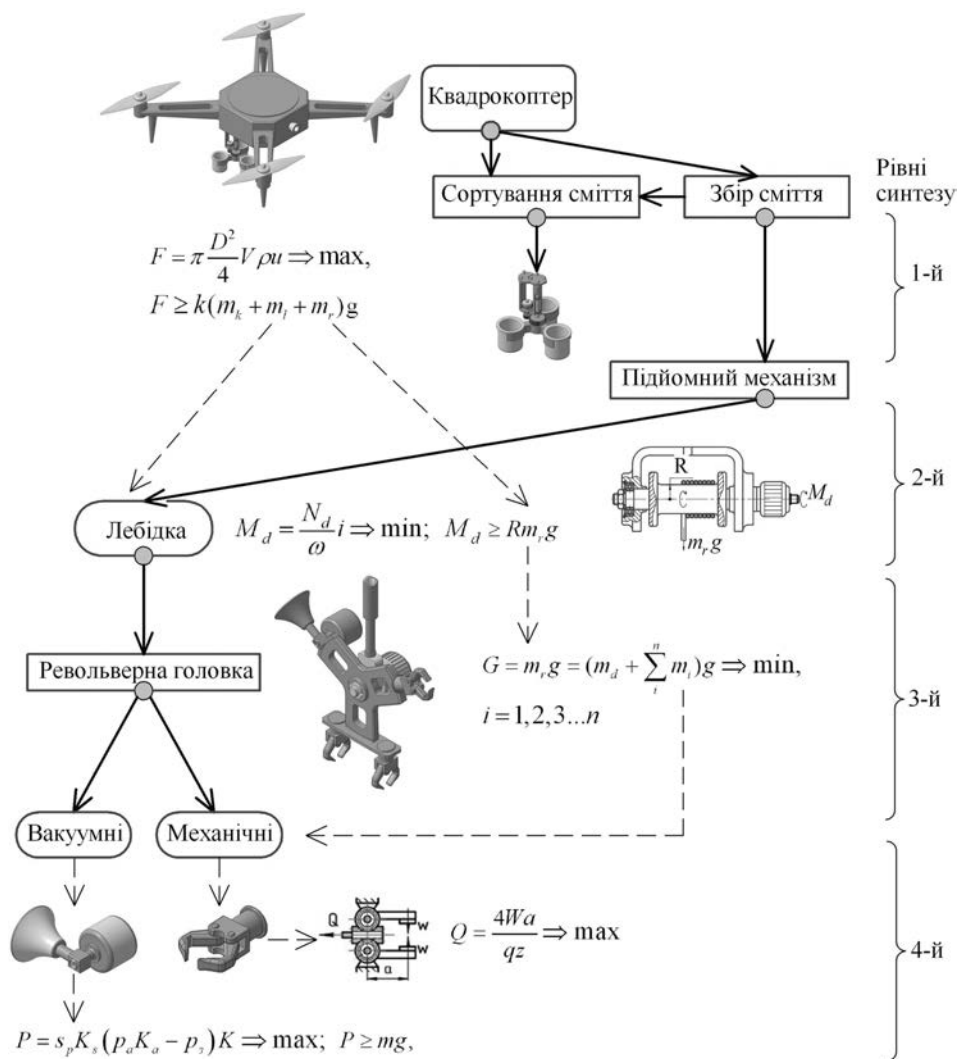


Рис. 5. Структурно-параметрична модель дрону для збору сміття

K_s – коефіцієнт зменшення площі присоса внаслідок деформації ущільнення ($K_s = 0,95 \dots 1$ для ущільнень пористих гум); $p_a = 101 \times 10^3$ (Па) – атмосферний тиск; $p_s = (40 \dots 60) \times 10^3$ (Па) – залишковий тиски всередині камери; K_a – коефіцієнт, яким ураховують зміни атмосферного тиску ($K_a = 0,9$); K – коефіцієнт, яким ураховують приплив повітря у місці контакту ущільнення камери (присоса) з поверхнею об’єкта ($K = 0,65 \dots 0,85$).

Для механічного захвату, наприклад, із зубчасто-рейковим передавальним механізмом сила Q приводу складає:

$$Q = \frac{4Wa}{qz} \Rightarrow \max, \quad (5)$$

де: W – сила затиску об’єкту сміття; a – виліт (довжина) пальців захвату; q – модуль зубчастої передачі; z – кількість зубів приводної шестерні.

Зазначені цільові функції параметричного синтезу можуть бути доповнені й змінені, тим більше, коли буде поставлено аналогічне завдання оптимізації для інших гілок морфологічного графа. На даному етапі

згідно запропонованій модифікації параметричного синтезу надзвичайно важливий параметричний взаємозв’язок цільових функцій оптимізації компонентів структури, як ієрархічної багаторівневої технічної системи, показаної на прикладі дрону для збору сміття. Створення подібних формалізованих моделей, тобто у взаємозв’язку цільових функцій на різних рівнях ієрархії системи, дозволить максимально підвищити їхню адекватність реальним умовам експлуатації безпілотних літальних апаратів, призначених для виконання інших технологічних операцій.

Головні висновки. Завдяки виконанню ємності для сміття у вигляді роторного накопичувача, який містить, що найменше, три різновиди ємностей, та виконанню захватного пристрою у вигляді револьверної головки, яка містить кілька видів захватів відповідно до різноманітності сміття, дана сукупність конструктивних ознак суттєво розширює технологічні можливості дрону для збору сміття за рахунок здійснення попереднього сортування сміття, що вкрай важливо не тільки для більш раціо-

нального використання ресурсу часу польоту дрона, зокрема, а й для підвищення екологічної чистоти процесу збору сміття, взагалі.

Виконання висувної телескопічної штанги, що з'єднує квадрокоптер із захватами, у вигляді кількох коаксіальних трубчастих секцій і постачання її приводом висування та згортання від лебідки з тросом, що розміщений всередині трубчастих секцій, дозволяє суттєво зменшити вагу телескопічної штанги за рахунок компактності її конструкції.

Модифікація параметричного синтезу, що полягає у взаємозв'язку цільових функцій на різних рівнях синтезу, надає можливість шляхом знаходження квазіоптимальних розв'язків, суттєво підвищити

ефективність проектування дронів для збору сміття на різноманітних водоймах, а отже, і їхньої майбутньої експлуатації.

Перспективи використання результатів дослідження. Оскільки створення безпілотних літальних апаратів для збору сміття знаходиться на початковій стадії, то вкрай важливо використання не тільки принципово нових конструкцій подібних дронів, а й модифікованих методик їх проектування. Такий підхід до синтезу дронів вказаного типу дозволить в кінцевому підсумку створювати нові засоби виробництва, що відповідають вимогам забезпечення екологічної чистоти обладнання для обслуговування різноманітних водойм.

Література

1. Макаров В.С. Новітні технології в комп'ютерно-технічній експертизі: дослідження дронів. URL: International Scientific Journal "Internauka" URL: <http://www.inter-nauka.com/> (дата звернення 10.01.2024 р.)
2. Azhar MA Hannan Bin Azhar, Thomas Edward Allen Barton, Tasmina Islam. Drone Forensic Analysis Using Open Source Tools. Journal of Digital Forensics, Security and Law, Volume 13 (1), pp. 12–17.
3. Пономаренко І.О., Тарасов В.А., Ігнатченко А.С. та інш. Економічна ефективність використання дронів у сільському господарстві. Вісник СумДУ. Серія «Економіка», № 4, 2021, с. 235-240.
4. Чемен С. Ю., Водічев В. А. Конструкція та польотні характеристики систем на базі безпілотних літальних апаратів. ISSN 2221-3805. Електротехнічні та комп'ютерні системи. 2021. № 34 (110), с. 1–9.
5. Li Jun, Xu Man, Zhao Xiangjun, Xu Zhongjian, Zhu Biliang. Patent China CN111079724 Int. Cl. G06K 9/00; B64C 39/02. Unmanned aerial vehicle-based sea floating garbage identification method. Filed: 2020.04.28. Date of Patent: 2020.06.30.
6. Andrew John Fox, Michelle Caruana, Laguna Hills. Patent US 10877477 Int. Cl. B64D 27/24. Drone-enabled substance collection system. Filed: Mar. 14, 2018. Date of Patent: Dec. 29, 2020.
7. Vyom Rajan Singh, Chandan Kumar. Drone to Collect and Clean Debris from Canals and Rivers. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) ISSN: 2278-0181, Vol. 9 Issue 07, July-2020, pp. 381–390.
8. Andrew C. Josselyn. A Consumer-based Aquatic Trash Collecting Drone: A Engineering Design Case Study (2021). Honors Projects. 117. URL: <https://digitalcommons.spu.edu/honorsprojects/117>
9. Liu Zhiqi, Wang Yuwei, Wang Yuanzhuo, et al. Unmanned aerial vehicle for clearing away garbage. Patent China CN215590999 Int. Cl. B64C 39/02. Filed: 2021.07.30. Date of Patent: 2022.01.21.
10. Gu Ke. Reconfigurable unmanned aerial vehicle applied to river channel garbage cleaning. Patent China CN115180148 Int. Cl. B64C 39/02. Filed: 2022.07.25. Date of Patent: 2022.10.14.
11. Parag Achaliya, Govind Bidgar, Hrutika Bhosale, et al. Drone based smart garbage monitoring system using computer vision. International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT). Volume 8, Issue 4 April 2020, pp. 1066–1071.
12. Ролік О.І., Поліщук М.М. Дрон для збору сміття у важкодоступних місцях водойм. Заявка на видачу патенту на винахід № а202305017, МПК В64С 39/02. «Український національний офіс інтелектуальної власності та інновацій» (УКРНОІВІ); заявл. 25.10.2023, 11 с.

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ УТВОРЕННЯ ВІДХОДІВ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ В УКРАЇНІ

Самойленко Н.М., Катенін В.Д.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

вул. Кирпичова, 2, 61002, м. Харків

natalia.samoilenko@khpi.edu.ua, vadym.katenin@mit.khpi.edu.ua

В Україні, де останні десять років сектор сонячної енергетики мав високі темпи зростання, особливо актуально постає питання щодо утворення та управління відходами сонячних панелей. Його важливість збільшується з урахуванням військових дій, які призводять до додаткових викликів у сфері охорони довкілля та обігу відходів. Попри таку складну ситуацію, яка призвела до пошкоджень деяких сонячних електростанцій та втрати контролю над іншими, Україна не припиняє розвитку сектору сонячної енергетики, активно працює над відновленням та розширенням існуючих потужностей, що вказує на збільшення відходів панелей у перспективі. Ефективне вирішення проблем, що постають, вимагає інноваційного підходу до зниження негативного впливу на довкілля, включаючи необхідність розробки і впровадження не тільки передових технологій, але й досконалого управління відходами.

Вивчення тенденцій у зростанні кількості сонячних панелей, як в Україні, так і в усьому світі, має вирішальне значення для глибокого розуміння потенціалу, який відкриває використання відновлюваних джерел енергії. Цей аналіз також важливий для виявлення пов'язаних з даним процесом викликів, включаючи ефективне прогнозування утворення відходів, що виникають внаслідок виведення сонячних панелей з експлуатації, та розробку стратегій їхнього вторинного використання або переробки. Відсутність спеціалізованих досліджень та моделей, які б охоплювали цю проблематику в контексті України, підкреслює актуальність даного дослідження. Пропонована математична модель, що базується на аналізі доступних даних та враховує специфіку українського контексту, дозволяє прогнозувати динаміку утворення відходів сонячних панелей. Модель використовує методи лінійної регресії для аналізу тенденцій зростання кількості сонячних панелей, їхнього терміну служби, а також потенційного впливу військових дій на збільшення обсягів відходів.

Результати дослідження мають значний практичний потенціал, оскільки можуть бути використані для розробки національних стратегій управління відходами сонячних панелей, що, в свою чергу, сприятиме сталому розвитку сонячної енергетики в Україні та зниженню негативного впливу на довкілля. *Ключові слова:* сонячні панелі, відходи, прогнозування, моделювання, управління.

Modeling the dynamics of solar panel waste formation in Ukraine. Samoilenko N., Katenin V.

In Ukraine, where the solar energy sector has experienced high growth rates over the last decade, the issue of the formation and management of solar panel waste is particularly pressing. Its importance is amplified considering the military actions that lead to additional challenges in environmental protection and waste management. Despite such a complex situation, which has led to damage to some solar power plants and loss of control over others, Ukraine continues to develop its solar energy sector, actively working on the restoration and expansion of existing capacities, indicating an increase in panel waste in the future. Effective resolution of these emerging problems requires an innovative approach to reducing environmental impact, including the need for the development and implementation of not only advanced technologies but also sophisticated waste management.

Studying the trends in the increase of solar panels, both in Ukraine and worldwide, is crucial for a deep understanding of the potential that renewable energy sources open up. This analysis is also important for identifying challenges related to this process, including effective forecasting of waste generation resulting from the decommissioning of solar panels, and developing strategies for their reuse or recycling. The lack of specialized studies and models that would cover this issue in the context of Ukraine underscores the relevance of this research. The proposed mathematical model, based on the analysis of available data and taking into account the specifics of the Ukrainian context, allows for predicting the dynamics of solar panel waste generation. The model uses linear regression methods to analyze trends in the growth of solar panels, their lifespan, and the potential impact of military actions on the increase in waste volumes.

The results of the study have significant practical potential, as they can be used to develop national strategies for managing solar panel waste, which, in turn, will contribute to the sustainable development of solar energy in Ukraine and reduce the negative impact on the environment. *Key words:* solar panels, waste, prediction, modeling, management.

Постановка проблеми. Протягом останнього десятиліття сектор сонячної енергетики в Україні зазнав значного росту. Завдяки стійкій тенденції України, щодо інвестицій у зелену енергетику, кількість та ефективність сонячних електростанцій значно збільшились, що сприяло розвитку відновлюваної енергетики в країні. Водночас, виникла суттєва екологічна проблема – управління відходами сонячних фотоелектричних панелей, яке повинно базува-

тися на прогнозах їх утворення, а моделювання кількості відходів від сонячних панелей та їх управління стає критично важливим для забезпечення сталого розвитку цієї індустрії.

Актуальність дослідження. Для ефективного планування процесів утилізації відходів сонячних панелей, ключовим є розуміння загального обсягу відходів сонячних фотоелектричних панелей (ВСФЕП) у країні, динаміки кількості панелей, які

вийдуть з експлуатації у найближчому майбутньому. Тому актуальним є здійснення прогнозів утворення та накопичення ВСФЕП для надання можливості своєчасної розробки та впровадження ефективних стратегій управління відходами.

Війна в Україні призвела до пошкодження та знищення інфраструктури, у т.ч. об'єктів сонячної енергетики, що спричинило не лише втрату енергоресурсів, а й збільшення кількості відходів, які як показують дослідження, здійснюють негативний вплив на довкілля [1]. Ця ситуація ускладнює процеси поводження з відходами панелей, вимагаючи негайного реагування та адаптації існуючих стратегій.

На урбанізованих територіях України з розвинутою інфраструктурою ефективно управління ВСФЕП набуває особливого значення. Створення господарчих структур для здійснення операцій поводження з відходами у міських умовах може сприяти не тільки зниженню екологічного навантаження та забезпечення вторинною ресурсоцінною сировиною промислової галузі, але й утворення нових робочих місць.

Зв'язок авторського доробку із важливими та практичними завданнями. Авторський доробок цієї роботи тісно пов'язаний із важливими та практичними завданнями у сфері управління відходами сонячних панелей. Це дослідження робить важливий крок у напрямку прогнозування обсягів ВСФЕП. Даний прогноз є базовим для розробки стратегій управління відходами, особливо у контексті обставин, які змінюються, у тому числі стосовно воєнних дій в Україні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз динаміки кількості сонячних панелей в Україні, а також у світі загалом, відіграє ключову роль у розумінні потенціалу відновлюваних джерел енергії та асоційованих з ними викликів, зокрема, управління відходами [2]. В останні десятиліття, з огляду на глобальні зусилля зі зменшення залежності від викопних джерел енергії та боротьби зі зміною клімату, значення сонячної енергетики значно зросло. Україна, зі своїм потенціалом для розвитку сонячної енергетики, не є винятком, що спонукає до аналізу тенденцій розвитку цього сектора та проблем, пов'язаних із утилізацією відпрацьованих панелей [3].

Сучасні дослідження в галузі сонячної енергетики акцентують увагу на швидкому зростанні кількості сонячних панелей. Цей процес спричинено не тільки удосконаленням технологій та зниженням вартості сонячних фотоелектричних панелей, але й збільшенням усвідомлення необхідності переходу на відновлювані джерела енергії [4].

Проте, разом із збільшенням кількості сонячних панелей, з'являється проблема управління відходами. Враховуючи потенційно шкідливі матеріали, які можуть містити сонячні панелі, такі як свинець, кадмій та інші токсичні речовини, правильне управління цими відходами стає критично важливим для

запобігання забрудненню навколишнього середовища [5].

Деякі дослідження фокусуються на моделюванні кількості сонячних панелей та асоційованих з ними відходів, щоб зрозуміти масштаб проблеми та розробити стратегії її розв'язання. Ці моделі враховують не тільки поточний стан встановлених потужностей, але й прогнозують майбутнє зростання сектора, що дозволяє оцінити майбутні потреби в утилізації або переробці відходів [6, 7].

Ініціативи з утилізації та переробки сонячних панелей починають набирати обертів у багатьох країнах, зокрема через розробку новітніх технологій переробки, які дозволяють ефективно вилучати та повторно використовувати цінні матеріали. Це не тільки сприяє зменшенню впливу на довкілля, але й відкриває нові можливості для створення циклічної економіки в секторі відновлюваних джерел енергії [8].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Стаття зосереджується на невирішених раніше аспектах проблеми управління відходами сонячних панелей та враховує особливості воєнних дій в Україні. Вона вносить новизну, акцентуючи увагу як на запланованих, так і непередбачуваних подіях, пов'язаних з утворенням ВСФЕП, та надає можливість застосовувати теоретико-практичний алгоритм підходу до розрахунку обсягів утворених відходів.

Новизна. Новизна даного дослідження пов'язується з розробкою математичної моделі прогнозування утворення відходів сонячних фотоелектричних панелей, що базується на динаміці утворення ВСФЕП та потужності сонячної енергетики в Україні. Запропонована модель надає можливість практичного планування обсягів виходу з експлуатації відпрацьованих панелей на промислових СЕС та інших енергетичних об'єктах, а також прогнозування їх утворення у системі управління відходами.

Методологічне або загальнонаукове значення. Роботу виконано з використанням сучасних методів обробки інформації та теоретичних методів щодо її збору, а також мови програмування Python. Для прогнозування була застосована модель, розроблена на базі лінійної регресії з використанням програмної бібліотеки машинного навчання для мови програмування Python – Scikit-learn.

Викладення основного матеріалу. Динаміка зростання потужності сонячної енергетики в Україні демонструє значну активність і розширення, що відображає глобальний тренд збільшення інтересу до відновлюваних джерел енергії. Незважаючи на військові дії, які спричинили пошкодження деяких СЕС і втрату контролю над ними, що знаходяться у зоні тимчасової окупації, Україна продовжує розвивати сектор сонячної енергетики. На рисунку 1 показано динаміку зміни потужності сонячної енергетики в Україні.

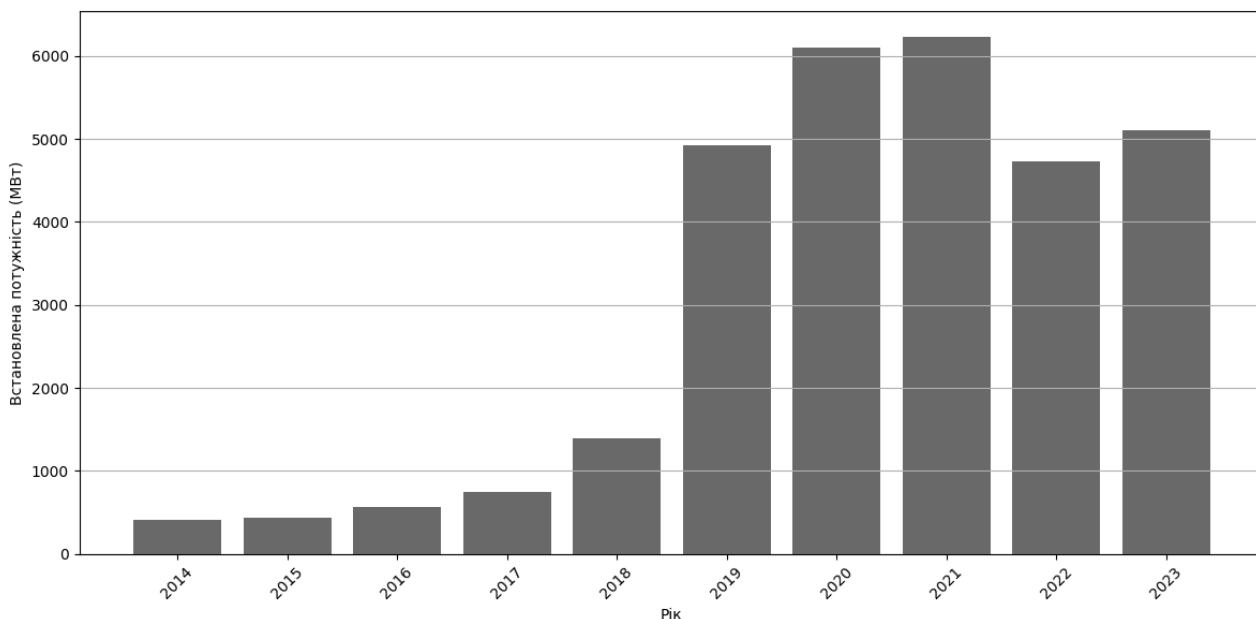


Рис. 1. Динаміка зміни потужності сонячної енергетики в Україні (2014–2023 рр.) (данні за 2022 та 2023 роки є орієнтовними) [3, 9]

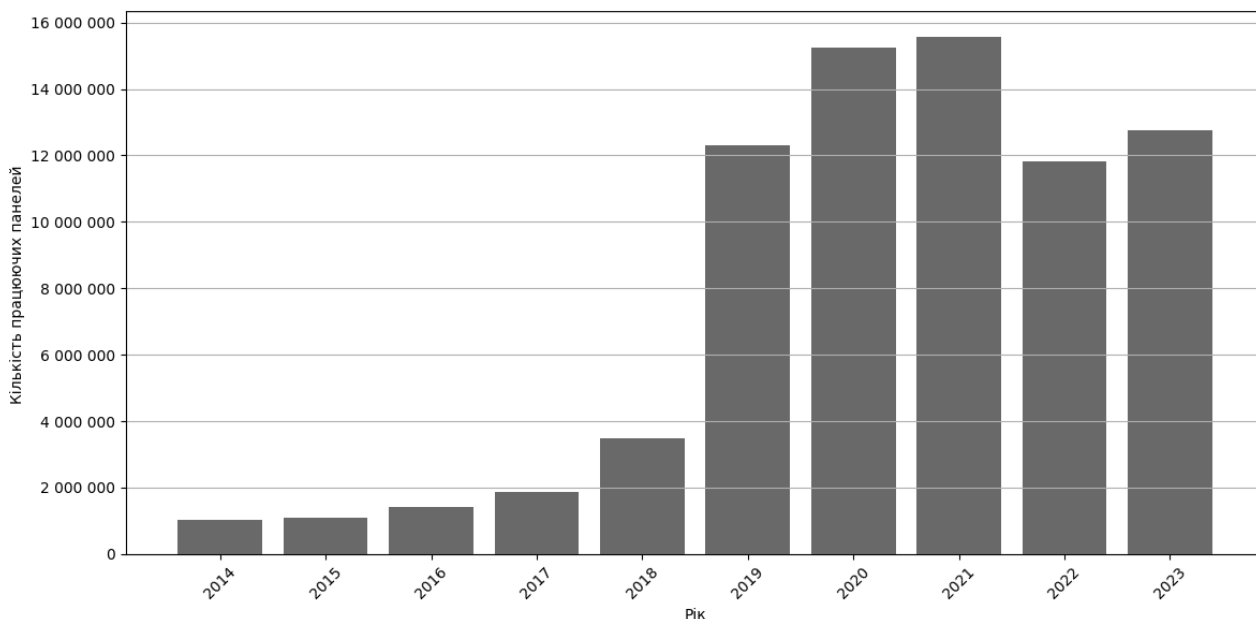


Рис. 2. Обсяги сонячних панелей, що експлуатувались в Україні у період з 2014 до 2023 рр.

Для побудови ефективної стратегії управління ВСФЕП важливо мати точні дані щодо обсягів панелей, які виходять з ладу або досягають кінця свого життєвого циклу. Аналіз ринку сонячних панелей дозволяє прийняти, що середня потужність однієї сонячної панелі може становити 400 Вт/год [10]. Тоді кількість працюючих сонячних панелей в Україні з певною долею припущення може бути визначена за формулою:

$$n = \frac{P_{заг}}{P_{пан}} \tag{1}$$

де n – кількість панелей;
 $P_{заг}$ – загальна потужність сонячної генерації;
 $P_{пан}$ – потужність однієї сонячної панелі.

Обсяги сонячних панелей, що експлуатувались в Україні з 2014 по 2023 рр., визначені за формулою (1), представлені на рисунку 2.

Ефективне управління відходами вимагає не лише знання поточної кількості сонячних панелей, а й розуміння майбутніх тенденцій їх обсягів. Прогнозування кількості сонячних панелей, які вий-

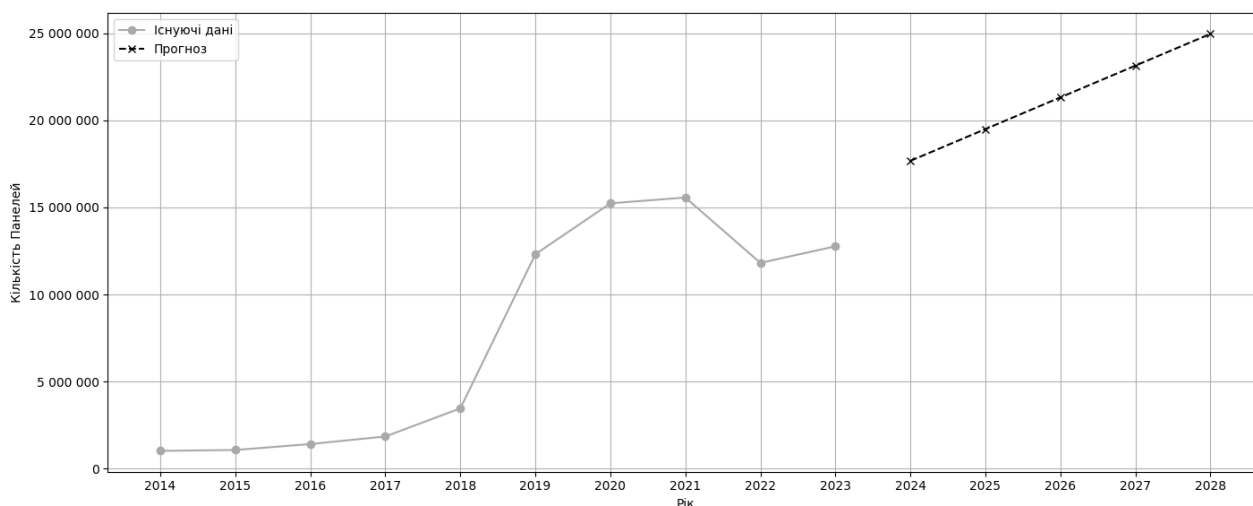


Рис. 3. Прогноз кількості сонячних панелей в Україні (2024–2028 рр.)

дуть з експлуатації протягом наступних 5 років, було здійснено за допомогою Python. Аналіз базується на даних про річні обсяги сонячних панелей з 2010 по 2023 рік. В основі моделі лежить лінійна регресія, де рік виступає як незалежна змінна, а кількість сонячних панелей – як залежна. Оптимальне лінійне співвідношення між цими змінними було встановлено на основі "навчання" моделі з використанням доступних даних. Прогнозні дані щодо обсягів сонячних панелей представлено на рисунку 3.

Зважаючи, на все більшу актуальність сонячної енергетики, можна бути впевненими у постійній тенденції збільшення кількості панелей. Водночас наведений прогноз не враховує зовнішні чинники, які можуть сформуватись у технологічних підходах виготовлення панелей, а також на ринку праці та вплинути на функціонування сонячної енергетики.

Приведені прогнозні дані повинні бути доповненими обсягами сонячних панелей, що перейшли у стан відходів в результаті військових дій. На сьогодні немає точних даних, щодо кількості пошкоджених сонячних панелей, але за різними прогнозами, можна припустити, що через військові дії у 2022–2023 роках було пошкоджено до 20% усіх сонячних панелей [9, 11].

Таким чином, приблизну кількість пошкоджених панелей можна підрахувати таким чином:

$$n_{п.л.} = n_{2021} * 0.2 = 15567500 * 0.2 = 3113500 \quad (2)$$

де $n_{п.л.}$ – кількість пошкоджених панелей;

n_{2021} – кількість працюючих панелей у 2021 році.

Зважаючи на те, що середній строк експлуатації сонячних панелей становить 20–25 років, перші панелі за цим показником мають почати виводити з експлуатації тільки у 2030 році. Водночас такі чинники, як екстремальні погодні умови, неправильний монтаж і обслуговування, виробничі дефекти, погіршення

ефективності, корозія або пошкодження від вологи та технологічний прогрес (панелі замінюють раніше терміну через появу більш ефективних або дешевших альтернатив) можуть призвести до виведення панелей з експлуатації раніше, ніж через 20 років.

Враховуючи високу надійність сонячних панелей, можливо припустити, що імовірність їхнього дострокового виведення з експлуатації складає 0.5–2%.

Кількість панелей, що були достроково виведені з експлуатації через зазначені чинники становить:

$$n_{вивед} = n_{кумулят} \times R \quad (3)$$

де $n_{вивед}$ – кількість панелей, виведених з експлуатації у даному році;

$n_{кумулят}$ – кумулятивна кількість панелей до цього року; R – річний відсоток виведення панелей з експлуатації.

На рисунку 4 показана графічна залежність кількості виведених з експлуатації панелей в залежності від року.

Таким чином, до 2029 року (рисунок 5) прогнозна кількість панелей, що буде виведена з експлуатації через погодні та людські чинники може скласти 3 млн. Додавши панелі, що було виведено з експлуатації через військові дії (біля 3 млн), можливо стверджувати що до кінця цього десятиліття кількість сонячних панелей, що потребують утилізації в Україні, може перевищити 6 млн одиниць.

Головні висновки. З урахуванням передбачуваного значного збільшення обсягу відпрацьованих сонячних панелей Україна стоїть перед необхідністю розширення та модернізації своєї інфраструктури для ефективного управління відходами. Ефективні програми переробки, що мінімізують екологічний вплив та сприяють відновленню цінних матеріалів, стають ключовими для забезпечення сталого розвитку. Також необхідно підтримувати дослідження та розробку інноваційних

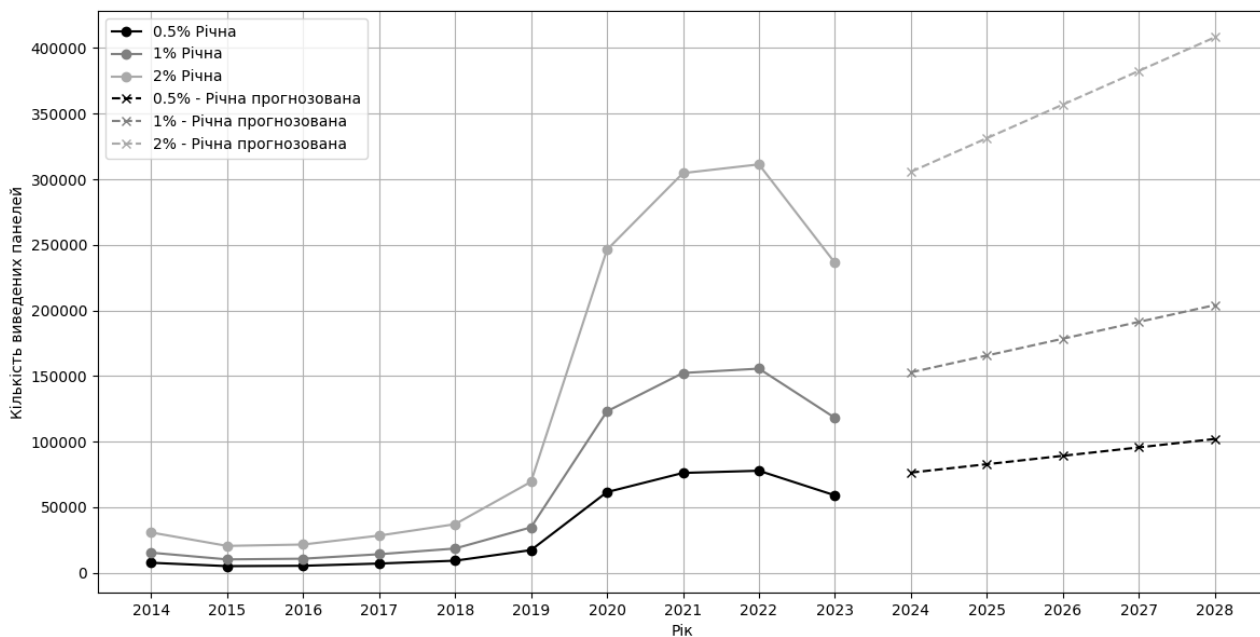


Рис. 4. Річна експлуатаційна та річна прогнозована кількість виведених з експлуатації панелей у відсотках від працюючих панелей (0,5%, 1% та 2%)

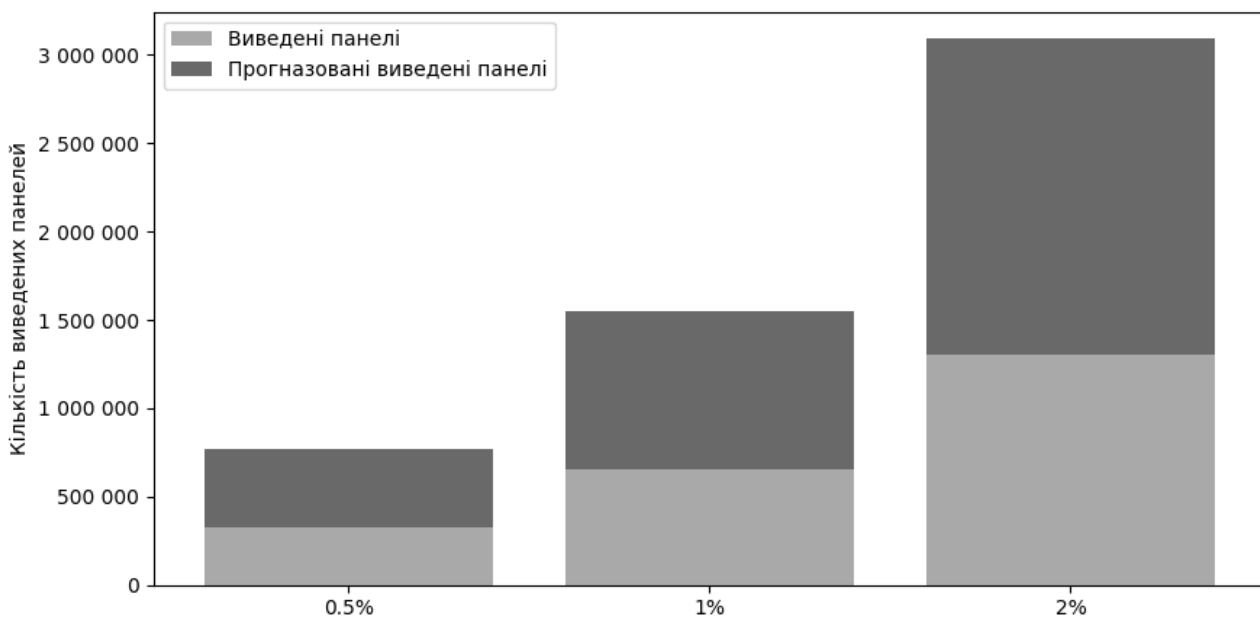


Рис. 5. Сумарна річна експлуатаційна та річна прогнозована кількість виведених з експлуатації панелей (2014–2028 рр.)

технологій, які відкриють нові можливості для більш стійкого управління відходами. Враховуючи масштаби викликів, перед Україною відкриваються широкі перспективи для інвестицій в інфраструктуру, інновації та міжсекторальну співпрацю, що спрямовані на ефективне вирішення завдань управління ВСФЕП.

Перспективи використання результатів дослідження. Проведені дослідження надають дані, що

можуть бути використані при розробці стратегій управління ВСФЕП та встановлення ефективних механізмів поводження з ними, включаючи утилізацію на промисловій основі.

Дослідження виконано у межах науково-дослідної теми НТУ «ХПІ» «Розробка наукових основ сталого управління та утилізації твердих відходів», ДР 0124U001841.

Література

1. Самойленко Н.М., Корогодська А.М., Катенін В.Д. Дослідження впливу відходів сонячних фотоелектричних панелей на ґрунт. Екологічні науки : науково-практичний журнал 2023. № 5(50). С. 25–29. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eso.5-50.4>
2. International Energy Agency. Snapshot of Global PV Markets – 2022. URL: https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2022/04/IEA_PVPS_Snapshot_2022-vF.pdf (дата звернення: 24.02.2024).
3. Інформація щодо потужності та обсягів виробництва електроенергії об'єктами відновлюваної електроенергетики, яким встановлено «зелений» тариф (станом на 01.04.2020). URL: https://sace.gov.ua/sites/default/files/1_kv_2020_VDE.pdf (дата звернення: 18.02.2024).
4. Oteng D., Zuo J., Sharifi E. Environmental emissions influencing solar photovoltaic waste management in Australia: An optimised system network of waste collection facilities. *Journal of Environmental Management*, Volume 314, 2022. DOI: 10.1016/j.jenvman. 2022.
5. Kumar N. M., Chopra S. S., Rajput P. Life cycle assessment and environmental impacts of solar PV systems. Academic Press, 2020, Pages 391-411. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819610-6.00012-0>.
6. Romel M., Kabir G., Ng, K.T.W. Prediction of photovoltaic waste generation in Canada using regression-based model. *Environ Sci Pollut Res* 31, Pages 8650–8665, 2024. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-31628-9>
7. Acharya A., Verma A. R., Bolia N. B. Effective collection of end-of-life solar panels through an incentive-based model. *Solar Energy*, Volume 268, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.112215>.
8. Chowdhury M.S., Rahman K.S., Chowdhury T., Nuthammachot N., Techato K., Akhtaruzzaman M., Tiong S.K., Sopian K., Amin N. An overview of solar photovoltaic panels' end-of-life material recycling. *Energy Strategy Reviews*, Volume 27, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.100431>
9. Енергетична інфраструктура в Україні: чи помічниця їй зелена енергетика URL: <https://finance.ua/ua/goodtoknow/energetychna-infrastruktura-v-ukraini#:~:text=2020%2Dго%20-%20в%20першій%20п,електростанції%20та%20близько%20половини%20сонячних> (дата звернення: 18.02.2024)
10. Скільки енергії виробляє сонячна батарея? URL: <https://sun-energy.com.ua/articles/skilky-vyroblyaye-sonyachna-panel#:~:text=СЕРЕДНІ%20ПОТУЖНОСТІ%20ПАНЕЛЕЙ&text=Сонячні%20батареї%20з%2060%20комірками,сонячних%20батареїв%20С%20які%20виробляють%20електроенергію> (дата звернення: 18.02.2024)
11. Зруйнована війною галузь зеленої енергетики в Україні знаходиться на грані банкрутства. Що далі? URL: <https://ecolog-ua.com/news/zruynovana-viynouyu-galuz-zelenoyi-energetyky-v-ukrayini-znahodytsya-na-grani-bankrutstva-shcho> (дата звернення: 18.02.2024)

РЕЦИКЛІНГ – СУЧАСНИЙ ШЛЯХ УПРАВЛІННЯ І ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ

Сорочинська О.Л.¹, Лук'янова В.В.^{1,2}, Ничкалюк Г.В.¹

¹Державний університет інфраструктури та технологій
вул. Кирилівська 9, 04071, м. Київ

² Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища
Національної академії наук України»
пр. Палладіна, 34А, 03142, м. Київ
ellena06.84@ulr.net

Проблема утворення відходів сьогодні є глобальною проблемою і нагальним питанням державної політики для всього міжнародного співтовариства. Постійно зростаючі обсяги відходів та пов'язані з ними небезпеки мають значний вплив на глобальне та місцеве довкілля, стан природних ресурсів, здоров'я населення, місцеву економіку та умови життя, а також все більше суперечать цілям сталого розвитку. Відходи – це складна суміш матеріалів, що характеризується різноманітним складом і містить велику кількість антропогенних забруднювачів хімічного та біологічного походження, які становлять потенційну небезпеку для здоров'я населення. В країні, з огляду на структуру господарського комплексу та домінування ресурсоемних комплексних технологій переробки відходів, поводження з відходами є не лише технічним питанням, а комплексною проблемою, яка охоплює всі важливі аспекти сталого розвитку: екологічний, економічний та соціальний. Враховуючи глобальний характер проблеми для суспільства, нашій країні необхідно сформувати соціально прийнятну систему поводження з відходами та розробити сучасну стратегію управління відходами.

Проблеми, пов'язані з накопиченням відходів, виникли ще на початку 20-го століття і, незважаючи на зусилля, спрямовані на поліпшення ситуації в цій сфері, їх актуальність продовжує зростати: в 1997 році в доповіді Генерального секретаря ООН Генеральній Асамблеї було підсумовано катастрофічну ситуацію із забрудненням навколишнього середовища і, що особливо важливо, було зазначено, що саме за останні два десятиліття минулого століття кількість відходів в індустріально розвинених країнах потроїлася. Сьогодні у своїй господарській діяльності людина використовує близько 100000 небезпечних речовин, які не мають природних аналогів і вплив яких на живі організми та екосистеми не достатньо вивчений. Після використання ці речовини створюють ризик забруднення навколишнього середовища на кожному етапі утилізації відходів. Щороку ця кількість збільшується на 500–1000 нових видів речовин. Однією з головних причин такого погіршення ситуації є недалекоглядна модель виробництва та споживання, яка наразі є однаковою як у країнах з високим, так і з низьким рівнем економічного розвитку. На жаль, людська діяльність продукує велику кількість відходів, які не можуть розкладатися під дією самоочищення природних систем. Тому настав час для людства розглянути абсолютно новий підхід до споживання ресурсів та поводження з відходами. *Ключові слова:* поводження з відходами, рециклінг, циркуляційна економіка, утилізація.

Recycling is the modern way Waste management and treatment. Sorochynska O., Lukianova V., Nychkalyuk G.

The problem of waste generation today is a global problem and an urgent issue of state policy for the entire international community. Ever-increasing amounts of waste and associated hazards have significant impacts on the global and local environment, the state of natural resources, public health, local economies and living conditions, and are increasingly at odds with the goals of sustainable development. Waste is a complex mixture of materials, characterized by a diverse composition and containing a large number of anthropogenic pollutants of chemical and biological origin, which pose a potential danger to the health of the population. In the country, given the structure of the economic complex and the dominance of resource-intensive complex waste processing technologies, waste management is not only a technical issue, but a complex problem that covers all important aspects of sustainable development: ecological, economic and social. Considering the global nature of the problem for society, our country needs to form a socially acceptable waste management system and develop a modern waste management strategy.

Problems related to the accumulation of waste arose at the beginning of the 20th century and, despite efforts aimed at improving the situation in this area, their relevance continues to grow: in 1997, the UN Secretary General's report to the General Assembly summarized the catastrophic situation with environmental pollution and, what is especially important, it was noted that in the last two decades of the last century, the amount of waste in industrialized countries has tripled. Today, in his economic activities, man uses about 100,000 hazardous substances that have no natural analogues and whose impact on living organisms and ecosystems is not sufficiently studied. After use, these substances pose a risk of environmental pollution at each stage of waste disposal. Every year, this number increases by 500–1000 new types of substances. One of the main reasons for this deterioration of the situation is the short-sighted model of production and consumption, which is currently the same in countries with high and low levels of economic development. Unfortunately, human activity produces a large amount of waste that cannot be decomposed under the action of self-cleaning natural systems. Therefore, it is time for humanity to consider a completely new approach to resource consumption and waste management. *Key words:* waste management, recycling, circular economy, utilization.

Постановка проблеми. Проблема утилізації відходів сьогодні одна з найактуальніших в усьому світі. Відходи промислового виробництва утворюються внаслідок виробничої діяльності людини у різних галузях промисловості, наприклад, при виконанні гірничих робіт, у металургійному виробництві, видо-

буванні нафти, в ядерній енергетиці, а також при виготовленні більшості матеріалів, таких як пестициди та гербіциди, хімічні захисні засоби та розчинники, фарби та барвники, вибухові речовини, гума та пластмаси, целюлоза і папір та багато іншого. В Україні відходи все ще здебільшого звозяться на звалища, які часто є несанкціонованими і не пристосованими для певних видів відходів, і залишаються там, займаючи все більшу і більшу площу земель, в той час як у всьому світі все більше звертаються до переробки відходів та використання їх як вторинної сировини. Цей процес називається рециклінгом.

Актуальність дослідження. Проблема управління і поводження з відходами в Україні наразі має велике значення. Наразі понад 90% відходів в Україні захоронюється на полігонах і лише 3,2% переробляється, що не відповідає європейським стандартам. У 2022 році в Україні було утворено понад 16 млн тонн відходів, що призводить до катастрофічних наслідків для довкілля, в тому числі для здоров'я населення. Окрім побутових відходів, з кожним роком зростає кількість відходів від підприємств та руйнувань, спричинених військовими діями.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідженням управління відходами вже давно займаються науковці всього світу, оскільки ця проблема стає надзвичайно гострою. Питання, пов'язані з утворенням відходів та методами їх утилізації, досліджуються як вітчизняним так і зарубіжними вченими, такими як Л. Щаслива, А. Пашков, Г. Спринська, Є. Михайлова, Г. Панчева, Г. Резніченко, В. Погребенник, І. Коваль, Е. Джумеля, М. Вадівала, М. Вагнагі [1, 2, 3, 4].

Виклад основного матеріалу. Входження України до міжнародної спільноти, впровадження ринкових методів управління як економікою, так і окремими підприємствами і організаціями вимагає знання та

дотримання сучасних єдиних норм і правил в галузі екологічної діяльності, впровадження екологічно орієнтованих методів управління. 9 липня 2023 року набув чинності новий Закон України «Про управління відходами», що кардинально змінює усю систему поводження з відходами [5]. На шляху прямування до Європейського союзу особливо важливо відповідати європейському законодавству, тому перед більшістю галузей України стоїть завдання інтегруватися та створити якісну систему управління на підприємствах що відповідатиме сучасним вимогам, зокрема і поводженню та утилізації відходів [6, 7].

Економіка замкненого циклу або циркулярна економіка – модель економічного розвитку, заснована на відновленні та раціональному споживанні ресурсів, альтернатива традиційній, лінійній, економіці. Характеризується створенням нових альтернативних економічних підходів, завданням яких є мінімізація негативного людського впливу на довкілля [8].

Економіка замкненого циклу покликана змінити класичну лінійну модель виробництва, концентруючись на продуктах і послугах, які мінімізують відходи та інші види забруднень. Даний тип економіки розглядається як частина Четвертої промислової революції, в результаті якої в цілому підвищиться раціональність використання ресурсів, в тому числі природних, економіка стане більш прозорою, передбачуваною, а її розвиток – швидким і системним.

Основні принципи економіки замкненого циклу засновані на відновленні ресурсів, переробці вторинної сировини, перехід від викопного палива до використання відновлюваних джерел енергії. Усе це створює так звану «систему замкненого циклу», яка мінімізує використання ресурсів, утворення відходів, забруднення довкілля та обсяг викидів вуглецю. Циркулярна економіка має на меті продовження термінів використання продуктів, обладнання та



Рис. 1. Схема лінійної та циркуляційної економіки

інфраструктури, таким чином покращуючи продуктивність цих ресурсів. Відходи матеріалів та енергії повинні стати сировиною для інших процесів: або компонентом, або відновленим ресурсом для іншого промислового процесу, або ж як відновлювальні ресурси для природи (наприклад, компост). Такий циркулярний підхід є набагато кращою альтернативою традиційній «лінійній економіці», в основі якого лежить примітивний принцип «бери, використовуй, викидай».

Також змінюється підхід до самого процесу управління відходами. А саме пропонується нова модель ієрархії управління відходами. Ієрархія управління відходами – це ранжування методів та операцій поводження з відходами відповідного до того, що є найкращим для навколишнього природного середовища.

Ієрархія управління відходами відповідає меті циркулярної економіки, визначаючи методи поводження з відходами від найбажанішого до найменш прийняттого. Існують ієрархії різних рівнів – від 3-ступневої до 7-ми та 10-ти ступеневих. Наприклад, повторне використання з метою запобігання утворенню відходів є найбільш бажаним методом, за ним слідує рециклінг (включаючи компостування), відновлення, в тому числі і відновлення енергії, при цьому видалення відходів на полігони повинно бути самим крайнім і найменш бажаним методом. Нижче на рисунку наведена європейська 5-ти ступенева ієрархія управління відходами, яка задекларована у «Національній стратегії управління відходами в Україні до 2030 року» (далі – Стратегія).

Відповідно до Стратегії, передбачається, що до 2030 року 50% відходів спрямовуватимуться на перероблення, а з 6 000 полігонів/звалищ буде лише 300 полігонів, що відповідатимуть європейським вимогам.

Законодавство ЄС про відходи також встановлює конкретні цілі щодо збільшення переробки певних

потоків відходів, таких як електронне обладнання, транспортні засоби, у яких закінчився термін експлуатації, акумулятори, відходи будівництва та демонтажу, побутові відходи та відходи пакування, а також зменшення кількості біорозкладних відходів, що розміщуються на полігонах.

У країнах, де охороні довкілля приділяють велику увагу, обсяги переробки вторинних матеріалів постійно збільшуються. Проте використання відходів для повторного виробництва обмежується їх нестабільними і гіршими порівняно з вихідними властивостями продукту. Кінцева продукція з їх використанням часто не відповідає естетичним та іншим критеріям. Для деяких видів продукції використання вторинної сировини взагалі заборонено діючими санітарними нормами. Наприклад, у багатьох країнах діє заборона на використання деяких вторинних полімерів для виробництва упаковки для їжі. Сам процес отримання готової продукції зі вторинної сировини є дуже складним. Повторне використання утилізованих матеріалів потребує особливого переналаштування параметрів технологічного процесу через те, що вторинний матеріал може змінювати свої фізичні і хімічні властивості, а також може містити інші включення. У деяких випадках до готової продукції пред'являються особливі механічні вимоги, яких просто неможливо дотриматись при використанні вторинної сировини. Тому для використання вторинної сировини необхідно досягти балансу між заданими властивостями кінцевого продукту і середніми характеристиками вторинного матеріалу. Основою для подібних розробок повинна стати ідея створення нових виробів зі вторинної сировини, а також часткової заміни первинних матеріалів вторинними у традиційних виробках.

В середньому у Європейському союзі переробляється близько 66% відходів пакування [9]. Відповідно до Директиви № 94/62/ЄС Європейського



Рис. 2. Ієрархія управління відходами

Парламенту і Ради про пакування та відходи пакування не пізніше 31 грудня 2030 року мінімум 70% від ваги всіх відходів пакування буде перероблено (55% пластику; 85% паперу та картону 30% деревини та ін.) [10]. Українська Національна стратегія управління відходами передбачає переробку 15% усіх відходів до 2023 року та 50% у 2030 році. Спеціальні цільові показники по рециклінгу пакування мають бути відображені у майбутньому законі про пакування (упаковку).

В Україні на сьогодні налічується приблизно 5470 полігонів та звалищ, з них 5,6% перевантажені, а 30% не відповідають вимогам. За оцінками експертів, європейським вимогам не відповідають більше 99% полігонів. Накопичення відходів на полігонах і звалищах призводить до забруднення атмосфери, ґрунтів, підземних вод та поверхневих водойм, впливає на функціонування екосистем, завдає шкоди сільському господарству, а викиди газу впливають на зміну клімату. Через недосконалу систему поводження з відходами у приватному секторі щорічно виявляється 26,6 тисяч несанкціонованих звалищ, площею 0,75 тисяч га. Недосконалість системи роздільного збирання побутових відходів призводить до втрати мільйонів тон ресурсоцінних матеріалів, що містяться у відходах [11].

У той час, як у країнах Європи мають намір припинити захоронювати тверді побутові відходи на полігонах через 5–7 років, в більшості населених пунктів України інтенсивно захоронюють їх на полігонах. Угода про асоціацію між Україною та Європейським Союзом зумовлює необхідність впровадження європейських стандартів у сфері пово-

дження з побутовими відходами. Відповідно до цієї Угоди, Україна поступово впроваджує роздільний збір побутових відходів й зменшує обсяги відходів, що вивозяться на полігони.

Пріоритетними завданнями екологічно безпечного поводження з твердими побутовими відходами є впровадження ефективної системи роздільного збору, що дозволить на 25–30% скоротити обсяг відходів, які щоденно вивозяться на полігони [12].

Одним із сучасних методів зменшення накопичування відходів на полігонах є рециклінг. Рециклінг твердих побутових відходів здатний розв’язати відразу декілька проблем, а саме: по-перше, зменшити кількість відходів, які забруднюють довкілля, по-друге, дати можливість знизити витрати первинної сировини і збільшити можливості компенсації затрат енергії.

Рециклінг – операція з відновлення, у результаті якої відходи переробляються у продукцію, матеріали або речовини для їх використання за первинною або іншою метою. Ця операція включає перероблення органічного матеріалу, але не включає виробництва енергії чи перетворення відходів у матеріали, що можуть бути використані як паливо або як матеріали для зворотного заповнення [5]. Рециклінг є ключовим елементом циркулярної економіки та одним із основних етапів поводження з відходами. Він лідирує серед найпростіших і найефективніших методів боротьби з відходами, що все більше засмічують планету. Є два основних варіанти рециклінгу, зокрема: використання відходів повторно за тим же призначенням, та повернення їх у виробничий цикл.

Для переробки за допомогою рециклінгу підходить все те, що створила людина і те, що не підля-

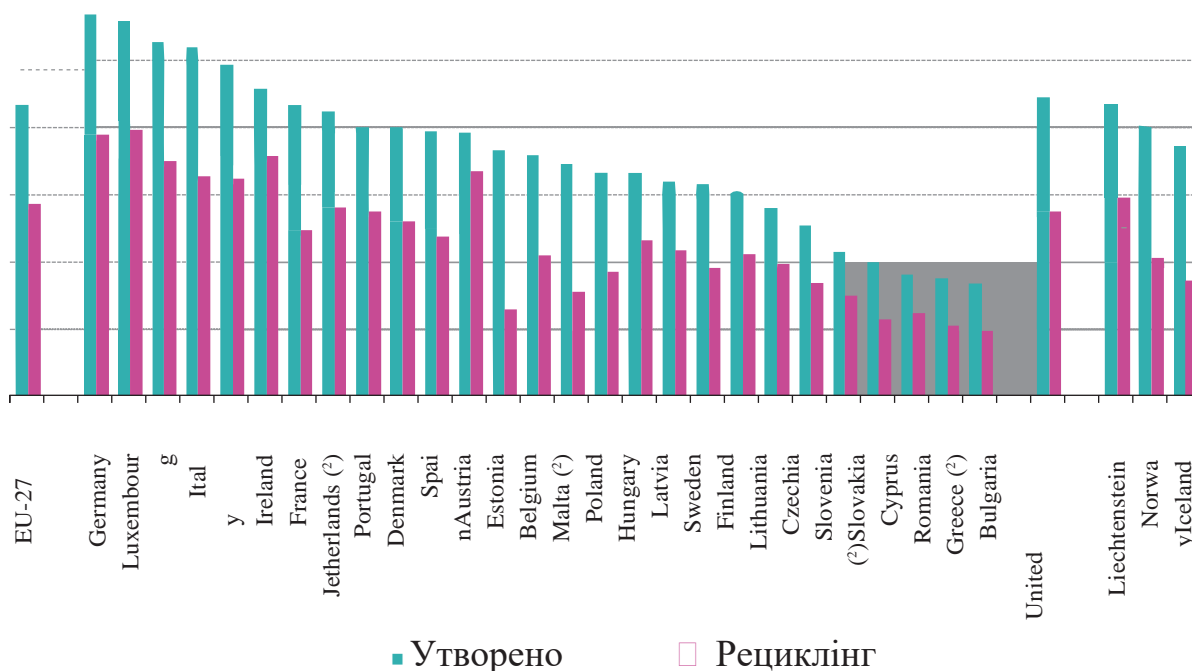


Рис. 3. Утворення та рециклінг відходів пакування у країнах Європи [9]

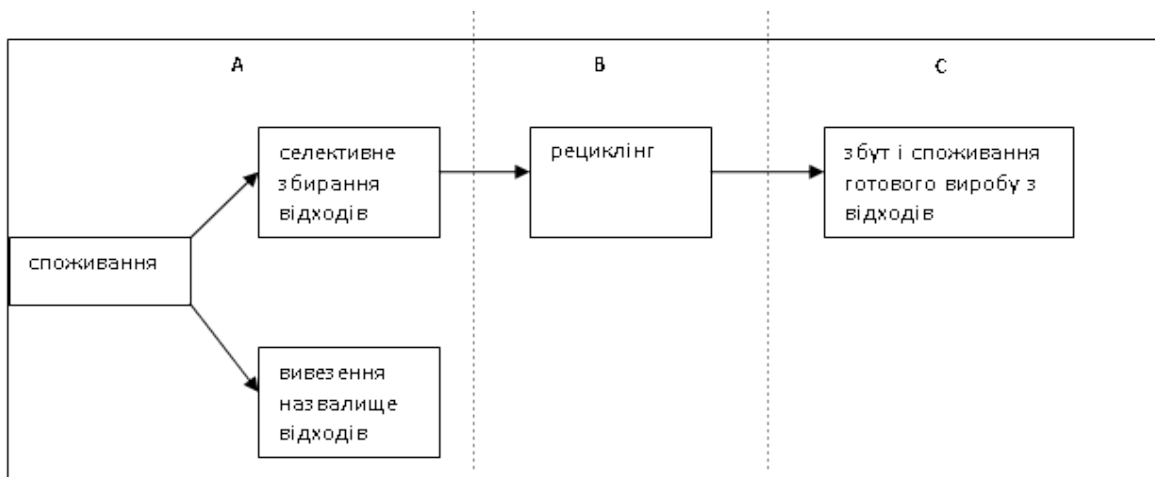


Рис. 4. Схема процесу рециклінгу [13]



Рис. 5. Механічний рециклінг

гає швидкому природному розкладанню. Насамперед мова йде про металеві банки, скляні тари, пластмасу. Однак це не все, що можна переробити за допомогою цієї системи. Інші види відходів зазвичай поділяють на кілька категорій: біологічні (деревина, папір, текстиль), технічні (металобрухт, бетон, цегла, скло, пластик, шини) та багато компонентні (комп'ютери, телефони, телевізори). Ще однією передумовою рециклінгу є сегрегація відходів. Кожен вид відходів потребує свого підходу до переробки. Розрізняють два основні різновиди рециклінгу: матеріальний (механічний) (рисунок 6) і сировинний (хімічний) (рисунок 7). Матеріальний (механічний) рециклінг – це процес, під час якого відходи перетворюються лише механічно, насамперед у результаті подрібнення, просіювання та змішування. Цей вид переробки використовує фізичні властивості речовини без істотного порушення його хімічної будови. Продукт рециклінгу можна використовувати для нового виробництва. Його якість залежить від хімічного складу і ступеня чистоти утилізованого матеріалу. При високій якості

продукту рециклінгу можна замінити новий матеріал продуктом рециркуляції для виготовлення таких виробів. Коли якість продукту рециклінгу є середнім, він може бути застосований тільки для виробів, які зазвичай виготовляють з інших матеріалів.

Сировинний (хімічний) рециклінг – це процес перетворення відходів, під час якого, використовуючи реактивність хімічної сполуки, здійснюються відповідні реакції, які провокують деградацію речовини до вихідних низькомолекулярних сполук. Це дозволяє використовувати продукт для виготовлення виробу за якістю створення первинного продукту [14].

Переробка відходів має як екологічні, так і економічні переваги. До екологічних переваг належать: економія місця на звалищах, оскільки відходи переробляються, а не захоронюються; зменшення шкідливих викидів в атмосферу, спричинених видобутком нових ресурсів і виробництвом сировини з нуля; економія енергії, оскільки не потрібно витратити гроші на транспортування сировини та збереження природних ресурсів.

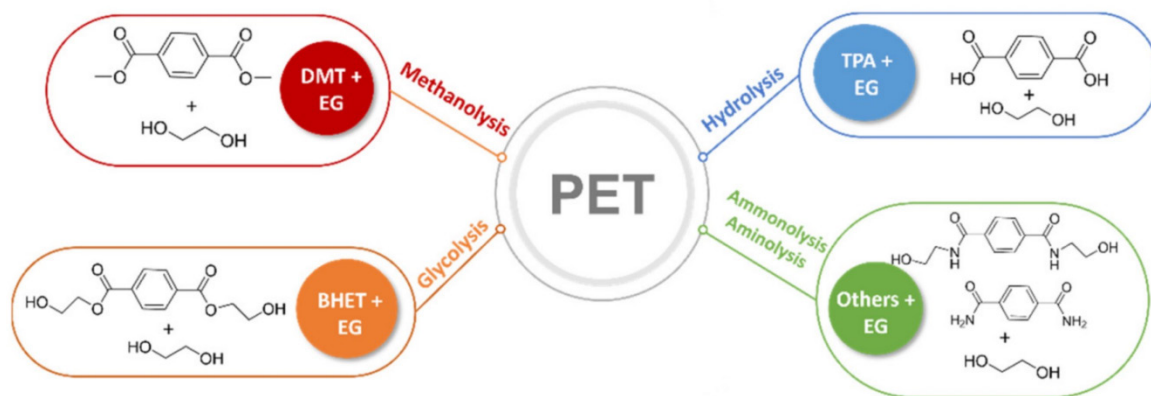


Рис. 6. Хімічний рециклінг

Переробка відходів передбачає виробництво певних видів товарів, а також надання певних видів послуг. Крім виробництва продукції з перероблених матеріалів, переробка відходів передбачає також виробництво електроенергії, газу, палива та тепла як продуктів у великих обсягах. Суть цього методу полягає в цілеспрямованій переробці побутових відходів за допомогою спеціального обладнання та технологій. Впровадження цього методу допоможе вирішити проблему побутового опалення в багатьох українських містах.

Варто визнати, що досі в регіонах України з низькою ефективністю формується інфраструктура, яка забезпечує збір, транспортування, переробку відходів. Основною операцією, яка завершує життєвий цикл відходів, залишається їх розміщення в місцях видалення відходів. Тому держава, зокрема й її регіони, повинні виступати в ролі інвестора для низькоєфективних, але необхідних для суспільства процесів рециклінгу твердих відходів, або створювати умови для їх успішної комерційної реалізації [15].

Зміна концептуального підходу до поводження з відходами, перехід від утилізації відходів до запо-

бігання, вирішення питання скорочення утворення відходів, сортування, переробки, впровадження використання відходів як матеріального та енергетичного ресурсу є ключем до досягнення позитивних результатів у вирішенні проблеми відходів в Україні.

Висновки. Впровадження рециклінгу позитивно вплине на економічні та екологічні показники. Крім того, створення сучасної системи управління відходами наблизить нашу країну до європейських стандартів у сфері поводження з відходами. Вимоги до екологічних стандартів постійно зростають, і якщо Україна не перебудує свою виробничу систему відповідно до нових вимог, наша країна не тільки не зможе реалізувати наміри європейської інтеграції, а й завдасть непоправної шкоди навколишньому середовищу. Тому вкрай необхідно й надалі продовжувати розробляти конкретні рекомендації для впровадження управління відходами та економічно обґрунтовувати необхідність використання рециклінгу для більшої кількості видів вторинної сировини.

Література

- Щаслива Л. А., Пашков А. П., Спринська Г. М. Передовий світовий еколого-економічний досвід утилізації твердих побутових відходів. *Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології*: зб. мат. Національного форуму, 22–23 лист. 2018 р. К.: Центр екологічної освіти та інформації, 2018. С. 15–17.
- Михайлова Є.О., Панчева Г.М., Резніченко Г.М. Ефективні механізми поводження з твердими побутовими відходами в Україні. *Комунальне господарство міст*. 2019. Т. 5. Вип. 151. С. 37–44. DOI 10.33042/2522-1809-2019-5-151-37-44
- 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. URL: <https://doi.org/10.15421/40290117>
- Vadivala M., Vagnani M. Integrated solid waste management based on 3R's. *International journal of advanced research in engineering, science and management (UJARESM)*, 2015. P. 1–6.
- Про управління відходами: Закон України від 20.06.2022 р. № 2320-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text>
- A strategic analysis of the prerequisites for the implementation of waste management at the regional level. / Iryna Kotsiuba, Olena Herasymchuk, Volodymyr Shamrai, Vitalina Lukianova, Yevheniia Anpilova, Oksana Rybak, Iulia Lefter. *Ecological Engineering and Environmental Technology* 2023. Vol. 24, Issue 1, 2023, P. 55-66 <https://doi.org/10.12912/27197050/154918>
- Коцюба І.Г., Лико С.М., Лук'янова В.В., Анпілова Є.С. Науково-теоретичне обґрунтування накопичення твердих побутових відходів Житомирщин. *Екологічна безпека та природокористування*. 2020. № 4 (36). С. 56–65. URL: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2020.4.56-65>
- Ruda, Maryana; Yaremchuk, Tetiana; Bortnikova, Maryana. Circular economy in Ukraine: adaptation of European experience. *Management and Entrepreneurship in Ukraine: the stages of formation and problems of development* (англ.). 2021. № 1. P. 212–222. doi:10.23939/smeu2021.01.212.

9. Packaging waste statistics. Eurostat: веб-сайт. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Packaging_waste_statistics#Recycling_and_recovery_targets_and_rates
10. Директиви 94/62/ЄС Європейського парламенту та Ради від 20 грудня 1994 р. Про пакування та відходи пакування. EUR-lex: веб-сайт. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A01994L0062-20180704>
11. Іщенко В.А. Способи поводження з твердими побутовими відходами у містах України. *Екологічна безпека та природокористування*. 2015. № 2. С. 21–30.
12. Кривенко С.В. Проблеми вдосконалення системи управління сферою поводження з твердими побутовими відходами: регіональний аспект. *Управління розвитком*. 2015. № 2. С. 12–19.
13. Вороніна Р.М. Логістика рециклінгу. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. 2008. № 623: Логістика. С. 28–33.
14. Авраменко О.В. Використання логістики в рециклінгу. *Сучасні проблеми управління підприємствами: теорія та практика*: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. Харків: ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2017. С. 153–156.
15. Використання експертних методів у системі управління сферою поводження з твердими побутовими відходами регіону / П. В. Писаренко та ін. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2019. № 4. С. 83–91. URL: <https://doi.org/10.31210/visnyk2019.04.10>.

CORRELATION OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT AND INTENSIFICATION OF WASTEWATER TREATMENT IN THE CONTEXT OF ENSURING ENVIRONMENTAL SAFETY OF MACHINE-BUILDING ENTERPRISES

Bosiuk A., Shestopalov O., Sacun A., Tykhomyrova T., Kulinich S.
National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”
Kirpychova str., 2, 61002, Kharkiv
Alona.Bosiuk@mit.khpi.edu.ua

The article examines the correlation between environmental management and the intensification of wastewater treatment, which is an important aspect of ensuring the environmental safety of a machine-building enterprise. Therefore, it is important to develop and implement an effective environmental management system, which includes pollution monitoring, planning measures to minimize emissions and discharges, and the implementation of environmentally friendly technologies.

The purpose of the work is to analyze and study the relationship between environmental management and the intensification of wastewater treatment and to develop recommendations for improving the efficiency of environmental management and wastewater treatment. The successful solution of these issues helped to develop an effective wastewater management strategy, increase the efficiency of wastewater treatment and reduce its costs, and also ensured the fulfillment of environmental standards and legal requirements, as a result of which significant results were achieved to improve environmental safety at the enterprise and to reduce the negative impact on the environment.

In the study of this correlation, there are several aspects that have scientific novelty: the use of new methods of intensification of wastewater treatment; studying the impact of environmental management on the efficiency of wastewater treatment and developing recommendations for improving the effectiveness of environmental management and wastewater treatment. The study in this field is important from both scientific and practical points of view. The implementation of environmental policy has a positive effect on the image of the enterprise, increases its competitiveness and ensures sustainable development. In addition, it promotes compliance with high standards of sustainable development, which is an important prerequisite for attracting new investments and market advantages.
Key words: Machine-Building Complex, Strategy, Sustainable Development, Environmental Policy, Environment, Pollutants, Effluents.

Взаємозв'язок екологічного менеджменту та інтенсифікації очистки стоків у контексті забезпечення екологічної безпеки машинобудівного підприємства. Босіук А.С., Шестопалов О.В., Сакун А.О., Тихомирова Т.С., Кулініч С.С.

У статті розглянуто питання взаємозв'язку між екологічним менеджментом та інтенсифікацією очистки стоків, яке є важливим аспектом забезпечення екологічної безпеки машинобудівного підприємства. Тому важливо розробити та впровадити ефективну систему екологічного менеджменту, яка містить у собі моніторинг за забрудненням, планування заходів з мінімізації викидів та скидів, впровадження екологічно чистих технологій.

Мета роботи полягає в аналізі та вивченні взаємозв'язку між екологічним менеджментом та інтенсифікацією очищення стоків та розробці рекомендацій щодо покращення ефективності екологічного менеджменту та очищення стоків, успішне вирішення цих питань допомогло розробити ефективну стратегію управління стічними водами, підвищити ефективність очищення стічних вод та зменшити витрати на їх очищення, а також забезпечило виконання екологічних нормативів та вимог законодавства, в результаті чого було досягнуто значних результатів для підвищення екологічної безпеки на підприємстві та зменшено негативний вплив на навколишнє середовище.

У вивченні цього взаємозв'язку є декілька аспектів, які мають наукову новизну: використання нових методів інтенсифікації очистки стоків; вивчення впливу екологічного менеджменту на ефективність очистки стоків та розробка рекомендацій щодо покращення ефективності екологічного менеджменту та очищення стоків. Дослідження даного напрямку важливе як з наукової, так і з практичної точки зору. Реалізація екологічної політики має позитивний вплив на імідж підприємства, збільшує його конкурентоспроможність та забезпечує сталий розвиток. Крім того, це сприяє відповідності високим стандартам сталого розвитку, що є важливою передумовою для приваблення нових інвестицій та ринкових переваг. *Ключові слова:* машинобудівний комплекс, стратегія, сталий розвиток, екологічна політика, навколишнє середовище, забруднюючі речовини, стоки.

Introduction. Environmental management is a systematic approach to the management of environmental issues at the enterprise, which involves the implementation of policies, planning, control and improvement of processes in order to reduce the impact on the environment. The study of the impact of environmental management on the

efficiency of sewage treatment and other indicators of the enterprise's environmental activity can help reveal new opportunities for reducing the impact on the environment and preserving natural resources.

With increasing environmental protection in various countries, businesses must maintain their financial

activities at a certain level of their environmental activity. Enterprises can reveal their environmental performance, create their own image and fulfill their social responsibilities by implementing an environmental accounting system [1]. In recent years, the green economy has attracted wide attention of the scientific community of the world as an important way of promoting environmental innovations and sustainable development of technologies [2].

The production of household waste and wastewater is an integral feature of human economic and household activity, and its management is a challenge for all societies and economies [3]. One of the most widespread environmental problems of economically developed countries is the pollution of reservoirs by sewage [4]. Rapid urbanization and industrialization have caused serious environmental pollution problems, which have created serious problems for ecosystems and economic development [5]. Analyzing strategic decisions regarding waste disposal and the use of renewable resources is critical to understanding how manufacturing firms can benefit from recycling process waste [6].

Literature Review. The analysis of existing approaches to the development of requirements for the quality of treated wastewater discharged into surface waters, with a special emphasis on the content of biogenic compounds, confirms the need for comprehensive regulation of water quality [7].

An important problem at many industrial enterprises, including the machine-building industry, is the generation of a large amount of wastewater contaminated with toxic substances, oil products, and heavy metals. The unpleasant smell of wastewater and its negative impact on aquatic ecosystems have even led to increased requirements for the treatment of industrial wastewater [8].

In turn, intensification of cleaning is a process of increasing the efficiency of wastewater treatment, which involves the use of new technologies and cleaning methods. This process is aimed at reducing the content of pollutants in water and ensuring compliance with standards for pollutants in the environment. Intensification of wastewater treatment can be implemented with the help of highly effective technologies that use not only mechanical, but also physico-chemical, biological and combined methods. Environmental management tools can include monitoring, planning and control of production processes, waste and pollution management, and implementation of green technologies. The use of the latest methods and technologies aimed at greening processes can help enterprises reduce the costs of energy supply and chemical reagents used in the process of wastewater treatment.

The issue of effective wastewater treatment is related to the problem of detoxification of water polluting substances, sludge dehydration, and disposal of wastewater sludge. Sludge is a semi-solid residual material formed as a result of sedimentation of suspended solids during wastewater treatment processes [9].

Sewage sludge can be treated as a waste to be disposed of, or as a resource to be put to good use [10].

A common scheme to clean sludges through an enterprise water circulation cycle is their clarification in radial thickeners or other sedimentation installations [11], which indicates the significant role of effective environmental management. Different methods for the intensification of a particle enlargement process are used in order to increase the deposition rate of suspended substances, for example by applying flocculants [11].

Current scientific literature describes techniques of using flocculants both as a separate reagent and in combination with inorganic polyelectrolytes [12]. Sometimes several flocculants are applied with different molecular weights [13] or a charge in the so-called «double flocculation process» [14]. However, there are still unresolved issues related to choosing the optimal quantity of a flocculant in the amount sufficient to clean a particular type of waste water.

The use of flocculants and methods of process intensification allows achieving a high rate of suspended solids deposition and is one of the important aspects of modern approaches to ecological wastewater treatment.

Research Methodology. Sewage sludge contains a significant amount of various organic and inorganic substances that can be used to obtain various products. For example, using sludge, you can get biogas, which can be used for energy production. It is also possible to extract various chemical substances from the sediment, which can be used in industry as raw materials for the production of various products. On the other hand, if the sludge is not properly disposed of, it can become a source of environmental pollution and negatively affect human health. There is a large gap between the volume of wastewater generated and the available treatment potential for domestic and industrial wastewater, which is mainly produced by small industrial plants [15]. Therefore, the use of sewage sludge as a resource can be beneficial and qualitatively change approaches to sewage treatment and sludge disposal.

Due to the fact that efficiency of aggregation due to flocculation depends on the concentration of the solid phase, it is necessary to constantly know the concentration of suspended solids in the cleaned sludge [16].

The presence of heavy metals in sewage sludge can cause soil pollution and have a negative effect on plant growth and soil microorganisms after application, depending on metal toxicity, concentration and bioavailability [17]. However, with the right approach to cleaning and using sludge as a resource, it can be used as a fertilizer for plants or for the production of bricks, asphalt and other construction materials. Therefore, it is important to pay due attention to wastewater treatment and the use of its resource potential in order to reduce the negative impact on the environment and use resources efficiently.

However, sludge with a high moisture content is often formed at enterprises, which is difficult to dehydrate,

requiring a lot of energy for dewatering by filtering or centrifugal twisting [18].

General recommendations for the use of flocculants are reduced to the selection of the type and concentration of flocculant for purification of a particular type of slime with a certain concentration and disperse composition [19].

Thus, the issue of increasing the environmental safety of industrial enterprises through the implementation of environmental management systems in the process of wastewater intensification is an urgent scientific and practical task.

Implementation of the producer's environmental responsibility cannot be achieved without proper management of production processes. Scientific management includes the entire process of applying the concept of environmental responsibility to production and enterprise management [20].

Improving environmental management and generally greening all production processes can significantly increase the efficiency of the enterprise. For example, it can contribute to reducing the costs of paying fines for environmental pollution, reducing fuel and electricity costs, increasing reputation and attractiveness for investors and consumers. In addition, ecological solutions can lead to savings of resources, which allows to reduce the costs of their purchase and processing. In general, the efficiency of the enterprise can increase qualitatively and quantitatively thanks to the greening of production processes, the implementation and popularization of environmental policy and the improvement of environmental management.

Results. During the analysis of the current environmental management system at one of the machine-building enterprises, a management strategy scheme was proposed, shown in fig. 1, which contains the following stages:

- analysis of the environmental situation at the enterprise, determination of the main sources of sewage pollution;
- development of an environmental management strategy with the aim of reducing discharges of harmful substances;
- determination of the optimal composition of equipment and technologies for the intensification of wastewater treatment;
- development and implementation of a wastewater quality monitoring program in order to determine the effectiveness of applied technologies and environmental management strategies;
- assessment of the effectiveness of measures implemented to increase the efficiency of wastewater treatment and reduce the negative impact on the environment;
- constant improvement of environmental management strategies and cleaning technologies in order to ensure the sustainable development of the machine-building enterprise.

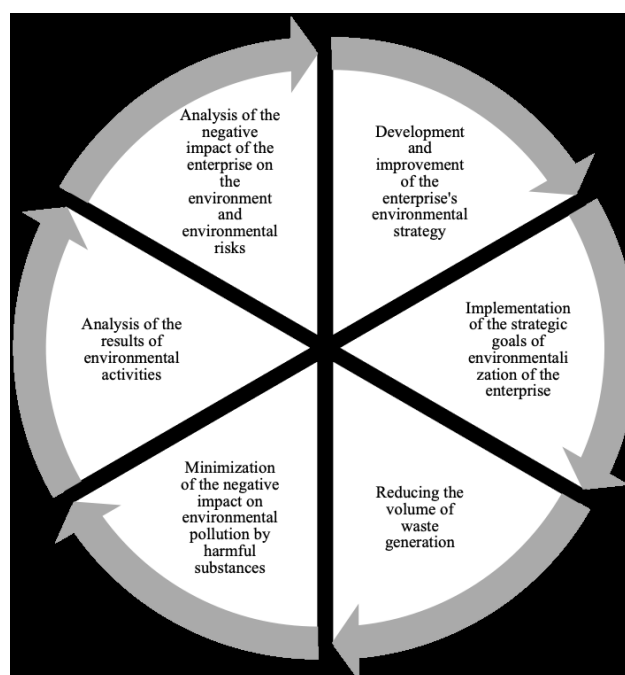


Fig. 1. Environmental responsibility management strategy

The proposed management strategy is a cyclical process, in which each stage is a prerequisite for the next, that is, one comes from the other. Starting with the development and improvement of the company's environmental strategy and the establishment of short-term strategic goals, the company carries out measures for greening, which leads to a reduction in the amount of waste and a minimization of the negative impact on the environment. The next stage is the analysis of the results of the environmental activities to assess how successfully the strategic goals have been achieved and to identify new problems and bottlenecks that need to be solved in the next cyclical stage. Then all stages are repeated again. Thus, each stage is the foundation for the next, and entire enterprises support this cycle.

Consider an example of the implementation developed in fig. 1 management strategy on the example of one of the machine-building enterprises. The prerequisite for the development of an environmental strategy is a comprehensive analysis of the enterprise's impact on the environment, an important element of which is the constant monitoring of the formation and entry into the environment of pollution in the form of solid, liquid and gaseous waste.

An important source of information for evaluating the efficiency of the water treatment system and identifying possible problems in the operation of this system are the results of laboratory analysis of wastewater samples of a machine-building enterprise. The results of laboratory analysis are an important component of environmental management, as they can be used to evaluate the effectiveness of measures taken to treat wastewater at the enterprise and provide an opportunity to identify problems and develop strategies for improving the environmental status of the enterprise.

In fig. 2 shows the schedule of the analysis of wastewater samples of a machine-building enterprise, where the parameters of wastewater quality of the main polluting substances at this production are indicated, such as: ammonium nitrogen, suspended solids, pH, oil products and chlorides, which indicate the presence of pollutants and their concentration in wastewater. Normative indicators for these substances are: ammonium nitrogen – 18.0 mg/dm³; suspended substances – 300 mg/dm³; hydrogen pH indicator – 6.5–9 mg/dm³; petroleum products – 5.0 mg/dm³; chlorides – 350 mg/dm³.

From the analysis of the graph, it can be concluded that the wastewater samples of the machine-building enterprise contain variable concentrations of pollutants in different sampling periods. Such concentration fluctuations are associated with various production factors, such as an increase or decrease in the productivity of workshops depending on the volume of orders, a change in the supplier of raw materials, and others. Yes, from fig. 2, it can be seen that the level of ammonium nitrogen exceeds the norm in July 2019 and December 2020, which indicates the low efficiency of purification from nitrogen compounds. Also, excessive levels of suspended solids were found in the samples, which may indicate ineffective operation of settling tanks and other treatment facilities. The level of petroleum products close to the permissible norm indicates the presence of petroleum products in wastewater, which could have entered them as a result of repair of equipment or improper storage of materials, and the presence of chlorides in wastewater indicates the possible excessive use of chlorinated substances in production.

The results of sampling and analysis of water samples at the enterprise serve as an integral part of the

environmental safety indicator and indicate the need to make changes to the program to achieve regulatory or improve existing results. Therefore, the results of the laboratory analysis of the samples indicate the need to improve the wastewater treatment system to reduce the content of pollutants and increase the efficiency of treatment.

The relationship between the results of laboratory analysis of wastewater samples and environmental management is that the results of the analysis allow to identify problems in the wastewater treatment system and potential ecological risks for the environment. This information can be used in the development of strategies and action plans to improve the environmental condition of the enterprise according to the scheme shown in Fig. 1.

The relationship between environmental management and environmental pollution attracts the attention of many scientists, and investments in environmental management have a significant impact on reducing the negative impact on the environment [21]. Effective environmental management is one of the potential keys to mitigating environmental pollution and preventing the occurrence of environmental risks. Therefore, it is extremely important to study the relationship between the effectiveness of environmental management of the enterprise, the sources of environmental hazards, the system of environmental protection measures and environmental pollution.

Therefore, we proposed to optimize the wastewater management strategy at the machine-building enterprise, which should include the following important tasks, the solution of which is necessary for the intensification of wastewater treatment systems:

1. Assessment of the level of sewage pollution and determination of the environmental hazard of their

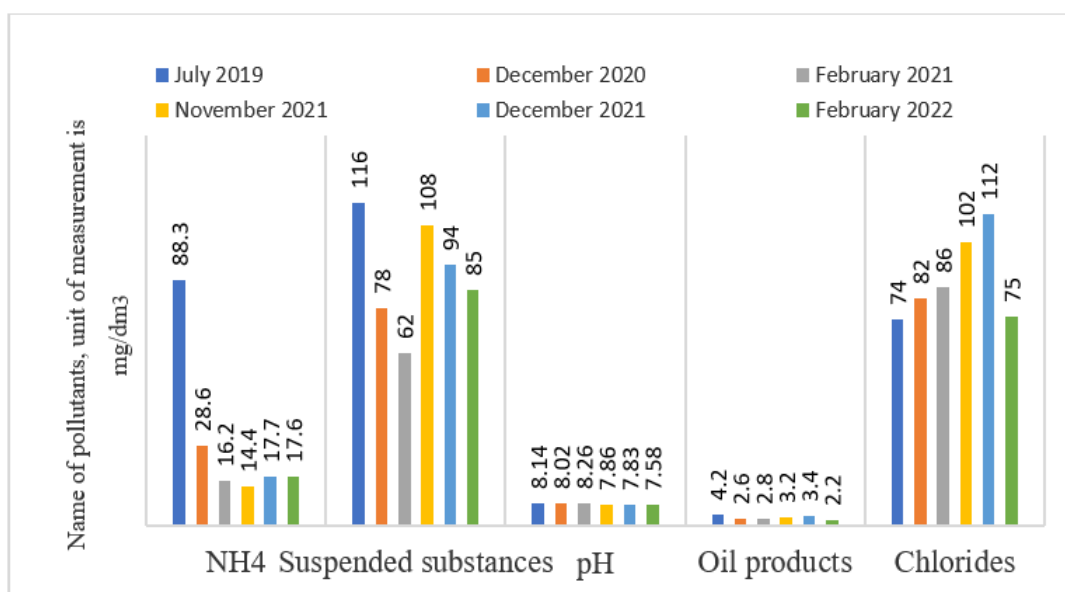


Fig. 2. Results of laboratory analysis of wastewater samples of the machine-building enterprise for 2019–2022

impact on the environment. To do this, you can use the methods of analyzing the chemical composition of water, biological tests and other modern methods.

2. Development of a wastewater quality monitoring system and determination of the efficiency of the applied technologies. Automated control and monitoring systems can be used for this.

3. Development of effective technological solutions for wastewater treatment. The choice of cleaning methods for each type of pollution should take into account the peculiarities of the composition of pollution from each production process, as well as fluctuations in the concentration of pollutants. Among the new methods, it is possible to single out methods of intensification of cleaning, for example, coagulation, flocculation, aggregate formation, electrochemical methods, ultrasonic cavitation treatment, ozonation and others.

4. Development of an improved environmental management program and its implementation at the enterprise. The program should include the determination of strategic long-term goals and current local tasks regarding the reduction of discharges, the use of environmentally friendly materials and technologies, and the implementation of a monitoring and control system.

Conclusion. Thus, it can be argued that environmental management and intensification of wastewater treatment are not separate processes, but interrelated and integrated.

The application of environmental management technologies can contribute to increasing the efficiency of the intensification of wastewater treatment, which in turn will lead to a decrease in the negative impact on the environment and the achievement of sustainable development of the enterprise.

So, the connection between environmental management and the intensification of wastewater treatment at enterprises of the machine-building complex is that environmental management should ensure the planning, control and optimization of production processes in order to prevent water pollution, and the intensification of wastewater treatment allows to reduce the negative impact of the enterprise on the environment. At the same time, insufficient efficiency of liquid waste treatment requires changes and adjustments to the environmental management system. The degree to which the machine-building complex will lend itself to the overall greening of production depends on many factors, including the availability of political support, the availability of the latest technologies, the availability of specialized contractors and the ability of workers to adapt to new requirements. However, given the growing attention to issues of ecology and sustainable development around the world, it can be expected that the machine-building complex will also be forced to adapt to these requirements.

References

1. Huang, W.-L., & Fu, Y.-K. (2019). The Study on the Relationship between the Environmental and Financial Performances of Corporates Which Have Adopting the System of Environmental Accounting in Taiwan. *E3S Web of Conferences*, 81, 01012. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20198101012>
2. Cheng, P., Wang, X., Choi, B., & Huan, X. (2023). Green Finance, International Technology Spillover and Green Technology Innovation: A New Perspective of Regional Innovation Capability. *Sustainability*, 15(2), 1112. <https://doi.org/10.3390/su15021112>
3. CIUŁA, J. (2022). Analysis of the Effectiveness of Wastewater Treatment in Activated Sludge Technology with Biomass Recirculation. *Architecture, Civil Engineering, Environment*, 15(2), 123–134. <https://doi.org/10.2478/acee-2022-0020>
4. Proskurnin, O., Malovanyy, M., Belokon, K., Rybalova, O., Ivashchenko, T., Tsapko, N., & Stepova, O. (2022). Establishing Environmental Standardization of Wastewater Composition Based on Environmental Risk Assessment. *Journal of Ecological Engineering*, 23(11), 139–146. <https://doi.org/10.12911/22998993/153602>
5. Niu, H., Zhao, X., Luo, Z., Gong, Y., & Zhang, X. (2022). Green credit and enterprise green operation: Based on the perspective of enterprise green transformation. *Frontiers in Psychology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1041798>
6. Magnusson, T., Andersson, H., & Ottosson, M. (2019). Industrial ecology and the boundaries of the manufacturing firm. *Journal of Industrial Ecology*, 23(5), 1211–1225. Portico. <https://doi.org/10.1111/jiec.12864>
7. Preisner, M., Neverova-Dziopak, E., & Kowalewski, Z. (2020). An Analytical Review of Different Approaches to Wastewater Discharge Standards with Particular Emphasis on Nutrients. *Environmental Management*, 66(4), 694–708. <https://doi.org/10.1007/s00267-020-01344-y>
8. Moufid, M., Tiebe, C., El Bari, N., Hamada Fakra, D. A., Bartholmai, M., & Bouchikhi, B. (2022). Pollution parameters evaluation of wastewater collected at different treatment stages from wastewater treatment plant based on E-nose and E-tongue systems combined with chemometric techniques. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 227, 104593. <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2022.104593>
9. Lamastra, L., Suci, N. A., & Trevisan, M. (2018). Sewage sludge for sustainable agriculture: contaminants' contents and potential use as fertilizer. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40538-018-0122-3>
10. Yesil, H., Molaey, R., Calli, B., & Tugtas, A. E. (2021). Removal and recovery of heavy metals from sewage sludge via three-stage integrated process. *Chemosphere*, 280, 130650. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130650>
11. Shestopalov, O., Briankin, O., Tseitlin, M., Raiko, V., & Hetta, O. (2019). Studying patterns in the flocculation of sludges from wet gas treatment in metallurgical production. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(10 (101)), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.181300>
12. Renault, F., Sancey, B., Badot, P.-M., & Crini, G. (2009). Chitosan for coagulation/flocculation processes – An eco-friendly approach. *European Polymer Journal*, 45(5), 1337–1348. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2008.12.027>
13. Cho, B.-U., Garnier, G., van de Ven, T. G. M., & Perrier, M. (2006). A bridging model for the effects of a dual component flocculation system on the strength of fiber contacts in flocs of pulp fibers: Implications for control of paper uniformity. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 287(1–3), 117–125. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2006.03.029>

14. Petzold, G., Schwarz, S., & Lunkwitz, K. (2003). Higher Efficiency in Particle Flocculation by Using Combinations of Oppositely Charged Polyelectrolytes. *Chemical Engineering & Technology*, 26(1), 48–53. <https://doi.org/10.1002/ceat.200390006>
15. Kumar, M. D., & Tortajada, C. (2020). Effectiveness of Wastewater Collection and Treatment Systems. *Assessing Wastewater Management in India*, 17–22. https://doi.org/10.1007/978-981-15-2396-0_4
16. Shestopalov, O., Briankin, O., Rykusova, N., Hetta, O., Raiko, V., & Tseitlin, M. (2020). OPTIMIZATION OF FLOCCULAR CLEANING AND DRAINAGE OF THIN DISPERSED SLUDGES. *EUREKA: Physics and Engineering*, 3, 75–86. LOCKSS. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001239>
17. Hamdi, H., Hechmi, S., Khelil, M. N., Zoghliami, I. R., Benzarti, S., Mokni-Tlili, S., Hassen, A., & Jedidi, N. (2019). Repetitive land application of urban sewage sludge: Effect of amendment rates and soil texture on fertility and degradation parameters. *CATENA*, 172, 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.08.015>
18. Fan, X., Xu, H., Wang, S., Shu, S., Lin, N., & Qian, Y. (2019). Geotechnical properties of sewage sludge solidified with Sulphoaluminate cement. *E3S Web of Conferences*, 81, 01015. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20198101015>
19. Shkop, A., Tseitlin, M., Shestopalov, O., & Raiko, V. (2017). A STUDY OF THE FLOCCULS STRENGTH OF POLYDISPERSE COAL SUSPENSIONS TO MECHANICAL INFLUENCES. *EUREKA: Physics and Engineering*, 1, 13–20. LOCKSS. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2017.00268>
20. Guo, W. (2019). Collaborative knowledge management for corporate ecological responsibility. *Data Technologies and Applications*, 53(3), 304–317. <https://doi.org/10.1108/dta-01-2019-0003>
21. Li, L., Shi, Y., Huang, Y., Xing, A., & Xue, H. (2022). The Effect of Governance on Industrial Wastewater Pollution in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(15), 9316. <https://doi.org/10.3390/ijerph19159316>

УДК 502.53

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.1.17>

ПЕРСПЕКТИВИ РЕКРЕАЦІЙНОЇ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ЗЕМЕЛЬ, ПОРУШЕНИХ ВНАСЛІДОК ВИДОБУТКУ ІЛЬМЕНІТУ

Давидова І.В., Шомко О.М.

Державний університет «Житомирська політехніка»
вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир
div@gmail.com, olya.shomko@gmail.com

Порушення земної поверхні внаслідок проведення видобування корисних копалин є важливим питанням сьогодення. Потреба у раціональному природокористуванні та необхідності збереженні природи для майбутніх поколінь обумовлюють необхідність розробки проектів рекультивациі відпрацьованих родовищ ще на стадії проектування виробництва та реалізації цих проектів після її завершення. Вибір способу та методів рекультивациі порушених територій значною мірою обумовлений видом корисної копалини, способом її видобутку, особливостями кліматичних та ґрунтових умов регіону. У статті проаналізовано проблеми та перспективи проведення рекультивацийних робіт на територіях порушених внаслідок видобутку ільменіту на Житомирському Поліссі. Авторами окреслено основні види порушень земної поверхні, які виникають на різних етапах проведення підготовчих та видобувних робіт. Охарактеризовано способи та методи проведення рекультивациі гірничих територій, які застосовуються на Житомирському Поліссі. Визначено особливості впливу на ґрунти та водні об'єкти видобутку ільменітової руди Іршанського родовища. З врахуванням специфічних умов, що сформувалися на територіях Житомирського Полісся внаслідок видобутку титанової руди, авторами рекомендовано проведення на цих територіях рекреаційної рекультивациі та створення паркових комплексів, що поєднують деревно-чагарникові види рослин, зелені території у вигляді газонів та клумб та штучні водойми. Обводнення водойм може здійснюватися природним шляхом, внаслідок заповнення кар'єрних виїмок підземними водами та атмосферними опадами. Для відновлення лісорослинного потенціалу рекультивованих територій доцільно застосовувати меліораційні заходи: проводити внесення мінеральних та органічних добрив, насадження азотфіксуючих рослин, додавання біоچارу до ґрунтового-родючого шару на стадії виположування територій. *Ключові слова:* ільменіт, рекультивациія, лісо рослинний потенціал ґрунту.

Prospects of recreation reconstruction of lands disturbed as a result of ilmenite mining. Davydova I., Shomko O.

The disturbance of the earth's surface due to the extraction of minerals is a significant issue today. The need for rational land use and the necessity of preserving nature for future generations necessitate the development of reclamation projects for exhausted sites, even at the stage of production planning and implementation of these projects after completion. The choice of methods for reclaiming disturbed territories is largely determined by the type of valuable mineral, the method of its extraction, and the climatic and soil conditions of the region. The article analyzes the problems and prospects of reclamation works in areas disturbed by ilmenite extraction in the Zhytomyr Polissia. The authors outline the main types of disturbances to the earth's surface that occur at various stages of preparatory and mining works. The methods and techniques of reclamation of mining territories applied in the Zhytomyr Polissia are characterized. The peculiarities of the impact on soils and water bodies of ilmenite ore extraction in the Irshansk deposit are determined. Considering the specific conditions that have emerged in the territories of the Zhytomyr Polissia due to the extraction of titanium ore, the authors recommend carrying out recreational reclamation and creating park complexes on these territories, combining woody-shrub species of plants, green areas in the form of lawns and flower beds, and artificial water bodies. Waterlogging of water bodies can occur naturally due to the filling of quarry pits with underground waters and atmospheric precipitation. To restore the forest vegetation potential of reclaimed territories, it is advisable to apply land improvement measures: mineral and organic fertilization, planting of nitrogen-fixing plants, adding biochar to the fertile soil layer at the stage of laying out territories. *Key words:* ilmenite, reclamation, forest plant potential.

Постановка проблеми. В умовах постійного економічного розвитку людство з кожним днем потребує все більшої кількості природних ресурсів, у тому числі і викопних. Видобуток корисних копалин відкритим, чи підземним способом неминує призводить до порушення земної поверхні, забруднення ґрунтів та водних об'єктів на території видобутку, знищення природних екосистем. Все це обумовлює жорстку необхідність у проведенні грамотних та науково обґрунтованих робіт з відновлення цих територій, направлених на повернення їм властивостей максимально наближених до природних. З цією метою, на всі гірничовидобувні підприємства України покладено зобов'язання провести рекультивацию порушених територій після відпрацювання

родовища корисних копалин. Вибір способу та методів проведення рекультивациі значною мірою обумовлений видом корисної копалини, способом її видобутку, особливостями кліматичних та ґрунтових умов регіону та вимагає індивідуального підходу до кожного об'єкту.

Актуальність дослідження. Житомирська область характеризується потужним розвитком гірничо-видобувної галузі і як наслідок саме ця галузь здійснює найбільший вплив на стан навколишнього середовища в регіоні. Грамотне проведення видобувних робіт, дотримання нормативів, впровадження кращих практик з питань захисту довкілля дозволяють мінімізувати вплив гірничих підприємств на стан атмосферного повітря, забруднення ґрунтів та

водних об'єктів на території провадження видобувної діяльності. Однак виключити порушення земної поверхні при розробці родовищ неможливо. Це обумовлює необхідність проведення робіт з відновлення територій після закінчення видобутку корисних копалин. Спосіб видобутку значною мірою впливає на стан територій та впливає на вибір напрямку рекультивації. Метою цього дослідження є вивчення доцільності застосування рекреаційної рекультивації земель порушених внаслідок видобутку ільменіту на Житомирському Поліссі.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Представлені результати дослідження є висновками із проведеної наукової роботи, що виконується в межах комплексних досліджень кафедри екології та природоохоронних технологій Державного університету «Житомирська політехніка».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Гірничовидобувна промисловість в Україні є найбільш землеємною галуззю. Видобування корисних копалин відкритим способом є більш вигідним з економічної точки зору. При цьому площа кар'єрів сягає значних розмірів. Окрім того, при відкритому видобуванні мінеральної сировини накопичуються значні об'єми розкривних порід та хвостів.

Рекультивації підлягають всі землі, які зазнали змін у структурі рельєфу, ґрунтовому покриві, материнських породах та породах, що їх підстилають, які відбулися внаслідок проведення гірничодобувних, гідротехнічних, геологорозвідувальних, будівельних та інших робіт [1].

Рекультивації територій порушених внаслідок видобування корисних копалин присвячена значна кількість наукових праць. Частина авторів зосередила свою увагу на правових аспектах регулювання рекультивації земель в Україні [2–3].

В наукових публікаціях розкриваються методи та шляхи біологічної рекультивації, які є більш типовими та доцільними для регіону досліджень. Так, Бубнова О.А. [4] розглянула стан проблеми порушених гірничими роботами сільськогосподарських земель, запропонувала спосіб рекультивації ґрунтів із відновленням їх природних властивостей.

Науковці Кудрик А. П., Дребот О. В., Пузняк О. М., Вишневський Ф. О. [5] проводили дослідження щодо розробки технологічних рішень з питань способів відновлення порушених територій регіону Полісся Житомирщини. Саврасих Л. Д. [6] вивчав екологічний стан територій рекультивованих земель в результаті проведення гірничих робіт з видобування бурого вугілля. Корбут М.Б. зосередила свою увагу на рекультивації територій, які використовувалися як звалища твердих побутових відходів [7].

Останнім часом значної популярності набувають дослідження присвячені застосуванню дистанційних методів моніторингу геоecологічного стану територій видобування корисних копалин [8–9].

У Житомирській області проводиться комплекс заходів по запобіганню деградації земель, відновлення їх продуктивності і господарської цінності [10].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Незважаючи на значну кількість наукових публікацій присвячених рекультивації територій порушених внаслідок видобування корисних копалин на Житомирському Поліссі, більшість з них висвітлюють результати досліджень ефективності застосування сільськогосподарського чи лісгосподарського способу рекультивації. У даній статті вперше вивчено можливість проведення рекреаційної рекультивації після відпрацювання родових титанової руди.

Новизна. На основі проведених власних досліджень та аналізу досліджень інших авторів обґрунтовано перспективи рекреаційної рекультивації земель порушених внаслідок видобутку ільменіту.

Методологічне або загальнонаукове значення. Для вирішення поставлених завдань було проаналізовано стан територій порушених внаслідок видобування ільменіту відкритим способом на Житомирському Поліссі та визначено найбільш перспективні способи їх рекультивації. Представлені дослідження можуть бути використані як основа для розробки планів рекультивації родовищ ільменіту на Житомирському Поліссі.

Викладення основного матеріалу. Ільменіт – це змішаний оксид титану та $Fe (FeTiO_3)$ з якого видобувають титан, що є основною сировиною для виробництва діоксиду титану та металевого титану. Дана руда може містити до 40 % Fe у своєму складі [11]. Видобуток ільменіту, як і будь який вид гірничовидобувної діяльності здійснює значний вплив на стан навколишнього середовища. Основний негативний вплив припадає на порушення ґрунтів та забруднення водних середовищ.

Найпоширенішим методом видобутку ільменіту є відкритий, в процесі якого утворюються кар'єри різного розміру та глибини (рис. 1). При цьому порушення земель відбувається на кожному етапі видобутку [12].

1. Етап геологічної розвідки та оцінки запасів. Зазвичай на даному етапі визначають місце майбутнього видобутку, вивчають геологічну будову різними способами (сейсмічними, магнітними або електромагнітними). Негативний вплив відбувається при бурінні та відбиранні зразків для оцінки кількості та якості ільменіту. Також процес геологічної розвідки може супроводжуватись вирубкою лісів, порушенням родючого шару ґрунту, будівництвом додаткових доріг та будівель [13].

2. Підготовчий етап. На даному етапі відбувається підготовка території до видобутку ільменіту. Деревя та кущі вирубують та видаляють рослинний шар. Втрата лісової рослинності може мати прямі негативні наслідки для лісорослинного потенціалу ґрунтів. Лісова рослинність відіграє вирішальну



Рис. 1. Відкритий видобуток корисних копалин (Джерело: платформа Canva)

роль у підтримці структури ґрунту, запобіганні ерозії та забезпеченні ґрунту органічними речовинами. Значні ділянки землі втрачають задернований шар ґрунту, що призводить до ерозії ґрунту та забруднення води. Вода, яка використовується для розмивання ґрунту при відкритому видобутку, містить токсичні хімічні речовини, які можуть завдавати шкоди довкіллю. Підготовчий етап включає зняття родючого шару ґрунту та складування його у тимчасовий бурт, де ґрунт піддається ущільненню, вимиванню та вивітрюванню, що призводить до ерозії. Ерозія спричиняє зниження родючості ґрунту, погіршення росту та розвитку та поглинанню поживних речовин рослинами. Це погіршує якість майбутньої біологічної рекультивациі [14]. При проведенні розкривних робіт, через малу потужність гумусового шару та низький вміст гумусу, часто селективне зняття родючого шару не здійснювалося. За період проведення розкривних робіт гумусовий шар перемішувався з розкривними породами та стає практично непридатний для цілей рекультивациі. Заповнення відпрацьованих кар'єрів здійснювалося розкривними породами, що перемішувалися в процесі виконання технологічних робіт, або застосовувався метод гідронамиву їх у вигляді пульпи [15].

3. Розробка родовища. Даний етап супроводжується вийманням значних об'ємів гірської породи та саме ільменітового концентрату. При цьому гірська порода відвозиться на відвали, для яких для складування яких відводять значні території. Відвали піддаються ущільненню, що зменшує пористість ґрунту та погіршує інфільтрацію води [16]. Процес розробки родовища здебільшого має тимчасовий довгостроковий характер, залежно від об'єму корисної копалини. За цей час значні території забудовуються тимчасовими будівлями, дорогами, відводиться місце для паркування важкої техніки. При збільшенні глибини

кар'єру відбувається прилив підземних вод, утворюється депресивна вирва. При осушенні водоносного горизонту відбувається зменшення природної вологості ґрунтів, що призводить до усихання кореневої системи рослин [17]. Вплив кар'єрного добування ільменітових руд на природне середовище має такі наслідки: зміна природного режиму підґрунтових і поверхневих вод [18]; погіршення та зниження запасів прісних вод на прилеглих до кар'єру територіях; ріст ступеня мінералізації прісної води, що також робить такі води не придатною для водоспоживання; потрапляння дренажних кар'єрних вод та вод хвостових призводить до хімічного забруднення поверхневих водотоків.

4. Обробка ільменітового концентрату. Природні ільменітові руди являють собою тверді розчини змінного складу у системах $FeTiO_3 - MgTiO_3 - Fe_2O_3$ і $FeTiO_3 - MgTiO_3 - MnTiO_3 - Fe_2O_3$, крім того, присутні домішки Al, Si, Nb, Cr, Ca, V, Co, Ni [19]. Для обробки руди використовуються хімічні речовини, таких як кислоти та реагенти. Неправильне поводження з цими хімічними речовинами та їх утилізація може призвести до забруднення ґрунту, погіршення його якості та потенційної шкоди для життя рослин і мікроорганізмів [20].

Будь-яка гірничодобувна діяльність змінює місцевий гідрологічний режим, впливаючи на рух і розподіл води в регіоні. Це може призвести до зміни рівня вологості ґрунту і вплинути на доступність води для рослин та інших організмів. Мікрофлора ґрунтів відіграє важливу роль у колообігу поживних речовин і загальному стані ґрунту. Видобуток ільменіту руйнує мікрофлору ґрунту, при цьому біорізноманіття скорочується, а функціональність погіршується. Зміни в мікробних популяціях можуть мати великий вплив на доступність поживних речовин для рослин.

Порушення території видобутку ільменіту створює антропогенний ландшафт, призводить до втрати біорізноманіття, в тому числі видів рослин, які пристосовані до специфічних ґрунтових умов лісу. Це порушує загальну стійкість та функціонування самої екосистеми [21].

Видобуток корисних копалин і рекультивація земель значно змінюють фізико-хімічні характеристики ґрунту. Більшість властивостей рекультивованих ґрунтів (насіпна щільність, рН, Р, К, доступний Р і доступний К) покращуються після рекультивації. Однак, вміст N нелегко відновити з роками, особливо у верхньому шарі ґрунту. Тип землекористування також має значний вплив на рекультивовані ґрунти [22].

Можливе забруднення територій видобутку ільменіту хімічними елементами, такими як марганець, ванадій, барій, нікель, кобальт, хром, молібден, мідь, плумбум, цинк, може мати негативний вплив на здоров'я людей та тварин, які проживають поблизу. Для оцінки ступеня забруднення використовуються різні геохімічні критерії, такі як середній вміст елементів, геохімічні фони, коефіцієнти збагачення, індекси геокумуляції та ін. За допомогою цих показників можна визначити рівень забруднення різних функціональних зон, таких як лісові та сільськогосподарські угіддя, заплавні відклади, рекультивовані землі [23].

Після видобутку корисних копалин проводиться рекультивація порушених земель з відновленням родючого шару, що дає можливість використовувати територію для цілей лісового та сільського господарства. Інтенсивність порушення земель внаслідок видобутку ільменіту може бути різною в залежності від способів видобутку, дотримання екологічного законодавства та засад сталого розвитку. Навіть за умови проведення рекультивації, відновлення початкової якості ґрунту на видобутих територіях може бути складним завданням. Відновлення структури та родючості ґрунту потребує часу, а ефективність залежить від методів рекультивації.

У зв'язку зі збільшенням земель, порушених внаслідок видобування корисних копалин, рекультивація стала невід'ємною частиною охорони і відтворення земельних ресурсів.

Рекультивація порушених земель – це комплекс організаційних, технічних і біотехнологічних заходів, спрямованих на відновлення ґрунтового покриву, поліпшення стану та продуктивності порушених земель (ст. 166 Земельного кодексу України) [24].

Залежно від рівня складності порушень земної поверхні видобувними та допоміжними роботами рекультивовані території можуть використовуватись під сільськогосподарські угіддя, лісонасадження різного призначення, водойми, зони відпочинку тощо. Вибір способу рекультивації родовища залежить від його особливостей, географічного розташування, природних та екологічних факторів. При виборі способу рекультивації значна увага надається мож-

ливостям повернення земельних ділянок до природного стану, що передував їх порушенню.

У районах з помірним і м'яким кліматом та розвиненим сільським господарством та родючими ґрунтами доцільно відновлювати порушені землі для використання їх під ріллю, сади, пасовища, сінокоси тощо. Однак, для території Житомирського Полісся такий тип рекультивації не є типовим, оскільки гірничовидобувні підприємства переважно розташовані на територіях, що раніше належали лісовим господарствам. Такі території характеризуються малородючими дерново-підзолистими ґрунтами піщаного, глинисто-піщаного і супіщаного механічного складу, які є малоприсадибними для ведення сільського господарства.

У районах, де сільськогосподарська рекультивація малоефективна або недоцільна, варто визначити можливість використання рекультивованих земель під їх заліснення або створення штучних водойм. Для Житомирського Полісся найбільш типовою корисною копалиною є камінь будівельний. Відпрацьований простір кар'єрів з видобутку блочного, або будівельного каменю найбільш придатний для здійснення водогосподарської рекультивації, що обумовлено значною глибиною кар'єрних виїмок, стрімкістю бортів, інертністю природних порід до впливу води та значним водопитоком до кар'єрного простору. Водогосподарська рекультивація не вимагає значних затрат, оскільки обводнення відпрацьованих кар'єрів здійснюється природним шляхом.

Території порушені внаслідок видобування рудних розсіпів не можуть бути відновлені лише водогосподарським способом рекультивації, оскільки вони характеризуються більш складним рельєфом, більшою територією порушення, значними площами умовно рівнинних територій та незначною глибиною кар'єрних виїмок. Для таких територій більш раціональним буде поєднання лісгосподарського та водогосподарського способу рекультивації. Комбінація різних видів рекультивації може забезпечити оптимальні результати відновлення.

Попередньо-зібраний родючий ґрунт використовується для перекриття механічно-перемішаних порід рівнинних територій підприємства, що утворилися після проведення видобутку розсіпів гідромінералами. У якості лісівничої породи вирисовується сосна звичайна, яка є невибагливою до лісорослинних умов та здатна зростати на кислих ґрунтах.

Типовим представником гірничо-видобувного підприємства, що займається видобутком рудної сировини на території Житомирського Полісся є філія «Іршанського гірничо-збагачувального комбінату» ПАТ «ОГХК», яка займається видобутком ільменітової руди. Підприємство має багаторічну історію. Під діяльність підприємства залучені значні території на півночі Житомирської області. Ділянки родовища були відпрацьовані у різний час і значна частина була рекультивована.

Дослідження проведені на території підприємства показали, що ґрунти рекультивованих ділянок мають не високий лісорослинний потенціал. Ґрунти переважно є піщаними, супіщаними та суглинками [25]. Для цих ґрунтів характерними є низькі вологоутримуючі властивості та низький вміст поживних речовин. Загалом ґрунти дослідних територій мають підвищену кислотність, низький вміст гумусу та суми увібраних основ [26]. Ґрунти є придатними для лісорослинної рекультивації з використанням сосни звичайної. Однак низька родючість ґрунтів та підвищена кислотність призводять до того, що не всі сажанці приживаються. Деревостани сформовані на рекультивованих територіях є слабкими, з часом їх ріст уповільнюється та вони не досягають потенціалу природних лісових екосистем, що передували видобутку (визначено шляхом порівняння із контрольними ділянками, не порушеними видобувною діяльністю територіями). Така ситуація вимагає проведення додаткових заходів, які сприятимуть покращенню стану ґрунтів та відновленню їх лісорослинного потенціалу: внесення добрив, висадження азотфіксуючих рослин у міжряддях сосни, застосування біочару та інших речовин, що покращують структуру ґрунту.

Більш глибокі кар'єрні виїмки на території підприємства підлягають водногосподарській рекультивації. Обводнення здійснюється природним шляхом, чому сприяє досить високий рівень залягання ґрунтових вод. Однак природному відновленню екосистем новоутворених водойм перешкоджає підвищена кислотність води у водних об'єктах.

Загалом, на території Житомирського Полісся знаходиться значна кількість водних об'єктів: річки, озера, водно-болотні угіддя. Вода природних водних об'єктів може містити підвищений вміст заліза (особливість геологічних порід Житомирщини) подекуди значний вміст органіки (за рахунок покладів торфу та болотистих територій на півночі Житомирської області) та характеризується нейтральним, або близьким до нейтрального значенням рН.

Підвищена кислотність штучних водойм на територіях рекультивованих після видобутку ільменіту на Іршанському родовищі обумовлена особливостями геологічної будови території. Ільменітовий пісок, як сировина містить значну кількість домішок мінералів. Порооди, що їх вивернули із 20–30-метрової глибини, мають великий уміст сульфідів заліза, які на повітрі окислюються до сірчаної кислоти, і ґрунт та вода стають кислі. При потраплянні таких підкислених вод змінюються показники кислотності вод поверхневих водойм, а відповідно і стан водної екосистеми.

Як наслідок створення екосистеми штучних водойм здійснюється дуже повільно, водойми є не

придатними для зарибнення. Використання водойм для водного відпочинку населення у перші роки після рекультивації є також не бажаним.

Альтернативним варіантом відновлення території порушених внаслідок видобування ільменіту на Житомирщині може бути рекреаційна рекультивація, а саме створення зони відпочинку. Особливості ландшафту антропогенних територій та їх гідрологічний режим сприятливі для створення на територіях відпрацювання родовищ лісопаркової зони, в склад структури яких входять не тільки деревно-чагарникові види рослин, а й зелені території у вигляді газонів та клумб квітів. Штучні водойми додають зоні відпочинку додаткової естетичної привабливості та створюють локальні осередки прохолоди, що є особливо важливим для урбанізованих територій. Близьке розташування населених пунктів із значною чисельністю населення підтверджує доцільність проектування парку на цих територіях. Достатньо близька відстань до обласного центра (м. Житомир) сприятиме розвитку туристичного потенціалу регіону.

Проведення робіт із підготовки відпрацьованих кар'єрів для створення штучних водойм і використання їх в рекреаційних цілях, дозволяє зменшити затрати на ліквідацію порушень та досягти кращого ландшафтноархітектурного оформлення території.

При формуванні лісопаркового ландшафту необхідно враховувати ґрунтові умови при підборі рослинності у якості посадкового матеріалу. Окрім того, необхідно здійснювати заходи з підвищення продуктивності ґрунту: вносити добрива, меліоранти тощо. Необхідними вимогами до рослинності паркових зон на рекультивованих територіях є невисока вибагливість до ґрунтових умов, швидкий ріст на початковій стадії розвитку та їх естетично привабливий вигляд [27].

Головні висновки. Видобування ільменіту на території Житомирського Полісся призводить до формування техногенно порушених територій, які потребують проведення рекультивації. Типовими способами проведення рекультиваційних робіт на Житомирщині є лісогосподарська та водогосподарська. Однак з врахування гідрохімічних особливостей територій можна стверджувати про перспективність рекреаційної рекультивації. Подальшими етапами досліджень має стати підбір видів рослин, які б поєднували естетичну привабливість та витривалість до зростання на кислих ґрунтах.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати досліджень можуть бути використані для розробки планів рекультивації родовищ ільменіту на Житомирському Поліссі, а також в освітньому процесі.

Література

1. Лісова Т. В. Рекультивація земель як основний захід їх відновлення. URL: dpspace.nlu.edu.ua/bitstream/123456789/13062/1/Lisova_119-125.pdf (дата звернення: 23.02.2024).
2. Лебідь В. І. Окремі аспекти правового регулювання рекультивації земель в Україні. *Юридична наука*. 2012. № 11. С. 29–33.

3. Місінкевич А. Л. Правове забезпечення рекультивації земель в Україні: монографія. Хмельницький : Хмельницький університет управління та права, 2015. 140 с.
4. Бубнова О. А. Відновлення властивостей порушених гірничими роботами земель. URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/33565/03-Bubnova.pdf?sequence=1> (дата звернення: 23.02. 2024).
5. Основи раціонального землекористування порушених територій Житомирського Полісся / Кудрик А. П., Дребот О. В., Пузняк О. М., Вишневський Ф. О. URL: http://ir.polissiauniver.edu.ua/bitstream/123456789/8957/1/ORZ_2018_331-336.pdf (дата звернення: 23.02. 2024).
6. Саврасих Л. Д. Структура рослинних угруповань техногенних ландшафтів Житомирської області. *Вісник ЖНАЕУ*. № 2 (50). т. 1. С. 435–439.
7. Environmentally safe reclamation of solid waste landfills / Grechanik R. and others. *Journal Environmental Problems*. 2023. 8(1). P 47–54.
8. Шевчук Р. М. Методика супутникового моніторингу геологічного стану території відкритого видобування корисних копалин (на прикладі Житомирського Полісся): автореф. на здобуття наук. ступеня канд. геол. наук : 05.07.12. Київ, 2019. 23 с.
9. Філіпович В. Є. Оперативний контроль поширення нелегального видобутку бурштину та оцінка збитків, заподіяних державі, за матеріалами багатозональної космічної зйомки. *Екологічна безпека та природокористування*. 2015. № 4 (20). С. 91–97.
10. Регіональна доповідь про стан навколишнього середовища Житомирської області у 2022 році. URL: <https://eprdep.zht.gov.ua> (дата звернення: 23.02. 2024).
11. Akbar Mehdilo, Mehdi Irannajad, Bahram Rezai, Chemical and mineralogical composition of ilmenite: Effects on physical and surface properties, *Minerals Engineering*. 2015. Volume 70. P. 64–76. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2014.09.002>
12. Ремезова О. О. Проблеми дослідження родовищ ільменіту північно-західної частини Українського щита. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2005. № 23. С. 22–27.
13. Базалійська Л. М. Звіт про гелогорозвідувальні роботи розвідки Паромівського розсипного родовища ільменіту. Київ: ДП «Українська геологічна компанія», 2016. 259 с.
14. González-González Andrés, Clerici Nicola, Quesada Benjamin. Growing mining contribution to Colombian deforestation. *Environmental Research Letters*. 2021. 16 (6): 064046. doi:10.1088/1748-9326/abfcf8
15. Веремесенко С. І., Саврасих Л. Д. Екологічний стан земель порушених територій Житомирської області. *Вісник Житомирського національного агроекологічного університету*. 2016. № 2(1). С. 25–31. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vzhnau_2016_2%281%29_6 (дата звернення: 23.02.2024).
16. Krasovskiy I S., Kovrov I O., Klimkina I. Phytoremediation of coal dumps of the Western Donbass. *Coll.res.pap.nat.min.univ*. 2021. 65. С. 170-178. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/65.170>
17. Утилізація багатокомпонентних водно-сольових систем – відходів перероблення калійних руд Прикарпаття / Ятчишин Ю.Й. та ін. *І Всеукраїнський з'їзд екологів*. Тези доповіді Міжнародної науково-практичної конференції. Вінниця, 2006. С. 33.
18. Язвинська М. В. Вертикальний розподіл металів у ґрунтах району розробки титан-цирконієвих розсипищ. *Пошук. та екологіч. геохімія*. 2006. № 5. С. 41–42.
19. *Сталій розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування*. Збірник матеріалів VIII Міжнародного молодіжного конгресу. Львів, 2023. 154 с.
20. Характеристика вихідної сировини та чорного концентрату Іршанського гірничо-збагачувального комбінату / Яременко О. В. та інші. *Водні і наземні екосистеми та збереження їх біорізноманіття: Збірник наукових праць*. 2023. с. 46–47.
21. Бакка М. Т., Гуменик І. Л., Редчиць В. С. Екологія гірничого виробництва: Навчальний посібник. Житомир : ЖДТУ, 2004. 307 с.
22. Xiaoyang Liu, Zhongke Bai, Wei Zhou, Yingui Cao, Gengjie Zhang, Changes in soil properties in the soil profile after mining and reclamation in an opencast coal mine on the Loess Plateau / Xiaoyang Liu and others. *Ecological Engineering*. 2017. Volume 98. P. 228-239 <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.10.078>.
23. Kryuchenko Natalia, Yazvinska Myroslava, Zhovynskiy Eduard. Environmental and geochemical assessment of surface sediments on irshansk ilmenite deposit area. *Geological and geographical sciences*. 2015. Vol. 3 №. 1 (8). <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2015.38728>
24. Земельний кодекс України. Редакція від 26.01.2024 [Електронний ресурс] / Офіційний веб-сайт Верховної Ради України. URL: <http://portal.rada.gov.ua> (дата звернення: 23.02.2024).
25. Шомко О. М. Дослідження фізико-хімічних та агрохімічних властивостей ґрунту рекультивованих територій порушених видобутком ільменіту. *Scientific Progress & Innovations*. 2024. Том 27 № 1.
26. Шомко О. М. Давидова І. В. Study of the soil condition of reclaimed areas after ilmenite mining in Zhytomyr Polissia. *Вісник Хмельницького національного університету*. Серія: технічні науки. 2024. № 1 (328).
27. Хороша О. І., Субін-Кожевнікова А. С., Куленко О. В. Аналіз основних факторів впливу та вимог при формуванні рекреаційних просторів на рекультивованих територіях. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2021. № 2. С. 73–80.

УДК 621.532.4

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.1.18>

ОЦІНКА ВПЛИВУ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН НА АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ ПІД ЧАС БУРІННЯ СВЕРДЛОВИН

Кривенко Г.М.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
вул. Карпатська, 15, 76019, м. Івано-Франківськ
galyakrivenko73@gmail.com

Для гарантування безпеки держави у воєнний час потрібна злагоджена робота нафтогазового комплексу. Нафтогазове виробництво характерне тим, що на всіх його стадіях здійснюється шкідливий вплив на навколишнє середовище загалом, і на всі його компоненти зокрема. Перед підприємствами нафтогазового комплексу постає завдання щодо здійснення заходів, пов'язаних із запобіганням забрудненню довкілля та раціональним використанням природних ресурсів. Оцінка впливу на довкілля спрямована на запобігання виникнення негативного впливу на навколишнє природне середовище, гарантування екологічної безпеки, охорону довкілля. Влаштування нових нафтогазових свердловин дасть змогу покращити енергетичний потенціал держави. Але створює негативний вплив на навколишнє середовище. Під час буріння свердловин недостатньо враховується їх вплив на довкілля, а також оцінюються та аналізуються небезпеки, пов'язані зі специфікою їх роботи. Отже, аналіз викидів забруднюючих речовин під час буріння свердловин є актуальним. Метою даної роботи є оцінка викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря під час буріння свердловин. Для досягнення поставленої мети були сформульовані наступні задачі досліджень: аналіз сумарних викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря під час буріння свердловин; оцінка техногенного впливу на повітряний басейн та заходи щодо їх мінімізації. Об'єктом дослідження є свердловини в процесі буріння на промисловому майданчику. Предмет досліджень: речовини, які забруднюють навколишнє середовище під час буріння. Розглянуто організовані та неорганізовані джерела викиду забруднюючих речовин у процесі буріння свердловин. Проведено аналіз сумарних викидів забруднюючих речовин під час буріння свердловини. Основну частку складають викиди діоксиду азоту, сірчистого ангідриду та оксиду вуглецю. Проаналізовано викиди з організованих джерел. Джерелами впливу на повітряне середовище при бурінні свердловини є продукти згорання дизельного палива двигунів бурової установки. Визначено валові викиди, що надходять у атмосферу з димовими газами, та виконано порівняльний аналіз. Розраховано комплексний індекс забруднення атмосфери. Концентрації забруднюючих речовин у атмосферному повітрі, з урахуванням існуючого фонового забруднення, на межі нормативної санітарно-захисної зони не перевищують гігієнічних нормативів. Запропоновані рекомендації щодо мінімізації впливу забруднюючих речовин на атмосферне повітря. *Ключові слова:* безпека, довкілля, забруднюючі речовини, джерела викиду, продукти згорання, індекс забруднення.

Assessment of the effect of pollutants emissions on atmospheric air during well drilling. Kryvenko G.

To guarantee the state's security in wartime, the coordinated operation of the oil and gas complex is required. Oil and gas production is characterized by the fact that at all its stages it harms the environment in general, and on all its spheres in particular. The enterprises of the oil and gas complex are faced with the task of implementing measures related to the prevention of environmental pollution and the rational use of natural resources. Environmental impact assessment is aimed at preventing negative impacts on the natural environment, guaranteeing environmental safety, and environmental protection. The construction of new oil and gas wells will make it possible to improve the energy potential of the state. But it creates a negative impact on the environment. The impact on the environment during well drilling as well as the dangers associated with the specifics of their work are not sufficiently taken into account. Therefore, the analysis of pollutant emissions during well drilling is relevant. The purpose of this work is to estimate emissions of pollutants into atmospheric air during well drilling. To achieve the goal, the following research tasks were formulated: analysis of total emissions of pollutants into atmospheric air during well drilling; assessment of man-made impact on the air basin and measures to minimize it. The object of the study is wells in the process of drilling at an industrial site. The subject of research: substances that pollute the environment during drilling. Organized and unorganized sources of emissions of pollutants in the process of well drilling are considered. An analysis of total pollutant emissions during well drilling was carried out. Emissions of nitrogen dioxide, sulfur dioxide, and carbon monoxide make up the main share. Emissions from organized sources were analyzed. The sources of impact on the air environment during well drilling are the combustion products of diesel fuel from the engines of the drilling rig. Gross emissions entering the atmosphere with flue gases were determined, and a comparative analysis was performed. A complex air pollution index was calculated. Concentrations of pollutants in the atmospheric air, taking into account the existing background pollution, at the border of the regulatory sanitary protection zone do not exceed hygienic standards. Proposed recommendations for minimizing the impact of pollutants on atmospheric air. *Key words:* safety, environment, pollutants, emission sources, combustion products, pollution index.

Постановка проблеми. Військове вторгнення в Україну спричинило безпрецедентну енергетичну кризу, стрімкий ріст цін на природний газ та інші енергетичні товари, загальну високу інфляцію. Втім, ЄС спромігся на організацію системної протидії кризі, зокрема у спільних підходах із диверсифікації джерел енергопостачання та посиленні енергетичної безпеки.

Але для гарантування безпеки держави у воєнний час потрібна злагоджена робота нафтогазового комплексу. Нафтогазове виробництво характерне тим, що на всіх його стадіях здійснюється шкідливий вплив на навколишнє середовище загалом, і на всі його компоненти зокрема. Перед підприємствами нафтогазового комплексу постає завдання щодо здійснення превен-

тивних заходів, пов'язаних із запобіганням забрудненню довкілля та раціональним використанням природних ресурсів. Влаштування нових нафтогазових свердловин дасть змогу покращити енергетичний потенціал держави. Але створює негативний вплив на навколишнє середовище. Буріння свердловин негативно впливає на всі складові довкілля. Під час проведення планових робіт потрібно наперед встановити, які чинники довкілля можуть зазнати негативний вплив та провести певні заходи для його мінімізації.

Актуальність дослідження та зв'язок авторського доробку з важливими науково-практичними завданнями. Під час буріння свердловин недостатньо враховується їх вплив на довкілля, а також оцінюються та аналізуються небезпеки, пов'язані зі специфікою їх роботи. Для зменшення негативного впливу на навколишнє середовище необхідно проведення детального аналізу викидів забруднюючих речовин на всіх стадіях влаштування свердловин та заходів з їх мінімізації. Отже, аналіз викидів забруднюючих речовин під час буріння свердловин є актуальним. Аналіз та прогнозування викидів забруднюючих речовин на етапі буріння свердловин дасть змогу своєчасно провести необхідні заходи з попередження виникнення аварійних ситуацій. У цьому полягає практичне значення авторського доробку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемі дослідження стану атмосферного повітря та впливу на довкілля викидів забруднюючих речовин присвячені праці багатьох вчених. Екологічна оцінка стану атмосферного повітря наведена у наукових працях [1, 2, 3]. Вплив діяльності промислових підприємств на забруднення довкілля та удосконалення виробничих процесів з метою зменшення техногенного навантаження подано у роботах [4, 5, 6]. Аналіз техногенного навантаження на повітряний басейн висвітлений у роботі [7].

Відомо, що у процесі буріння свердловин вплив на компоненти довкілля можливий не тільки внаслідок аварійних ситуацій, а й за нормальних умов перебігу виробничого процесу. Це, в основному, пов'язано зі значними обсягами викидів у атмосферу шкідливих речовин [8, 9]. У роботі [10] проаналізовано факти надходження із свердловин вуглеводнів та інших супутніх небезпечних речовин у навколишнє природне середовище та наслідки, що виникають. Щодо питання зменшення шкідливих викидів у довкілля, то з певних об'єктивних і суб'єктивних причин на сьогодні воно повністю не вирішене. З аналізу літературних джерел, присвячених проблемам викидів забруднюючих речовин, випливає, що існує необхідність комплексного аналізу викидів, що дасть змогу їх спрогнозувати та вжити ефективні заходи щодо мінімізації забруднення довкілля.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. З джерел, присвячених проблемам забруднення довкілля, випливає, що існує необхідність

у проведенні комплексного аналізу викидів в атмосферне повітря під час буріння свердловин.

Метою даної роботи є оцінка викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря під час буріння свердловин. Для досягнення поставленої мети були сформульовані наступні задачі досліджень: аналіз викидів забруднюючих речовин під час буріння свердловин; оцінка техногенного впливу на повітряний басейн та заходи щодо їх мінімізації. Об'єктом дослідження є свердловини в процесі буріння на промисловому майданчику у межах об'єднаної територіальної громади в Полтавській області. Предмет досліджень: речовини, які забруднюють навколишнє середовище під час буріння.

Новизна та загальнонаукове значення. Новизна полягає у комплексному дослідженні викидів речовин, які забруднюють довкілля, з організованих джерел. Результати наукової роботи в комплексі з іншими дослідженнями дадуть змогу провести відповідні заходи для мінімізації забруднення навколишнього середовища.

Виклад основного матеріалу. Буріння свердловини передбачається в адміністративних межах об'єднаної територіальної громади в Полтавській області. Під буровий майданчик відведено земельну ділянку, на якій розміщується бурове обладнання, споруди, службові та побутові приміщення, з урахуванням екологічних, санітарних, протипожежних вимог. Під час проведення бурових робіт потрібно наперед встановити, які чинники довкілля можуть зазнати негативного впливу (рис. 1) та провести певні заходи для його мінімізації.

Оскільки метою даної роботи є оцінка викидів забруднюючих речовин під час буріння свердловин, то проаналізуємо, як впливатиме даний процес на такий чинник довкілля як атмосферне повітря.

Наведемо і охарактеризуємо джерела викиду забруднюючих речовин у процесі буріння свердловин.

Джерела викидів поділяються на організовані та неорганізовані. До організованих джерел викидів відносяться вихлопні труби дизельних двигунів, дихальні клапани резервуарів.



Рис. 1. Чинники довкілля, які можуть зазнати впливу під час буріння свердловини:

- 1 – здоров'я населення; 2 – кліматичні фактори;
- 3 – атмосферне повітря; 4 – геологічне середовище;
- 5 – підземні горизонти з прісними водами та поверхневі води; 6 – ландшафт; 7 – ґрунт;
- 8 – біорізноманіття; 9 – матеріальні об'єкти, включаючи архітектурну, археологічну та культурну спадщину; 10 – соціально-економічні умови;
- 11 – техногенне середовище

Для приведення в дію ротора бурового верстата та лебідки підйому колони використовується силовий блок верстата – два промислові дизельні двигуни з гідродинамічною передачею, що встановлений на естакаді верстата. Для приведення в дію бурового насоса використовується два промислові дизельні двигуни, що встановлені на майданчику бурової. Приведення в дію електрогенераторів здійснюється за допомогою промислового дизельного двигуна, що встановлений на майданчику бурової. Наведені вище двигуни мають індивідуальні вихлопні труби.

Джерелами впливу на повітряне середовище при бурінні свердловини є продукти згорання дизельного палива двигунів бурової установки. У ході ведення технологічного процесу в атмосферне повітря через вихлопні труби генераторів викидаються: речовини у вигляді суспендованих твердих частинок недиференційованих за складом, сірчистий ангідрид, діоксид азоту, оксид вуглецю, діоксид вуглецю, оксид азоту, метан, неметанові леткі органічні сполуки (суміш насичених вуглеводнів C_2-C_8 і суміш насичених і ненасичених вуглеводнів C_1-C_4).

На території майданчика встановлено ємність для зберігання дизельного палива, що забезпечує роботу всіх дизельних двигунів на майданчику бурової. Ємність обладнана дихальним клапаном марки СМДК-50. При наповненні ємності та зберіганні дизельного пального в атмосферу через дихальний клапан потрапляють вуглеводні насичені $C_{12}-C_{19}$ (розчинник РПК-26511 та ін.) у перерахунку на сумарний органічний вуглець.

Неорганізовані джерела поділяються на зварювальний пост, вогневе різання металу, пости механічної обробки металу та шламовий амбар. Зварювальний пост призначений для ручного дугового зварювання сталі штучними електродами. Під час роботи зварювального посту в атмосферне повітря виділяється: оксид заліза (у перерахунку на залізо), марганець і його сполуки (у перерахунку на двоокис марганцю), аморфний діоксид кремнію, фтористі сполуки, діоксид азоту, оксид вуглецю. У ході ведення технологічного процесу вогневого різання металу в атмосферне повітря надходить: оксид заліза (у перерахунку на залізо), марганець і його сполуки (у перерахунку на двоокис марганцю), діоксид азоту, оксид вуглецю. Пости механічної обробки металу оснащені металообробними машинами та є неорганізованим джерелом викиду. Під час роботи обладнання в атмосферне повітря надходить: пил металевий (легуючих сталей), пил абразивний. На території промислового майданчика присутній блок вивантаження сипкої складової бурового розчину, що є неорганізованим джерелом викиду. Під час вивантажувальних робіт в атмосферне повітря виділяється: речовини у вигляді суспендованих твердих частинок недиференційованих за складом. Збір шламових відходів відбувається у два шламових амбари, які облаштовані на промисловому май-

данчику та використовуються одночасно. Амбари є неорганізованими джерелами викиду. Виділення забруднюючих речовин в атмосферу відбувається при відстоюванні шламу, в атмосферне повітря надходять вуглеводні насичені $C_{12}-C_{19}$ (розчинник РПК-26511 та ін.) у перерахунку на сумарний органічний вуглець. Сумарний викид забруднюючих речовин у процесі буріння у повітряний басейн складає 2,57 г/с. Для порівняльного аналізу окремих викидів забруднюючих речовин наведено рис. 2 [11].

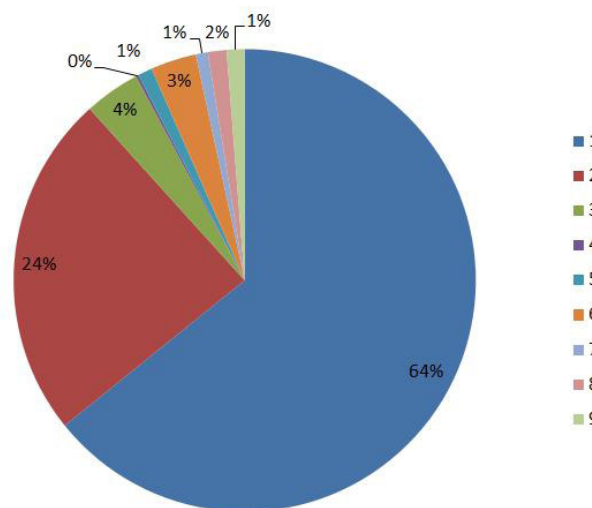


Рис. 2. Викиди забруднюючих речовин під час буріння свердловин: 1 – діоксид азоту; 2 – сірчистий ангідрид; 3 – оксид вуглецю; 4 – метан; 5 – вуглеводні насичені $C_{12}-C_{19}$ (розчинник РПК-26511 та ін.) у перерахунку на сумарний органічний вуглець; 6 – суміш насичених вуглеводнів C_2-C_8 і суміш насичених і ненасичених вуглеводнів C_1-C_4 (неметанові легкі органічні сполуки (НМЛОС); 7 – пил абразивний; 8 – пил металевий; 9 – інші

З аналізу рис. 2 випливає, що під час буріння свердловин у повітрі, в основному, розсіюються такі забруднюючі речовини: діоксид азоту, сірчистий ангідрид, оксид вуглецю. Кількість діоксиду азоту у викидах складає 64,2 %, сірчистого ангідриду – 24,1 %, оксиду вуглецю – 3,9 %. Інші забруднюючі речовини сумарно складають 1,25 %. До них відносяться такі: речовини у вигляді суспендованих частинок, недиференційованих за складом; оксид заліза (в перерахунку на залізо); марганець та його сполуки (у перерахунку на марганець); аморфний діоксид кремнію; оксид азоту; фтористий водень; фториди добре розчинні та погано розчинні неорганічні.

Забруднення повітря азотовмісними з'єднаннями створює несприятливі умови для імунної системи. Високий вміст оксидів азоту в повітрі збільшує сприйнятливості до вірусних захворювань. Сірчистий ангідрид має властивості подразнюючого чинника, в основному він справляє дію на дихальну систему людини, викликаючи роздратування слизових оболонок бронхів і верхніх дихальних

шляхів, кашель. Оксид вуглецю – це найбільш небезпечний і надзвичайно розповсюджений з газоподібних забруднювачів повітря, токсичність якого зумовлена його реакцією з гемоглобіном крові. Під час буріння свердловини значення його не перевищує фонову концентрацію 0,4 мг/м³ [2].

Визначимо викиди забруднюючих речовин з організованих джерел під час буріння свердловин. На території об'єкту є організовані джерела забруднення а саме: вихлопні труби двох дизельних двигунів приводу ротора та лебідки; вихлопні труби двох дизельних двигунів приводу бурових насосів, вихлопні труби двох дизельних двигунів приводу електрогенераторів та дихальний клапан ємності дизельного пального. Викиди забруднюючих речовин, що надходять від дизельних двигунів, розраховують відповідно до [12].

Валовий викид j -ї забруднюючої речовини M_j , що надходить у атмосферу з димовими газами теплосилової установки за проміжок часу t , визначається за такою залежністю:

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

де M_{ji} – валовий викид j -ї забруднюючої речовини під час спалювання i -го палива за проміжок часу t ; k_{ji} – показник емісії j -ї забруднюючої речовини для i -го палива, г/ГДж; B_i – витрата i -го палива за проміжок часу t ; $(Q_i^r)_i$ – нижча робоча теплота згоряння i -го палива, МДж/кг.

Враховуються показники емісії таких речовин: оксиду азоту; речовин у вигляді суспендованих твердих частинок недиференційованих за складом; сір-

чистого ангідриду; метану; оксиду вуглецю; азоту оксиду; неметанових летких органічних сполук.

Проаналізуємо викиди забруднюючих речовин у атмосферне повітря через вихлопні труби дизельних двигунів. Результати розрахунків викидів забруднюючих речовин через вихлопні труби дизельних двигунів під час буріння свердловини наведено на рис. 3.

Із аналізу рис. 3 випливає, що під час буріння свердловин через вихлопні труби дизельних двигунів спостерігаються такі викиди забруднюючих речовин: діоксид азоту, сірчистий ангідрид, неметанові леткі органічні сполуки, метан, оксид вуглецю, оксид азоту, речовини у вигляді суспендованих твердих частинок недиференційованих за складом. Слід зауважити, що під час процесу буріння свердловин спостерігається найбільше викидів діоксиду азоту, що складає 2,47 т/рік, сірчистого ангідриду – 0,23 т/рік, неметанових летких органічних сполук – 0,12 т/рік, метану – 0,098 т/рік, оксиду вуглецю – 0,081 т/рік, оксиду азоту та речовини у вигляді суспендованих твердих частинок відповідно 6,15 кг/рік та 9,45 кг/рік.

Оцінка впливу викидів забруднюючих речовин на стан атмосферного повітря здійснюється за результатами розрахунків вмісту забруднюючих речовин у викидах зі стаціонарних джерел.

Гігієнічним критерієм для визначення гранично-допустимих викидів забруднюючих речовин в атмосферу є відповідність їх розрахункових концентрацій на межі санітарно захисної зони (СЗЗ) гігієнічним нормативам.

За результатами проведених розрахунків встановлено, що на межі нормативної СЗЗ розрахункові кон-

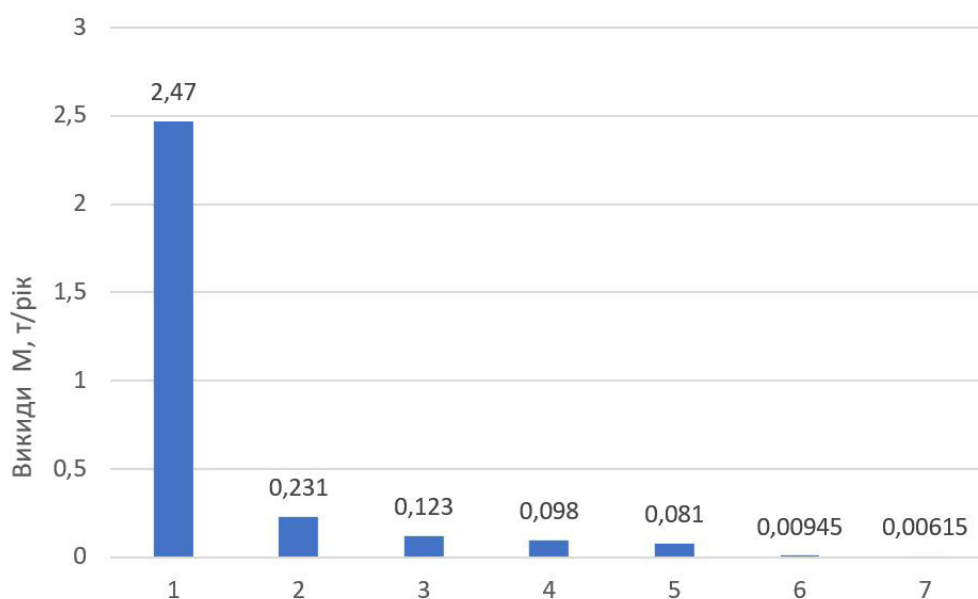


Рис. 3. Викиди забруднюючих речовин через вихлопні труби дизельних двигунів під час буріння свердловини: 1 – діоксид азоту; 2 – сірчистий ангідрид; 3 – неметанові легкі органічні сполуки; 4 – метан; 5 – оксид вуглецю; 6 – речовини у вигляді суспендованих твердих частинок; 7 – оксид азоту

центрації всіх забруднюючих речовин не перевищують величин граничнодопустимих концентрацій (ГДК).

Доцільність розрахунку розсіювання викидів шкідливих речовин в атмосферу визначається співвідношенням [13]:

$$M / ГДК > \Phi,$$

$$\Phi = 0,1, \text{ при } H \leq 10 \text{ м, } \Phi = 0,01 H, \text{ при } H > 10 \text{ м,}$$

де M – сумарна величина викиду забруднюючої речовини від усіх джерел підприємства, г/с; $ГДК$ – максимальна разова граничнодопустима концентрація забруднюючої речовини, мг/м³; H – середня висота джерел викиду, м.

На етапі буріння свердловини за результатами перевірки недоцільно проведення розрахунку розсіювання забруднюючих речовин.

Оцінка техногенного впливу на атмосферне повітря визначається індексами забруднення атмосфери (ІЗА) за методикою, наведеною у [14].

Комплексний індекс забруднення атмосфери (КІЗА) розраховують за формулою:

$$I = \sum_{i=1}^n I_i = \sum_{i=1}^n \left(\left(\frac{q}{ГДК_c} \right)^{C_i} \right), \quad (2)$$

де q – середня концентрації забруднюючої речовини в атмосферному повітрі, мг/м³; C_i – константа, що приймає значення 1,7; 1,3; 1,0; 0,9 відповідно для 1; 2; 3; 4-го класу небезпеки забруднюючих речовин і дозволяє привести ступінь шкідливості i -ої забруднюючої речовини до ступеня шкідливості SO_2 .

Клас небезпеки і величини ГДК забруднюючих речовин, що виділяються в атмосферу, прийняті згідно «Списку гранично допустимих концентрацій і орієнтовних безпечних рівнів діяння забруднюючих речовин в атмосферному повітрі населених місць».

Результати розрахунків індексів забруднення атмосфери шкідливими речовинами наведено в табл. 1.

Комплексний індекс забруднення атмосфери дорівнює 0,97. Отже, $I_5 < 2,5$ – чисте атмосферне повітря під час проведення бурових робіт [14].

Під час проведення бурових робіт викиди мають тимчасовий характер.

З метою скорочення викидів забруднюючих речовин у повітряне середовище рекомендується здійснювати такі заходи: заборонити роботу двигунів на форсованому режимі; підсилити контроль за дотриманням точного регламенту виробничої діяльності; розподілити в часі роботу обладнання, яке пов'язане з безперервним технологічним процесом. Здійснення цих та інших заходів дозволить знизити викиди на буровому майданчику. З метою попередження неконтрольованого виходу газу на поверхню густина бурового розчину вибирається з умови забезпечення створення протитиску на газонасичені пласти. Під час провадження робіт з буріння свердловини вживатимуться заходи щодо зменшення обсягів викидів забруднюючих речовин і зменшення впливу фізичних чинників.

Висновки. Проведено аналіз сумарних викидів забруднюючих речовин під час буріння свердловини. Викиди у повітряний басейн діоксиду азоту складають 64,2 %; сірчистого ангідриду – 24,1 %; оксиду вуглецю – 3,9 %.

Під час буріння свердловин спостерігаються викиди з організованих джерел. Визначено валові викиди що надходить у атмосферу з димовими газами, та виконано порівняльний аналіз. Валовий викид діоксиду азоту складає 2,470 т/рік, сірчистого ангідриду – 0,231 т/рік, неметанових летких органічних сполук – 0,12 т/рік.

Концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі, з урахуванням існуючого фонових забруднення, на межі нормативної санітарно-захисної зони не перевищують гігієнічних нормативів. Комплексний індекс забруднення атмосфери дорівнює 0,97. Запропоновані рекомендації щодо мінімізації впливу забруднюючих речовин на атмосферне повітря.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати наукових досліджень, викладені у цій статті, можуть використовуватися для вирішення питань, пов'язаних зі забрудненням довкілля під час буріння нафтогазових свердловин. Подальші дослідження передбачають комплексну оцінку викидів забруднюючих речовин на об'єктах нафтогазової галузі.

Таблиця 1

Значення індексів забруднення атмосфери

| Назва забруднюючих речовин | Клас небезпеки | ГДК, мг/м ³ | Значення фонових концентрацій, мг/м ³ | Значення індексів забруднення атмосфери |
|--|----------------|------------------------|--|---|
| Діоксид азоту | 3 | 0,2 | 0,008 | 0,4 |
| Сірчистий ангідрид | 3 | 0,5 | 0,02 | 0,04 |
| Сірководень | 2 | 0,008 | 0,0005 | 0,027 |
| Оксид вуглецю | 4 | 5 | 0,4 | 0,103 |
| Пил абразивно-металевий | 4 | 0,4 | 0,16 | 0,4 |
| Комплексний індекс забруднення атмосфери | | | | 0,97 |

Література

1. Adamenko Ya. The Methodology of Environmental Impacts Assessment of Environmentally Hazardous Facilities. *Environmental Problems*, Publishing House of Lviv Polytechnic National University. 2017. 2(1) P. 19–23.
2. Семчук Я. М., Савчук Л. Я. Захист атмосферного повітря від забруднень. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. 2019. 198 с.
3. Гулай Л. Д., Караїм О. А., Синюк А. Ю. Екологічна оцінка стану атмосферного повітря у м. Нововолинськ. *Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2016. Вип. 14. С. 58–65. URL: <https://periodicals.karazin.ua/ecology/article/view/6337/5870>.
4. Баскакова Л. В., Кравченко Н. Б., Сафонова О. О. Вплив діяльності Новокраматорського машинобудівного заводу на навколишнє природне середовище. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2017. № 17. С. 89–98. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2017-17-10>.
5. Кривенко Г. М., Возняк М. П., Возняк Л. В., Кривенко С. О. Дослідження впливу діаметра трубопроводу на поширення ударної хвилі у аварійних ситуаціях *Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*. 1(36). 2014. С. 110–117.
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. 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. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2018-19-07>.
8. 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.
9. Деревська К., Руденко К., Шевчук М., Мирижук Є. Оцінка екологічного стану навколишнього середовища Іллінецької імпактної структури. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2022. Вип. 3. С. 66–72. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.98.08>.
10. Яцишин Т. М., Савик В. М. Дослідження впливу основних технологічних операцій процесу буріння нафтогазових свердловин на атмосферне повітря. *Збірник наукових праць ІПМЕ ім. Г.С. Пухова НАН України*. 2012. № 62. С. 54–59.
11. Звіт з оцінки впливу на довкілля буріння свердловин. СП «Полтавська газонафтова компанія». 2022. 499 с.
12. Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами. Український науковий центр технічної екології. 2004. Том I. 184 с.
13. Караїм О. А., Гулай Л. Д., Юрченко О. М., Бакараєв О. А., Джам О. А., Музиченко О. С., Лавринюк З. В. Оцінка впливу на довкілля викидів забруднюючих речовин ДП «Колківське ЛГ». *Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна серія «Екологія»*. 2021. вип. 24 С. 66–78.
14. Чугай А. В., Сафранов. Т. А. Методи оцінки техногенного впливу на довкілля. 2021. 118 с.

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ ДЛЯ ОБ'ЄКТІВ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ (НА ПРИКЛАДІ ОБ'ЄКТІВ ВІТРОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ У ЛЬВІВСЬКІЙ ОБЛАСТІ)

Лопушанська М.Р.^{1,2,3}, Іванов Є.А.¹, Вижва А.М.², Циганок Л.В.³

¹Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Університетська, 1, 79007, м. Львів

²Товариство з обмеженою відповідальністю «НОРДІК-БУД»
вул. Шота Руставелі, 7, 79005, м. Львів

³Асоціація професіоналів довкілля «РАЕВ»
а/с 25, 03087, м. Київ

maria.lopushanska.agrn@lnu.edu.ua, yevhen.ivanov@lnu.edu.ua,
a.vyzhva@nordikbud.com.ua, liudmyla.paeu@gmail.com

Запропоновано методику оцінки впливу на довкілля об'єктів відновлюваної енергетики та апробовано її на прикладі об'єктів вітрової енергетики у Львівській області. Пропонована методика визначає підходи щодо оцінки впливу на довкілля об'єктів відновлюваної енергетики на всіх етапах життєвого циклу (LCA). Розглянуто поєднання методів екологічного управління для визначення впливу діяльності на довкілля. Методи оцінки життєвого циклу стосуються екологічних аспектів, а економічні та соціальні аспекти та впливи перебувають поза сферою вивчення життєвого циклу. За допомогою методу оцінки впливу на довкілля (Environmental Impact Assessment, EIA) охоплено всі зазначені аспекти у методиці. Термін «оцінка впливу на довкілля» у методиці визначено як аналіз впливу діяльності на всіх етапах життєвого циклу на кожен компонент (фактор) довкілля. Термін розглядаємо як аналіз та оцінку впливу, а не процедуру, що регламентована Законом України «Про оцінку впливу на довкілля». У методиці запропоновано та уніфіковано компоненти (фактори) довкілля, які можуть зазнати впливу від діяльності на різних стадіях реалізації проекту. Для оцінки інтенсивності впливу обрано бальний метод оцінки впливу з використанням матриць для порівняння різних видів впливу. Запропоновано шкалу оцінювання впливу (від – 4 до +4 бали) на окремих етапах життєвого циклу проекту.

Проведено оцінку впливу на довкілля трьох вітрових електростанцій у Львівській області: «Старий Самбір-1» у Самбірському, «Сколівська ВЕС» у Дрогобицькому і «Сколівська ВЕС» у Стрийському районах. Для цих об'єктів створено типові оціночні матриці впливу на кожен фактор довкілля на всіх етапах життєвого циклу проекту. Враховуючи географічні особливості території, де розташовані вітрові електростанції чи планується їх будівництво, найбільші сумарні показники впливу спостерігаємо на етапах будівництва та виведення з експлуатації, найменші – на етапі експлуатації.

Методика носить виключно рекомендаційний характер та не суперечить чинному нормативно-правовому і нормативно-методичному забезпеченню щодо здійснення оцінки впливу на довкілля в Україні. *Ключові слова:* відновлювана енергетика, впливи, оцінка впливу на довкілля, оцінка життєвого циклу, вітрова енергетика, відновлювані джерела енергії.

Methodology for environmental impact assessment for renewable energy objects (on the example of wind energy projects in the Lviv region). Lopushanska M., Ivanov Ye., Vyzhva A., Tsyganok L.

The article proposes a methodology for assessing the environmental impact of renewable energy projects and tests it on the example of wind energy projects in the Lviv region. The proposed methodology defines approaches to assessing the environmental impact of renewable energy projects at all stages of the life cycle (LCA). The article considers a combination of environmental management methods to determine the impact of activities on the environment. Life cycle assessment methods deal with environmental aspects, while economic and social aspects and impacts are outside the scope of life cycle assessment. The Environmental Impact Assessment (EIA) method covers all of these aspects in the methodology. The term «environmental impact assessment» is defined in the methodology as an analysis of the impact of activities at all stages of the life cycle on each component (factor) of the environment. We consider the term to mean impact analysis and assessment, not the procedure regulated by the Law of Ukraine «On Environmental Impact Assessment». The methodology proposes and unifies the components (factors) of the environment that may be affected by activities at different stages of project implementation. To assess the intensity of the impact, a scoring method of impact assessment was chosen using matrices to compare different types of impact. A scale for assessing the impact (from -4 to +4 points) at certain stages of the project life cycle is proposed.

An environmental impact assessment was carried out for three wind farms in Lviv region: «Staryi Sambir-1 WPP» in Sambir district, «Skole WPP» in Drohobych district and «Skole WPP» in Striy district. For these objects, standard assessment matrices of the impact on each environmental factor at all stages of the project life cycle have been created. Taking into account the geographical features of the territory where wind farms are located or planned to be built, the highest cumulative impacts are observed during the construction and decommissioning stages, and the lowest during the operation stage.

The methodology is purely advisory in character and does not contradict the current regulatory and methodological framework for environmental impact assessment in Ukraine. *Key words:* renewable energy, impacts, environmental impact assessment, life cycle assessment, wind energy, renewable energy sources.

Постановка проблеми. Для комплексної оцінки впливу діяльності на довкілля протягом всього життєвого циклу об'єкта важливу роль відіграє підбір оптимальної методики. Найвні галузеві методики не у повному обсязі оцінюють вплив діяльності на довкілля, зокрема не враховують життєвий цикл продукції та комплексний аналіз на кожному з етапів життєвого циклу об'єкта.

Актуальність дослідження. Під час реалізації проектів з відновлюваної енергетики важливим етапом є оцінка впливу на довкілля. Відповідно до чинного законодавства України не всі об'єкти відновлюваної енергетики підлягають проходженню процедури з оцінки впливу на довкілля (далі – процедура ОВД). Комплексна оцінка впливу для цих проектів проводять не завжди та не у повному обсязі. Пропонуємо методику оцінки впливу на довкілля для об'єктів відновлюваної енергетики, яку варто використовувати на етапі планування проектів для визначення потенційного впливу діяльності на довкілля. Ця методика охоплює всі види об'єктів відновлюваної енергетики, в тому числі ті, що не підлягають проходженню процедури ОВД.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Комплексна оцінка впливу на довкілля необхідна на етапі передпроектних рішень, для забезпечення максимальної ефективності при мінімальному впливі на довкілля. На основі власного досвіду [1–3 та ін.] запропоновано методику оцінки впливу на довкілля для об'єктів відновлюваної енергетики на всіх етапах життєвого циклу проекту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні затверджено методики оцінки впливу на навколишнє середовище державними стандартами чи наказами Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, а також пропозиції розроблені і запропоновані науковими установами. Зокрема, у 2015 р. науковці Івано-Франківського НТУНГ видали «Методику екологічної оцінки використання відновлюваних джерел енергії», в якій оцінили вплив СЕС «Старі Богородчани-1» (Івано-Франківська обл.) на довкілля [4], а також методику оцінки впливу вітрової енергетики на довкілля [5]. У 2019 р. колектив Інституту гідробіології НАНУ запропонував «Науково-методичні рекомендації щодо підготовки звіту ОВД при будівництві малої ГЕС» [6]. У 2017 р. вчені Чернігівського НТУ опублікували методику інтегрального оцінювання впливу альтернативної енергетики на навколишнє середовище в умовах нестаціонарної економіки [7]. Підходи до оцінки впливу на навколишнє середовище вітрових електростанцій подані у ДСТУ 8339:2015 «Вітроенергетика. Вітроелектростанції. Оцінювання впливу вітроелектростанцій на навколишнє середовище» [8] і ДБН А.2.2-1:2021 «Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС)» [9].

Наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України затверджено «Загальні методичні рекомендації щодо змісту та порядку складання звітів з оцінки впливу на довкілля» [10].

Метою роботи є розроблення методичного забезпечення для здійснення оцінки впливу на довкілля для об'єктів відновлюваної енергетики як в наукових цілях, так і під час розроблення проектно-кошторисної документації, а також розроблення уніфікованого підходу для оцінки впливу на довкілля для об'єктів відновлюваної енергетики на всіх етапах життєвого циклу проекту.

Новизна. У методиці запропоновано оцінку впливу на окремі компоненти довкілля для об'єктів відновлюваної енергетики на всіх етапах життєвого циклу проекту. Запропоновано класифікацію компонентів (факторів) довкілля для оцінки впливу на довкілля об'єктів відновлюваної енергетики. На прикладі об'єктів відновлюваної енергетики Львівської області розглянуто можливості застосування методики, зокрема для вітрових електростанцій.

Методологічне та загальнонаукове значення. У методиці розглянуто поєднання всіх методів екологічного управління для визначення впливу діяльності на довкілля на етапах життєвого циклу проекту. Методи оцінки життєвого циклу стосуються екологічних аспектів, а економічні та соціальні аспекти та впливи перебувають поза сферою вивчення життєвого циклу. За допомогою методу оцінки впливу на довкілля (Environmental Impact Assessment, EIA) охоплено всі зазначені аспекти у методиці. Методика носить виключно рекомендаційний характер та не суперечить чинному нормативно-правовому і нормативно-методичному забезпеченню щодо здійснення оцінки впливу на довкілля в Україні.

Викладення основного матеріалу. У процесі проектування об'єктів відновлюваної енергетики важливим виступає не лише економічний чинник, а й екологічний. В його основі закладено визначення екологічних обмежень для діяльності та комплексна оцінка впливу на довкілля проекту на всіх етапах життєвого циклу [11]. Для об'єктивної оцінки впливу потрібно методичне та методологічне забезпечення. В основі запропонованого методичного підходу є визначення оцінки впливу на довкілля, під яким розуміємо аналіз впливу діяльності на окремих етапах життєвого циклу на компоненти (фактори) довкілля. Термін «оцінка впливу на довкілля» у методичному підході розглядаємо як аналіз та оцінку впливу, а не процедуру, яка регламентована Законом України «Про оцінку впливу на довкілля» [12].

Об'єктами дослідження є об'єкти відновлюваної енергетики, перелік яких визначено у чинному законодавстві України у сфері відновлюваної енергетики [13–15], а також у міжнародних фахових публікаціях. Зокрема до об'єктів відновлюваної енергетики, які підлягають оцінці впливу на довкілля, відносимо такі види як сонячну енергетику, вітрову енергетику,

малу гідроенергетику, біоенергетику (у т. ч. виробництво біопалива), геотермальну енергетику, водневу енергетику (зелену і рожеву), малу атомну енергетику із використанням малих модульних реакторів та інші види відновлюваної енергетики, які вважаються перспективними для України. Для окремих об'єктів відновлюваної енергетики притаманна власна специфіка впливу на компоненти довкілля на кожному з етапів реалізації проекту. У методиці запропоновано та розглянуто можливі види впливу на різних етапах життєвого циклу проекту.

Етапи життєвого циклу проекту для цього методичного підходу визначені на основі підходів оцінки життєвого циклу (Life Cycle Assessment, LCA) [16]. У стандарті ISO 14040 розглядається принцип «від колиски до могили», тобто від створення продукції до її утилізації. Оцінка життєвого циклу є одним із методів екологічного управління (оцінка впливу на довкілля, оцінка ризику, оцінка екологічної ефективності, екологічний аудит тощо). Згідно із стандартом життєвий цикл є послідовними та пов'язаними між собою стадіями продукційної системи – від придбання сировини чи її виготовлення з природних ресурсів до остаточного видалення.

Етапи життєвого циклу проекту. Для об'єктів відновлюваної енергетики запропоновано такі етапи життєвого циклу проекту: 1) *виробництва продукції (попередній)*; 2) *будівництва*; 3) *експлуатації*; 4) *реконструкції*; 5) *виведення з експлуатації*; 6) *завершення життєвого циклу проекту*.

Під час *етапу виробництва продукції* розглядають впливи на компоненти довкілля під час виробництва сонячних панелей, вітрових установок, турбін для малих гідроелектростанцій, інших елементів для об'єктів відновлюваної енергетики. За відсутності таких виробництв в Україні, цей етап не беруть до уваги під час загальної оцінки впливу проекту. На цьому етапі слід зазначати країну-виробника обладнання для об'єктів відновлюваної енергетики.

Під час *етапу будівництва* аналізують впливи на компоненти довкілля під час підготовчих, земляних і монтажних робіт. До підготовчих робіт належить підготовка земельної ділянки, огороження будівельного майданчика, знесення будівель і споруд, порушення елементів благоустрою відведеної земельної ділянки, вишукувальні роботи, роботи із спорудження тимчасових виробничих і побутових споруд, необхідних для організації та обслуговування будівництва, улаштування під'їзних шляхів, складування будівельних матеріалів, підведення тимчасових інженерних мереж, винесення інженерних мереж та видалення зелених насаджень [17]. Для прикладу, для вітрової енергетики розглядають площадку будівництва як ділянку на якій знаходяться головні і допоміжні будівлі і споруди вітрової електростанції. На ній розміщені вітроелектричні установки (ВЕУ), відкриті або закриті електричні розподільні пристрої, лінії електропередачі, управління

і зв'язку, автомобільні дороги, будівлі допоміжного призначення [18].

Під час *етапу експлуатації* вивчають вплив на компоненти довкілля після введення в експлуатацію об'єкта відновлюваної енергетики.

Під час *етапу реконструкції* досліджують вплив на компоненти довкілля у процесі заміни існуючого обладнання на об'єкті відновлюваної енергетики. У разі розширення станції, етап реконструкції здійснюють за підходом, що наведений для етапу будівництва, за умови що роботи передбачені проектно-кошторисною документацією.

Під час *етапу виведення з експлуатації* розглядають вплив на компоненти довкілля у процесі виведення з експлуатації окремого обладнання чи станції в цілому (про що зазначається).

Під час *етапу завершення життєвого циклу* слід простежити вплив на компоненти довкілля від моменту припинення діяльності станції і подальше управління з відходами після демонтажу обладнання. Наприклад, повторне перероблення сонячних панелей чи використання лопатей вітрових установок.

Компоненти (фактори) довкілля. У методиці запропоновано виокремити чотири групи компонентів (факторів) довкілля за такими групами: *географічні; біотичні; екологічні; суспільні (соціально-економічні)*.

Класифікація компонентів (факторів) довкілля для оцінки впливу на довкілля об'єктів відновлюваної енергетики на різних етапах життєвого циклу подано на рис. 1.

Класифікація впливу на компоненти довкілля. Важливим аспектом оцінки впливу є його класифікація. Пропонуємо шість типів впливу на компоненти довкілля, які розглядають на всіх етапах життєвого циклу проекту [10]: *прямі (безпосередні); непрямі (опосередковані); кумулятивні; аварійні; катастрофічні; мілітарні*.

До прямих відносять безпосередні впливи від діяльності (викиди від технологічного обладнання, шум під час здійснення робіт, зняття родючого шару ґрунту тощо). У свою чергу, до непрямих належать впливи від діяльності, що опосередковано діють на компоненти довкілля (наприклад, зміни виявлені через проміжні впливи).

До кумулятивних впливів зараховують підсилення дії інших підприємств (наприклад, збільшення шумового впливу від вітрових станцій чи впливу на річки внаслідок спорудження каскаду МГЕС). До аварійних впливів відносять виникнення різних позаштатних аварійних ситуацій на об'єкті, що зумовлена порушенням технологічних регламентів і безпеки експлуатації обладнання. До катастрофічних впливів включають наслідки катастрофічних природних явищ, які не залежать від діяльності підприємства, зокрема влучення блискавки у об'єкт, затоплення від повеней і паводків, землетруси, град, снігопад тощо. До мілітарних впливів належить дія

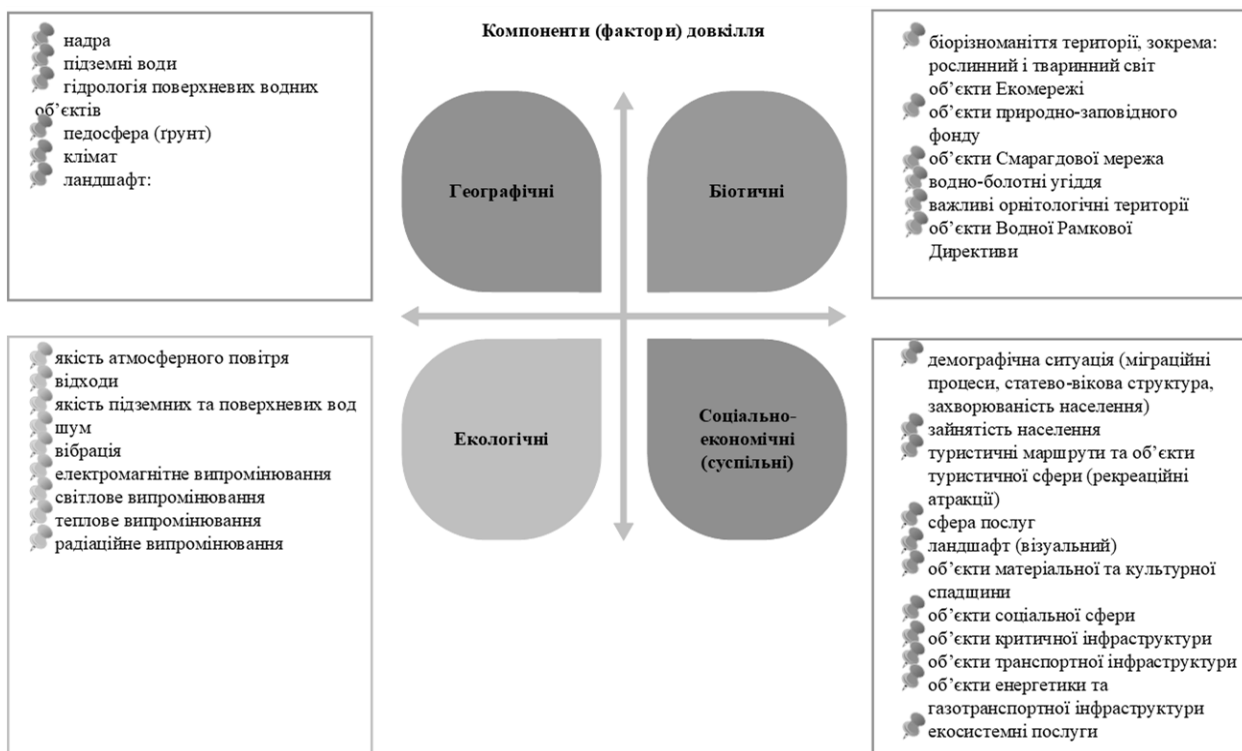


Рис. 1. Компоненти (фактори) довкілля, які зазнають впливу від діяльності на різних етапах життєвого циклу проекту (автор М. Лопушанська)

Таблиця 1

Просторові впливи діяльності на компоненти (фактори) довкілля

| Градація просторової оцінки | Ареал поширення площинного впливу | Ареал поширення лінійного впливу |
|-----------------------------|---|---|
| Локальний | Межі промислового майданчика об'єкта | Межі охоронних зон лінійних об'єктів |
| Місцевий | Межі промислового майданчика об'єкта з врахуванням СЗЗ* | Межі охоронних зон лінійних об'єктів |
| Регіональний | Межі промислового майданчика об'єкта з врахуванням зони впливу** | Межі охоронних зон лінійних об'єктів |
| Транскордонний | Межі промислового майданчика об'єкта з врахуванням зони впливу, що поширюється на дві і більше країни** | Межі охоронних зон лінійних об'єктів транскордонного значення |

* – у разі відсутності санітарно-захисної зони (СЗЗ) приймаємо зону впливу радіусом 1000 м від меж об'єкта;
 ** – приймаємо зону впливу радіусом 5000 м від меж об'єкта.

від безпосереднього влучання або ведення бойових дій у районі об'єкта.

Параметри впливу на компоненти довкілля.

У методиці розглянуто три головні параметри впливу: часова і просторова оцінка та інтенсивність впливу. Для кожного параметру розроблено шкали із критеріями у певній градації. Для оцінки інтенсивності впливу обрано бальний метод з використанням методу матриць, за допомогою якого порівняно різні види впливів. Оцінка впливу здійснюється для компонентів довкілля на кожному із етапів життєвого циклу проекту [4].

Для часової оцінки впливу діяльності на компоненти (фактори) довкілля використано шкалу оцінки його тривалості, що поділена на чотири періоди [4]: *короткотривалий* (до 6 місяців); *середньотривалий*

(від 6 місяців до року); *тривалий* (від 1 до 3 років); *довготривалий* (понад 3 роки).

Для просторової оцінки впливу слід використати методи моделювання і картографування території для визначення ареалів їх можливого поширення. Також необхідно враховувати можливі обмеження згідно нормативно-правового регулювання в Україні і міжнародних зобов'язань. В основу шкали просторової оцінки впливу, використано шкалу, що враховує просторові межі впливу для площинних і лінійних об'єктів [4]. Просторову оцінку впливу здійснюють для площинних, які мають ареал поширення, точкових і лінійних об'єктів (табл. 1).

Для оцінки інтенсивності впливу обрано бальний метод з використанням методу матриць, за допомогою якого порівнюють різні види впливів. Шкалу

оцінювання впливу (від -4 до +4 балів) розраховано на весь життєвий цикл проекту для окремих компонентів довкілля і кожного типу впливу. В основу шкали закладено інтенсивність впливу, тому чим нижчий показник, тим вона є меншою. У разі позитивного впливу застосовуємо від'ємні значення, у разі їх відсутності отримуємо нуль, а у разі негативного впливу – додатні значення (табл. 2). Чим більше значення сумарної оцінки впливу, тим його інтенсивність вище.

Результати оцінки впливу заносять у матрицю для кожного компонента (фактору) довкілля на всіх етапах життєвого циклу проекту. При цьому розглядаються всі компоненти (фактори) довкілля, які подані на рис. 1 та визначають бали інтенсивності впливу для кожного із шести типів впливу (табл. 3).

Сукупну оцінку інтенсивності впливу для окремого етапу життєвого циклу проекту ($O_{\text{заг}}$) розраховують за категорією значущості, яку визначаємо інтервалом значень залежно від суми балів отриманої згідно з табл. 2 і на основі оцінки інтенсивності впливу для кожного компонента (фактору) довкілля за формулою 1:

$$O_{\text{заг}} = \sum O_r + O_b + O_e + O_c, \quad (1)$$

де O_r , O_b , O_e , O_c – сумарні оцінки інтенсивності впливу для географічних, біотичних, екологічних і соціально-економічних (суспільних) компонентів (факторів) довкілля.

Для визначення максимального значення сукупної оцінки інтенсивності впливу для етапу життєвого циклу проекту ($S_{\text{заг}}$) визначено за формулою 2:

$$S_{\text{заг}} = k \times B \times \sum K_r + K_b + K_e + K_c, \quad (2)$$

де k – перевідний коефіцієнт (за від'ємних і нульовому значеннях становить 1; за додатніх значень становить: для незначного і малого негативного впливу – 2; для середнього негативного впливу – 3; для сильного негативного впливу – 4), B – кіль-

кість видів впливу, які розглянуті (для розрахунків приймаємо число 6); K_r , K_b , K_e , K_c – сумарні кількості оцінених географічних, біотичних, екологічних і соціально-економічних (суспільних) компонентів (факторів) довкілля для етапу життєвого циклу проекту (для розрахунків приймаємо числа 6, 6, 10 і 11 відповідно);

Інтервал значень балів для визначення сукупної оцінки інтенсивності впливу для кожного етапу життєвого циклу проекту подано у таблиці 4.

Алгоритм здійснення оцінки впливу на компоненти довкілля. Для визначення впливу на компоненти довкілля передбачено такі етапи (на основі [12, 16]): 1) збирання інформації і стопінг; 2) визначення обмежень діяльності; 3) дослідження території діяльності; 4) здійснення оцінки впливу на довкілля; 5) опрацювання та аналіз результатів оцінки; 6) розроблення пропозицій щодо мінімізації впливу на довкілля.

На початковому етапі слід зібрати дані щодо проекту, за можливості проектно-кошторисну документацію, результати раніше проведених досліджень. Після отримання даних, необхідно опрацювати інформацію та визначити екологічні обмеження діяльності. У разі виявлення можливого порушення природоохоронного законодавства варто визначити можливі територіальні чи технічні альтернативи у реалізації проекту. Здійснення виїзду для візуального огляду території та виявлення розбіжностей між картографічними матеріалами і територією діяльності.

Оцінку впливу на компоненти довкілля здійснюють за таким алгоритмом: I. Заповнення матриці впливу діяльності на компоненти (фактори) довкілля. Для визначення показників також використовують оцінювання просторового впливу (див. табл. 1). II. Визначення сукупної оцінки інтенсивності впливу для етапу життєвого циклу проекту, що розрахований за формулою 1. III. Визначення категорії значу-

Таблиця 2

Інтенсивність впливу діяльності на компоненти (фактори) довкілля

| Градації інтенсивності впливу | | Характеристика впливу | Оцінка, балів |
|-------------------------------|-----------|---|---------------|
| Позитивний | Сильний | покращення компонента довкілля на довготривалу перспективу (понад 3 років) | -4 |
| | Середній | покращення компонента довкілля на тривалу перспективу (1–3 роки) | -3 |
| | Малий | покращення компонента довкілля на середньотривалу перспективу (6 місяців – 1 рік) | -2 |
| | Незначний | покращення компонента довкілля на короткотривалу перспективу (до 6 місяців) | -1 |
| Відсутній | | не вплине на компонент довкілля | 0 |
| Негативний | Незначний | погіршення компонента довкілля на короткотривалу перспективу (до 6 місяців) | 1 |
| | Малий | погіршення компонента довкілля на середньотривалу перспективу (6 місяців – 1 рік) | 2 |
| | Середній | погіршення компонента довкілля на тривалу перспективу (1–3 роки) | 3 |
| | Сильний | погіршення компонента довкілля на довготривалу перспективу (понад 3 роки) | 4 |

Таблиця 3

Приклад матриці впливу діяльності на компоненти (фактори) довкілля

| Фактори довкілля / Впливи | Прямі | Непрямі | Кумулятивні | Аварійні | Катастрофічні | Мілітарні | Бали |
|--|-------|---------|-------------|----------|---------------|-----------|------|
| I. Етап виробництва продукції* | | | | | | | |
| Географічні фактори | | | | | | | |
| Надра | | | | | | | |
| ...** | | | | | | | |
| Сумарна оцінка | | | | | | | |
| Біотичні фактори | | | | | | | |
| Біорізноманіття території, зокрема рослинного і тваринного світу | | | | | | | |
| ...** | | | | | | | |
| Сумарна оцінка | | | | | | | |
| Екологічні фактори | | | | | | | |
| Якість атмосферного повітря | | | | | | | |
| ...** | | | | | | | |
| Сумарна оцінка | | | | | | | |
| Соціально-економічні (суспільні) фактори | | | | | | | |
| Демографічна ситуація (міграційні процеси, статево-вікова структура, захворюваність населення) | | | | | | | |
| ...** | | | | | | | |
| Сумарна оцінка | | | | | | | |
| Сукупна оцінка інтенсивності впливу для етапу* | | | | | | | |

* – зазначається для всіх етапів життєвого циклу проекту; ** – враховані компоненти (фактори) довкілля, які подані на рис. 1.

щості впливу для етапів життєвого циклу проекту (див. табл. 4) та підготувати діаграми (див. рис. 2, 3). IV. Опрацювання та аналіз результатів оцінки. На основі проведеної оцінки надати пропозиції щодо мінімізації впливу на довкілля на кожному із етапів життєвого циклу проекту.

Оцінка впливу на довкілля об'єктів вітрової енергетики Львівської області. На основі запропонованої методики проведено оцінку впливу на довкілля трьох вітрових електростанцій у Львівській області: «Старий Самбір-1» у Самбірському, «Сколівська ВЕС» у Дрогобицькому і «Сколівська ВЕС» у Стрийському районах.

ВЕС «Старий Самбір-1» є першою вітровою електростанцією на заході України, у гірському регіоні Українських Карпат. Першу чергу введено в експлуатацію у 2015 р. (дві вітрові установки данського виробництва «Vestas» загальною потужністю 6,6 МВт), а другу чергу – наступного року (аналогічні дві турбіни) [19, 20]. На основі методики здійснено оцінку впливу на компоненти довкілля та створено відповідні діаграми (рис. 2, 3). Сумарна оцінка впливу на всіх етапах життєвого циклу проекту становить 216 балів.

Вітроелектростанція «Сколівська ВЕС» у Дрогобицькому районі є першою вітровою електростанцією на заході України, яку збудовано за період воєнного стану. Загальна встановлена потужність станції становить 54,6 МВт. Сумарна оцінка

Таблиця 4

Категорії значущості впливу для етапів життєвого циклу проекту

| Градація значущості впливу | Сукупна оцінка, балів |
|--|-----------------------|
| Позитивний | до 0 |
| Відсутній | 0 |
| Незначний негативний, локальний вплив на короткотривалу перспективу | 1–396 |
| Малий негативний, місцевий вплив на середньотривалу перспективу | 397–594 |
| Середній негативний, регіональний вплив на тривалу перспективу | 595–792 |
| Сильний негативний (катастрофічний), регіональний або глобальний вплив на довготривалу перспективу | понад 792 |

впливу на всіх етапах життєвого циклу проекту становить 223 балів.

Вітроелектростанція «Сколівська ВЕС» у Стрийському районі матиме загальну встановлену потужність у 60 МВт та перебуває на етапі будівництва. Сумарна оцінка впливу на всіх етапах життєвого циклу проекту становить 243 бали.

Загалом при реалізації проектів з вітроенергетики найбільший вплив на довкілля простежується на етапі будівництва (31–33 %) та залежить від географічного

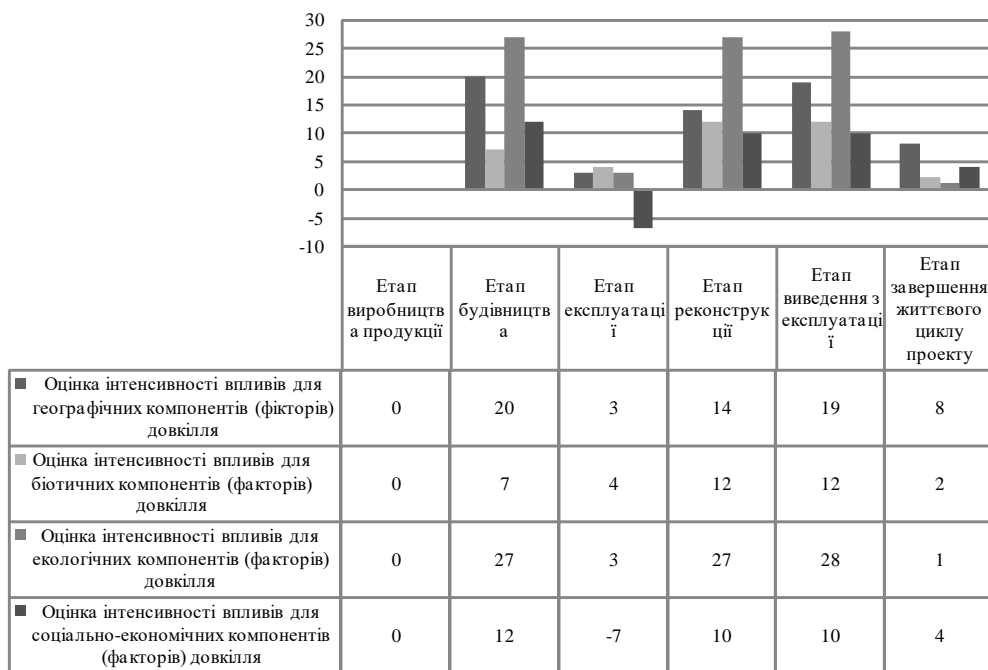


Рис. 2. Сумарна оцінка інтенсивності впливу на компоненти (фактори) довкілля для етапів життєвого циклу проекту ВЕС «Старий Самбір-1»

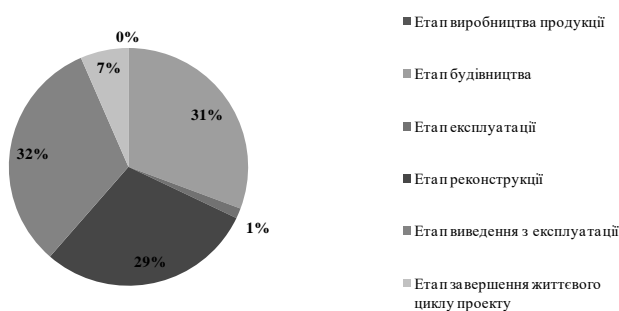


Рис. 3. Розподіл сумарної оцінки інтенсивності впливу по етапах життєвого циклу проекту ВЕС «Старий Самбір-1»

положення ВЕС. Також 31–32 % припадає на етап виведення з експлуатації, оскільки передбачається використання техніки, яка спричиняє додатковий вплив на довкілля. На етап експлуатації припадає найменший вплив від 1 до 2 % від загального оціненого впливу ВЕС. В цілому, на кожному з етапів реалізації проекту вплив оцінюється як незначний негативний із локальним впливом на короткотривалу перспективу. Найвища оцінка впливу становить 28 балів для екологічних компонентів (факторів) довкілля на етапі виведення з експлуатації. Найнижчою оцінкою впливу є 7 балів для соціально-економічних (суспільних) факторів на етапі експлуатації.

Головні висновки. Пропонуємо на розгляд такі головні висновки:

1. Під час реалізації проектів з відновлюваної енергетики важливим етапом є оцінка впливу на

довкілля. Пропонуємо методикою оцінки впливу на довкілля для об'єктів відновлюваної енергетики, яку варто використовувати на етапі планування проектів (передпроектних рішень) для визначення потенційних впливів діяльності на довкілля. Ця методика охоплює різні види об'єктів відновлюваної енергетики, в тому числі ті, що не підлягають процедурі ОВД.

2. У методиці запропоновано оцінку впливу всіх компонентів (факторів) довкілля для об'єктів відновлюваної енергетики на окремих етапах життєвого циклу проекту. Компонентів (факторів) довкілля об'єднано у чотири групи та запропоновано їхню класифікацію для оцінки впливу на довкілля об'єктів відновлюваної енергетики на всіх етапах життєвого циклу.

3. Проведено оцінку впливу на довкілля трьох вітрових електростанцій у Львівській області. На кожному з етапів реалізації проекту вплив оцінюється як незначний негативний із локальним впливом на короткотривалу перспективу. Сумарна оцінка впливу на всіх етапах життєвого циклу проекту для ВЕС «Старий Самбір-1» становить 216 балів, для «Сколівська ВЕС» (Дрогобицький район) – 223 бали, для «Сколівська ВЕС» (Стрийський район) – 243 бали.

Перспективи використання результатів дослідження. Наявні галузеві методики не у повному обсязі оцінюють вплив діяльності на довкілля, зокрема не враховують життєвий цикл продукції та комплексний аналіз на кожному з етапів життєвого циклу об'єкта. За допомогою запропонованої методики оцінки впливу на довкілля для об'єктів

відновлюваної енергетики можна оцінити вплив на компоненти довкілля на всіх етапах життєвого циклу проекту. На прикладі об'єктів відновлюваної

енергетики Львівської області розглянуто можливості застосування методики, зокрема для вітрових електростанцій.

Література

1. Лопушанська М.Р., Іванов Є.А. Гідрологічні чинники та їхня роль у розвитку відновлюваної енергетики у Львівській області. *Екологічні науки*. 2023. № 4 (49). С. 105–113. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.14>
2. Лопушанська М.Р., Іванов Є.А. Кліматичні чинники та їхня роль у розвитку сонячної енергетики у Львівській області. *Екологічні науки*. 2022. № 6 (45). С. 54–59. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.9>
3. Лопушанська М.Р., Іванов Є.А. Вітрова енергетика у Львівській області та проблеми перероблення непридатних вітрових установок. *Екологічні науки*. 2022. № 2 (41). С. 156–163. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.2-41.27>
4. Адаменко Я.О., Архипова Л.М., Москальчук Н.М. Методика екологічної оцінки використання відновлюваних джерел енергії. *Екологічна безпека*. 2015. № 2 (20). С. 37–42. http://nbuv.gov.ua/UJRN/ekbez_2015_2_8
5. Adamenko Ya., Arkhyrova L., Mandryk O., Moskalchuk N. Integral Environmental Impact Assessment of Projects Use Wind Energy. *Scientific Bulletin of North University Center of Baia Mare. Seria D. Mining, Mineral Processing, Non-ferrous Metallurgy, Geology and Environmental Engineering*. 2015. Vol. XXIX. № 2. P. 89–93.
6. Науково-методичні рекомендації щодо підготовки звіту ОВД при будівництві малої ГЕС (Методичний посібник) / за ред. С.О. Афанасьєва. Київ, 2019. 94 с.
7. Петраков Я.В., Гнедіна К.В. Методика інтегрального оцінювання впливу альтернативної енергетики на навколишнє середовище в умовах нестаціонарної економіки. *Проблеми економіки*. 2017. № 4. С.148–155.
8. ДСТУ 8339:2015. Вітроенергетика. Вітроелектростанції. Оцінення впливу вітроелектростанцій на навколишнє середовище. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=62884
9. ДБН А.2.2-1:2021. Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС). https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=98038
10. Про затвердження Загальних методичних рекомендацій щодо змісту та порядку складання звітів з оцінки впливу на довкілля : Наказ Міндовкілля від 15.03.2021 № 193. <https://mepr.gov.ua/nakaz-mindovkillya-193-vid-15-03-2021/>
11. Ivanov Ye., Lopushanska M., Teslovych M. Environmental restrictions of planning the construction of renewable energy facilities in the Lviv region. *International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2022»* (October 3–5, 2022, Lviv, Ukraine). <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022590068>
12. Про оцінку впливу на довкілля: Закон України від 23 травня 2017 р., № 2059-VIII. *Відомості Верховної Ради України*. 2017. № 29. Ст. 315. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text>
13. Про альтернативні джерела енергії: Закон України від 20 лютого 2003 р. № 555-IV. *Відомості Верховної Ради України*. 2003. № 24. Ст. 155. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text>
14. Zohuri B. Small Modular Reactors, the Next Big Renewable Energy Source. *Small Modular Reactors as Renewable Energy Sources*. Springer, Cham, 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92594-3_5
15. EU rules for renewable hydrogen: Delegated regulations on a methodology for renewable fuels of non-biological origin. *Think Tank. European Parliament*. [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI\(2023\)747085](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI(2023)747085)
16. ДСТУ ISO 14040:2013. Екологічне управління. Оцінювання життєвого циклу. Принципи та структура (ISO 14040:2006, IDT). https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=70997
17. Деякі питання виконання підготовчих і будівельних робіт: Постанова Кабінету Міністрів України від 13 квітня 2011 р. № 466. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/466-2011-%D0%BF#Text>
18. ГКД 341.003.001.002-2000. Правила проектування вітрових електричних станцій. Зміни. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=72198
19. Фондові матеріали ТОВ «Еко-Оптіма». Львів, 2024.
20. Геоєкологія Львівської області: монографія / Ю. Андрейчук, Л. Безручко, В. Біланюк та ін. / за заг. ред. Є. Іванова. Львів: Простір-М, 2021. 606 с.

УДК 504.03:672:628.5

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.1.20>

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ «ЗЕЛЕНОЇ» МЕТАЛУРГІЇ В КОНТЕКСТІ МІНІМІЗАЦІЇ ВПЛИВУ НА АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ

Навольнєв І.Ю., Максимова Н.М.

ТОВ «Технічний університет «Метінвест Політехніка»

вул. Південне шосе, 80, 69008, м. Запоріжжя

Ihor.Navolniev@mipolytech.education, natalya.maksimova@mipolytech.education

Аналіз сучасних тенденцій розвитку металургійної промисловості та світової кліматичної політики показав доцільність окреслення подальшого розвитку металургійної промисловості з урахуванням мінімізації впливів на довкілля, зокрема з урахуванням викидів двоокису вуглецю у атмосферне повітря, та виявлення перспективних технологій виробництва металопродукції, на які слід в першу чергу звернути увагу для подальшого впровадження у виробничу діяльність. Для визначення шляхів мінімізації техногенного навантаження виконано аналіз різних методів виробництва сталі, зокрема ряду перспективних технологій H-DR, Midrex, ItMK3. Показано, що при оцінці ефективності враховуються екологічні впливи виробничої діяльності на довкілля, в тому числі прямі та непрямі викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря. Ці показники також є визначальними для положення виробника сталі у світових рейтингах, таких як рейтинг ризиків у сфері екології, соціальної політики та корпоративного управління (ESG) компаній. Розглянуто як інструмент опосередкованого регулювання викидів парникових газів металургійними підприємствами систему екологічного оподаткування. На підставі нарахування екологічного податку на одну тону металопродукції, отриманої доменно-конверторним способом BF-BOF, за технологіями прямого відновлення заліза EAF (DRI), за електросталеплавильною технологією EAF (брухт), показана економічна доцільність максимального використання вторинної сировини. Порівняння технологій, які використовують викопні копалини у виробничому процесі, показало, що технологія прямого відновлення заліза EAF (DRI) характеризується деякими перевагами за доменно-конверторний спосіб виробництва сталі (BF-BOF). *Ключові слова:* парникові гази, тенденції розвитку металургійної промисловості, безпосереднє виробництво заліза, викиди двоокису вуглецю, екологічне оподаткування.

Analysis of current trends in the development of the metallurgical industry in the context of minimizing the impact on the air.
Navolnyev I., Maksymova N.

An analysis of current trends in the development of the steel industry and global climate policy has shown the expediency of outlining the further development of the steel industry with a view to minimising environmental impacts, in particular, taking into account carbon dioxide emissions into the atmosphere, and identifying promising technologies for the production of steel products that should be considered for further implementation in production activities. To identify ways to minimise the technogenic load, the article analyses various steelmaking methods, including a number of promising technologies such as H-DR, Midrex, and ItMK3. It is shown that the efficiency assessment takes into account the environmental impact of production activities on the environment, including direct and indirect emissions of pollutants into the atmosphere. These indicators are also decisive for the position of a steel producer in global rankings, such as the rating of environmental, social and corporate governance (ESG) risks of companies. The article considers the system of environmental taxation as an instrument of indirect regulation of greenhouse gas emissions by metallurgical enterprises. Based on the calculation of environmental tax per tonne of steel products produced by the BF-BOF process, direct reduction of iron (DRI), and electric arc furnace (EAF) technology (scrap), the economic feasibility of maximising the use of secondary raw materials is shown. A comparison of technologies that use fossil fuels in the production process has shown that the EAF direct reduction iron (DRI) technology has some advantages over the blast furnace-box furnace (BF-BOF) steelmaking process. *Key words:* greenhouse gases, trends in the development of the metallurgical industry, direct iron production, carbon dioxide emissions, environmental taxation.

Постановка проблеми. За новою дорожньою картою Європейської комісії [1] рекомендовано країнам Європейський союзу зменшити викиди парникових газів до 850 млн тонн еквіваленту вуглекислого газу (CO₂e). Одночасно з цим передбачається близько 400 млн тонн CO₂e видалити з атмосфери за допомогою технологій уловлення та зберігання вуглецю (carbon capture and storage (CCS), наприклад, за рахунок озеленення. Загалом ці рішення повинні допомогти досягти зменшення викидів до 450 млн тонн CO₂e в 2040 році, що на 90% нижче за рівень 1990 року та на 86% нижче за відповідні показники 2022 року [2]. Проміжною запланованою ціллю є зменшення викидів парникових газів на

55% CO₂e до 2030 року. Кінцевою ціллю є досягнення нульових викидів у 2050 році.

Наразі Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України спільно з експертами Генеральних директоратів Єврокомісії з кліматичних заходів DG Clima та з питань навколишнього середовища DG ENV, а також представниками Секретаріату міжнародного співтовариства Energy Community обговорюють проект рамкового кліматичного закону «Про основні засади державної кліматичної політики», який має імплементувати регламенти ЄС 2018/1999 та 2021/1119, та Стратегію впровадження Європейської системи торгівлі викидами (СТВ) в Україні [3]. Останнє вже знайшло відображення за рахунок вне-

сення змін до постанов Кабінету Міністрів України з питань моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів [4]. Відповідно до способу технічного функціонування національно-визначених внесків, ініціативи з вуглецевого ціноутворення класифікують як системи торгівлі викидами (СТВ) та вуглецеві податки [5].

Багато країн, попри суперечливі погляди, висловили свою згоду на поступове досягнення амбіційних цілей міжнародної кліматичної політики в рамках Конференції ООН зі зміни клімату 2023 року (COP28) [6]. На другий день заходу було створено «кліматичний клуб» задля розвитку співробітництва між країнами, які намагаються зменшити викиди парникових газів від важкої промисловості, наприклад, виробництва сталі. Однією з ініціатив клубу є створення «платформи для пошуку партнерів», яка дасть змогу учасникам отримати технічну допомогу, а також фінансування для підтримки переходу до низьковуглецевих методів.

Актуальність дослідження. Металургійна промисловість – є одним з «стовпів» розвитку сучасної економічної системи, при цьому залишаючись одним з лідерів-забруднювачів навколишнього середовища [7]. Виходячи з цього, подальший розвиток людства не можливий без трансформації технологічних процесів виробництва металів у більш екологічно безпечнішому напрямку. При цьому використання новітніх технологій повинне не тільки забезпечувати виконання екологічних рекомендацій з мінімізації впливів на довкілля, зокрема щодо викидів парникових газів у атмосферне повітря, а й вийти у зону прибутковості порівняно із «старими» методами виробництва сталі. Тому впровадження у виробництво кращих доступних технологічних рішень завжди є актуальною науково-практичною задачею.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Тематика досліджень відповідає основним напрямкам політики держави в сфері сталого розвитку, а саме Указу Президента «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року» (№ 722/2019 від 30.09.2019), Закону України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» (№ 2697-VIII від 28.02.2019), а також Паризькій кліматичній угоді (2015), яка прийнята в рамках Рамкової конвенції ООН про зміну клімату (UNFCCC).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Насьогодні близько 90 % чавуну піддається подальшій обробці для отримання сталі, яка характеризується більш високими механічними властивостями [8]. Виробництво сталі є значною частиною глобальних викидів CO₂ [9, 10]. За даними [11, 12] на початок XXI ст. виробнича діяльність сталеливарної промисловості обумовлювала близько 5–7% від загальної кількості антропогенних викидів CO₂. За оцінками Carbon Brief, сталеливарна продукція відповідає за 11 % усіх викидів CO₂. Інші джерела, такі

як Our World in Data, оцінюють цей показник ближче до 7,2% [13].

Промислового поширення набуває перехід від виробництва сталі за використанням доменної печі (BF) до киснево-конвертерної печі (BOF) [11]. Задля виробництва сталі можливо використовувати різні шихтові матеріали, наприклад, залізну руду та брукхт, що, як наслідок, впливає на енерговитрати та викиди CO₂.

Вуглецевий слід сталі становить 1,4 тонни на вироблену тонну сталі за даними Міжнародного енергетичного агентства (International Energy Agency, IEA), яке є автономним міжнародним органом в рамках Організації економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР). Recycling Today, спираючись на дані міжнародної консалтингової компанії Mckinsey і Всесвітньої асоціації виробників сталі (World Steel Association), показує питомі викиди в розмірі 1,85 тонн CO₂ на вироблену тонну сталі за [13]. Цей середньозважений показник враховує показники викидів за двома основними способами виробництва сталі у світі: доменна піч – киснева піч (Blast Furnace-Basic Oxygen Furnace (BF-BOF)) та електродугова піч (Electric Arc Furnace (EAF)), які часто називають «первинним» і «вторинним» способами. За даними New Steel Construction, з урахуванням повного життєвого циклу продукту викиди CO₂ за цими двома методами становлять 1,987 та 0,357 тонни CO₂ на тонну виробленої сталі відповідно. За даними Всесвітньої асоціації виробників сталі (World Steel Association) для способу виробництва сталі доменна піч – киснева піч (Blast Furnace-Basic Oxygen Furnace (BF-BOF)), який є найбільш поширеним у світі, характерна середня кількість викидів CO₂ на метричну тонну виробленої сталі в розмірі 1,85 [13].

Стверджується, що 90% всієї сталі у світі перевозиться морським транспортом [13]. За даними досліджень викидів парникових газів, проведених у 2009 р., Міжнародна палата судноплавства (International Chamber of Shipping (ICS)) зазначає, що вплив транспортування на вуглецевий слід сталі оцінюється в 7,9 грама на тонно-кілометр при транспортуванні вантажів навалом [13].

Слід зважати, що питомі показники залежать від способу виробництва сталі, і, можуть істотно відрізнятися від вище наведених середньозважених показників для двох різних методів виробництва сталі.

Домено-конверторний спосіб отримання сталі є енергетично- та вуглецевоємним процесом. Основними джерелами утворення викидів CO₂ є вугілля та вапняк. Найбільша частина викидів CO₂ пов'язана із виробництвом чавуну.

За даними [14] викиди CO₂ при первинній виплавці сталі доменна піч – киснева піч (BF-BOF) складають за маршрутом: доменна піч – 69%, сталеплавильне виробництво – 11%, огрудкування – 2%, коксові печі – 5%, спікання – 13%.

Спосіб відновлення заліза із залізної руди або котунів виключає доменне виробництво чавуну. Безпосереднє виробництво заліза або пряме одержання заліза також носить й інші менш розповсюджені назви: металізація (часткова металізація) руд, пряме отримання заліза, бездоменна (недоменна) металургія заліза, безкоксова металургія заліза. Продукт процесу називають залізом прямого відновлення (Direct Reduced Iron, DRI). Класифікація процесів DRI за видом одержуваного продукту: отримання частково металізованих (ступінь металізації 30–50%) матеріалів для доменних печей; отримання високометалізованого продукту (ступінь металізації 85–95%) у твердому вигляді (губчастого заліза) для переплавки в сталеплавильних агрегатах з отриманням сталі; одержання металізованого продукту в пластичному стані (кричного заліза) для різних цілей, у тому числі як варіант пірометалургійного збагачення важкозбагачуваних, бідних та комплексних руд; отримання рідкого металу (чавуну чи напівпродукту) для переплаву в сталеплавильних печах.

Процеси DRI можна поділити на групи в залежності від типу реактору, що використовується: шахтні печі (Midrex, Energiron); обертові печі (SL/RN); обертові горнові печі (Fastmet/Fastmelt, ITmk3), реактори з псевдозрідженим шаром (Circored) [14–15].

Однією з найбільш розповсюджених технологій виробництва DRI вважається Midrex від компанії «Midrex Technologies, Inc.», яка є дочірньою компанією японської металургійної компанії «Kobe Steel» [16–18]. Процес Midrex – один з багатьох способів позадоменного, безпосереднього (прямого), одержання заліза з залізної руди.

Виробництво DRI на природному газі характеризується енергоспоживанням в розмірі 10,0–11,4 ГДж/т-DRI, а також викидами CO₂ в обсязі 0,77–0,92 тонни CO₂ на тонну сталі у порівнянні з приблизно 1,9 тонни CO₂ на тонну сталі за способом виробництва доменна піч – киснева піч (BF-BOF) [14].

Процес DRI є більш дорожчим, аніж процес BF, та потребує більш якісної залізородної сировини. Також необхідна доволі велика кількість електроенергії для виготовлення DRI в електродуговій печі (electric arc furnace, EAF). Проте суттєвим потенціалом технології DRI є зменшення викидів CO₂ за рахунок усунення необхідності використання коксових печей (табл. 1) [14].

Окремо необхідно зупинитися на такій технології безпосереднього відновлення заліза, як ITmk3, яка є продовженням технології Midrex від японської компанії Kobe Steel. Процес ITmk3 спрямований на виробництво гранульованого заліза високої чистоти з використанням залізородного концентрату та некоксового вугілля. Процес ITmk3 відрізняється швидким відновленням, науглерожуванням, плавленням і відділенням шлаку за нижчої температури.

Процес ITmk3 повністю відхиляє звичайні концепції виробництва заліза. Kobe Steel розглядає це як третє покоління технології виробництва чавуну після поточного основного процесу доменної кисневої печі (BF-BOF) і процесу прямого відновлення (DRI), представленого процесом Midrex. Процес ITmk3 може забезпечити реакцію відновлення приблизно за 10 хвилин, порівняно з 8 годинами процесу BF-BOF і 6 годинами процесу DR [19]. Ця технологія дозволяє виготовляти залізо методом прямого відновлення із залізородної дрібниці (концентрату) з використанням вугілля, що не коксується, як відновник. Сам процес, що займає часу від 8 до 12 хв, виглядає таким чином. У піч з подом, що обертається, завантажують рудовугільні котуни, отримані окомкуванням суміші концентрату і енергетичного вугілля. Тут котуни нагрівають до 1350–1400°C, що призводить до відновлення і розплаву заліза. Це ж забезпечує ефективне відділення чавуну від низькозалістистого шлаку, який утворюється всередині котунів ще до розплавлення металу. На виході виходить гранульований чавун (винахідники назвали свій продукт англійським словом puggets), який містить 96–98% чистого заліза та 2–4% вуглецю [19].

Увагу приділяють як застосуванню поновлюваної, або регенеративної, «зеленої» енергії в країнах ЄС, так й пропонуються пілотні проекти процесів з використанням водню, розробляються положення водневої економіки [9].

Прикладом технології з водневого відновлення заліза H-DR є проект компанії Sunfire, Salzgitter Group та їхніх міжнародних партнерів з побудови парового електролізного заводу для енергоефективного виробництва водню. Salzgitter використовуватиме водень для виробництва сталі [20–21].

Проект GrInHy2.0 був запущений у січні 2022 р. в Salzgitter Flachstahl (SZFG), металургійній дочірній компанії Salzgitter Group, яка буде керувати

Таблиця 1

Огляд поширених технологій прямого відновлення заліза [14]

| Технологія | Споживання енергії | Викиди CO ₂ |
|----------------|--|---|
| Midrex Process | Разом ~ 10,4 ГДж/т-DRI. Споживання природного газу на високоєфективних установках Midrex ~ 9,6 ГДж/т-DRI. | Деякі заводи з технологіями MIDREX або EAF викидають в атмосферу лише третину CO ₂ , ніж за способом виробництва сталі BF-BOF. |
| ITmk3 Process | Зменшення споживання енергії на 3 та 10 ГДж/т-НМ порівняно з великими та малими доменними печами. Не використовується електроенергія. | Очікується скорочення викидів на 1 т CO ₂ /т-НМ. |

заводом. Це продовження успішного першого етапу «Зеленого промислового водню за допомогою парового електролізу» (GrInHy), який розпочався в березні 2016 року. GrInHy був результатом співпраці SZFG і Sunfire.

Паровий або високотемпературний електроліз Sunfire стане центральним елементом нового проєкту, як і в попередньому. Високотемпературний електролізер вироблятиме водень (99,98%) зі швидкістю 200 м³/год. GrInHy2.0 матиме номінальну споживану потужність 720 кВт, що більше ніж GrInHy, який мав номінальну споживану потужність 150 кВт. За словами Sunfire, збільшення дозволить проєкту «масово випробувати і протестувати інтеграцію «зеленого» водню в сталеливарні процеси». Очікується, що електрична ефективність у новому проєкті буде збільшена порівняно з попереднім приблизно з 78% до принаймні 84%. Загальний бюджет проєкту склав 5,5 млн євро (6,22 млн доларів США) [20–21].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Аналіз сучасних тенденцій розвитку металургійної промисловості та світової кліматичної політики показав доцільність окреслення подальшого розвитку металургійної промисловості з урахуванням мінімізації впливів на довкілля, зокрема з урахуванням мінімізації викидів двоокису вуглецю у атмосферне повітря, та виявлення перспективних технологій виробництва металопродукції, на які слід в першу чергу звернути увагу для подальшого впровадження у виробничу діяльність.

Метою досліджень є аналіз перспектив використання новітніх технологій у порівнянні з класичними методами виробництва чорних металів з ухилом на більш раціональне використання ресурсної бази з урахуванням зменшення навантаження на атмосферне повітря в районах дислокації.

Виклад основного матеріалу. Впровадження інноваційних рішень у металургії сприяють досягненню стратегічних цілей сталого розвитку, серед яких виділяють зменшення викидів парникових газів у атмосферне повітря та енергоємність металевої продукції, які, як правило, взаємопов'язані. Наразі більшої уваги приділяють механізму регулювання кордонів викидів вуглецю (Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM) як інструмент контролю металургії як однієї з галузей економіки, виробничу діяльність якої утворює екологічний тиск на атмосферне повітря [22–23]. При оцінці ефективності технологій враховуються всі екологічні впливи від виробництва, в тому числі прямі і непрямі енерговитрати та викиди забруднюючих речовин. Енергетичні та екологічні показники також є визначальними для положення виробника сталі у світових рейтингах, таких як рейтинг ризику ESG компаній.

Не дивлячись на значне зростання ставки екологічного податку за викиди в атмосферне повітря двоокису вуглецю від 01.01.2022 р. з 10 гривень за

1 тону CO₂ до 30 гривень за тону CO₂, цей фіскальний платіж залишається одним з найнижчих аналогічних фіскальних платежів в Європі. До прикладу у Швеції ставка (є найвищою) становить \$137/т CO₂, в Швейцарії – \$101/т CO₂, Фінляндії – \$62/т CO₂, Норвегії – \$69/т CO₂, Франції – \$52/т CO₂, Нідерландах – \$35/т CO₂, Португалії – \$28/т CO₂, в Україні ж, відповідно, – \$0,79/т CO₂ [24]. Вуглецевий слід виробничої діяльності впливає на ціноутворення продукції.

На підставі нарахування екологічного податку на одну тону металопродукції розглянемо економічну доцільність максимального використання вторинної сировини. За даними GMK.Center станом на 2021 р., значення питомих викидів двоокису вуглецю на тону сталі у розрізі таких основних технологій, як: 2,2 т CO₂/т сталі – доменно-конверторний спосіб BF-BOF, 1,0 т CO₂/т сталі – технології прямого відновлення заліза EAF (DRI), 0,3 т CO₂/т сталі – електросталеплавильна технологія EAF (брухт). Такі низькі показники викиду двоокису вуглецю за технологією EAF пояснюється вторинною переробкою сировини (брухту) без участі вугільних та вапнякових компонентів. При цьому, викиди все ж такі присутні, так як пояснюються необхідністю генерування електричної енергії для плавлення лому.

Ставка податку на викиди CO₂ в різних країнах Європи різна, а для його узгодженості наразі відбувається впровадження механізму CBAM, тому для порівняння візьмемо ставки оподаткування України та Швеції. Чому Швеції – тому, що у Швеції одна з максимальних ставок податку (137 євро/т) на викид двоокису вуглецю, а так як з 2024 р. CBAM [22–23] вже вступає в дію, то припускаємо, що його ставка також буде досить відчутною (табл. 2).

Таблиця 2

Порівняння ставок оподаткування за викиди двоокису вуглецю в атмосферне повітря, грн./євро на 1 т сталі

| Країна | Спосіб виробництва сталі | | |
|---------|--------------------------|-----------|-------------|
| | BF-BOF | EAF (DRI) | EAF |
| Україна | 66/1,74 | 30/0,79 | 9/0,24 |
| Швеція | 11453,2/301,4 | 5206/137 | 1561,8/41,1 |

За результатами порівняння технологій, які використовують викопні копалини у виробничому процесі, вважається, що EAF (DRI) є оптимальнішою за BF-BOF. При цьому треба зазначити, що впровадження технології BF-BOF в теперішній час дешевше і навіть з такими показниками рентабельність вища за технологію EAF (DRI).

Головні висновки. Одним з інструментів відображення політики вуглецевої нейтральності країн-членів Європейського Союзу є механізм регулювання кордонів викидів вуглецю, який слід розглядати додатковим чинником сталого розвитку чорної металургії за рахунок впровадження у виробничу

діяльність сучасних технологій, зокрема технологій прямого відновлення.

На підставі аналізу екологічного оподаткування за викиди в атмосферне повітря двоокису вуглецю

стаціонарними джерелами забруднення в Україні та за кордоном, підкреслена доцільність пошуку інноваційних технологій виготовлення металопродукції та модернізації вже існуючих виробничих потужностей.

Література

1. Communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions. Securing our future Europe's 2040 climate target and path to climate neutrality by 2050 building a sustainable, just and prosperous society. EUROPEAN COMMISSION. Strasbourg, 6.2.2024 COM(2024) 63 final. 60 pp. URL: https://climate.ec.europa.eu/document/download/2ccd7710-5fc3-420f-aeb8-9a3af271f970_en?filename=2040%20Climate%20Target%20Communication_en_0.pdf (дата звернення: 13.02.2024).
2. Q&A: European Commission calls for 90% cut in EU emissions by 2040. *Carbon Brief*. URL: <https://www.carbonbrief.org/qa-european-commission-calls-for-90-cut-in-eu-emissions-by-2040/> (date of access: 13.02.2024).
3. В Міндовкілля говорили про ключові аспекти кліматичної політики України. Новини від 12.02.2024. Урядовий портал. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/v-mindovkillya-hovoryly-pro-kluchovi-aspekty-klimatychnoi-polityky-ukrainy> (дата звернення: 13.02.2024).
4. Про внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України з питань моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів: Постанова Кабінету Міністрів України від 14 листопада 2023 р. № 1203. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/KP231203?an=1> (дата звернення: 13.02.2024).
5. Costantino F. Звіт про міжнародні добровільні та обов'язкові вуглецеві ринки з особливим акцентом на механізми, які застосовуються у випадку низьковуглецевого сільського господарства та потенційні можливості для українських виробників. United Nations Development Programme. 2022. 217 с. URL: <https://www.undp.org/uk/ukraine/publications/zvit-pro-mizhnarodni-dobrovilni-ta-obovyazkovi-vuhletsevi-rynky-z-osoblyvym-aktstentom-na-mekhanizmy-yaki-zastosovuyutsya-u> (дата звернення: 13.02.2024).
6. COP28: Key outcomes agreed at the UN climate talks in Dubai. *Carbon Brief*. URL: <https://www.carbonbrief.org/cop28-key-outcomes-agreed-at-the-un-climate-talks-in-dubai/> (дата звернення: 13.02.2024).
7. Фещенко О.Л., Каменева Н.В. Оцінка впливу діяльності металургійних підприємств на навколишнє природне середовище України. *Інвестиції: практика та досвід*. 2016. № 2. С. 28-32. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ipd_2016_2_8 (дата звернення: 26.12.2023 р.).
8. Sohn H.Y. Energy Consumption and CO₂ Emissions in Ironmaking and Development of a Novel Flash Technology. *Metals*. 2020; 10(1):54. <https://doi.org/10.3390/met10010054>.
9. Мельник С.Г. «Зелена» металургія на етапі переходу до вуглецевої нейтральності. *Met. lit'e Ukr.*, vol. 30, 2022, № 1 (328), 16-27. <https://doi.org/10.15407/steelcast2022.01.016>.
10. Best available techniques (BAT) reference document for iron and steel production. *Publications Office of the European Union*. URL: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/ea047e8-644c-4149-bdcb-9dde79c64a12> (дата звернення: 26.12.2023 р.).
11. Wang C., Ryman C., Dahl J. Potential CO₂ emission reduction for BF-BOF steelmaking based on optimised use of ferrous burden materials, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, Volume 3, Issue 1, 2009, Pages 29-38, <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2008.06.005>.
12. OECD Annual Report 2001, *OECD Publishing*, Paris. 2001. 136 pp. <https://doi.org/10.1787/annrep-2001-en>.
13. What is the carbon footprint of steel? *Sustainable Ships*. URL: <https://www.sustainable-ships.org/stories/2022/carbon-footprint-steel> (дата звернення: 12.02.2024).
14. Sohn H.Y., Mohassab Y. Greenhouse Gas Emissions and Energy Consumption of Ironmaking Processes. 2016. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-39529-6>.
15. Duarte P.E., Vecerra J., Lizcano C., Martinis A. ENERGIIRON direct reduction technology-economical, flexible, environmentally friendly. *Acero Latino Americano*, 2008, 6, 52-58. URL: <https://www.energiron.com/wp-content/uploads/2019/05/2008-Environmental-Emissions-Compliance-And-Reduction-Of-Greenhouse-Gases-In-A-DR-EAF-Steel-Plant-2.pdf> (дата звернення: 13.02.2024).
16. Direct Reduction Plant. *KOBELCO*. URL: <https://www.kobelco.co.jp/english/products/ironunit/dri/index.html> (date of access: 23.12.2023).
17. 2022 World direct reduction statistics. MIDREX. Englewood Cliffs, New Jersey, U.S.A.: Midrex Technologies, Inc. 2023. 16 pp. URL: <https://www.midrex.com/wp-content/uploads/MidrexSTATSBook2022.pdf> (date of access: 23.12.2023).
18. MIDREX Plants. *Midrex Technologies, Inc.* URL: <https://www.midrex.com/about-midrex/midrex-plants-map/> (date of access: 23.12.2023).
19. ITmk3® Process. *KOBELCO*. URL: <https://www.kobelco.co.jp/english/products/ironunit/itm3.html> (date of access: 23.12.2023).
20. Jasi A. Sunfire and Salzgitter to build world's most powerful steam electrolysis plant. *The Chemical Engineer*. 2019. URL: <https://www.thechemicalengineer.com/news/sunfire-and-salzgitter-to-build-world-s-most-powerful-steam-electrolysis-plant/> (дата звернення: 26.12.2023 р.).
21. GrInHy2.0. SALCOS. *Salzgitter AG*. URL: <https://salcos.salzgitter-ag.com/de/grinhy-20.html> (дата звернення: 26.12.2023 р.).
22. Навольнев І.Ю., Максимова Н.М. Деякі питання нормативно-правового забезпечення захисту довкілля в Україні. *MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education: International scientific conference, Riga, the Republic of Latvia, 29–30 November 2023. Riga, Latvia: “Baltija Publishing”, 2023. Vol. 2. 207-210 pages. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-147>.*
23. Carbon Border Adjustment Mechanism. Taxation and Customs Union. *European Commission*. URL: https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en (дата звернення: 26.12.2023 р.).
24. Єременко І.О. Ціна вуглецю в Україні та практики використання надходжень від податку на CO₂. *Екодія*, 2021. 38 с. URL: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2021/12/cina-vyhleciyu-v-ukrainiv-2.pdf> (дата звернення: 16.12.2023 р.).

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ШАХТНОЇ ВОДИ КРИВОРІЗЬКОГО ЗАЛІЗОРУДНОГО БАСЕЙНУ

Салій І.В.², Кияшко В.Т.², Орехова О.В.¹, Павленко О.І.¹

¹Державна установа «Український науково-дослідний інститут промислової медицини»
вул. Виноградова, 40, 50096, м. Кривий Ріг

²Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, м. Київ
orehovaoksana@ukr.net, igor.salii@gmail.com

За підсумками здійснених експериментальних досліджень науковцями окреслено хімічний склад шахтної води Криворізького залізорудного басейну. Зазначено, що концентрації речовин у шахтній воді перевищують гранично допустимі рівні в загальній мінералізації, завислих речовинах, за вмістом хлоридів сульфатів та заліза. Так, на верхніх горизонтах (з 475 м до 865 м) склад шахтної води за рівнем сухого залишку, хлоридів та сульфатів знаходиться приблизно на одному рівні, а нижче горизонту (955 м і глибше) значення показників значно зростають. Вміст сульфатів знаходиться в межах нормативних значень від горизонту 475 м до горизонту 700 м і становив від 290,150±236,150 до 494,375±26,180 мг/дм³. Шахтна вода за вмістом хлоридів від горизонту 475 м до горизонту 865 м, а також сульфатів до горизонту 775 м не перевищує аналогічні показники у річці Інгулець. Отже, використання запропонованого методу розділення шахтної води з окремих горизонтів дозволить здійснювати відповідне відведення води з верхніх горизонтів (до 775 м включно) безпосередньо у природні водойми. Під час підрахунку водопритливів за відповідними окремими горизонтами з'ясовано, що шахтна вода з горизонтів 475 м до 865 м становить 30–40 відсотків всієї шахтної води.

Підкреслено, що одержані дані щодо хімічного складу шахтної води необхідно використовувати з метою постійного моніторингу її складу та якості, що дасть змогу контролювати ефективність роботи схеми змін водовідливу, запропонованої авторами наукової праці, для належного повторного використання шахтної води. Хімічний склад шахтної води з більш глибоких шахтних горизонтів вимагає пошуку ефективніших засобів з очищення та демінералізації шахтної води. *Ключові слова:* шахтна вода, залізорудний басейн, хімічний склад шахтної води, очищення, хімічний склад, демінералізація,

Experimental studies of the chemical composition of mine water of the Kryvyi Rih iron ore basin. Salii I., Kyiashko V., Oriekhova O., Pavlenko O.,

Experimental studies have been conducted to study the chemical composition of mine water in the Kryvyi Rih iron ore basin. Concentrations of substances in mine water exceed the maximum permissible levels for total mineralization, suspended substances, chlorides, sulfates and iron content. At the upper horizons (from the 475 m horizon to the 865 m horizon), the composition of mine water in terms of dry residue, chlorides, and sulfates is approximately at the same level, and after the 955 m horizon and deeper, the value of these indicators increases sharply. The content of sulfates is within the normative values from the horizon of 475 m to the horizon of 700 m and was from 290,150±236,150 to 494,375±26,180 mg/dm³. The chloride level of the mine water from the 475 m horizon to the 865 m horizon does not exceed the similar indicators in the Ingulets River, and the sulfate content indicator up to the 775 m horizon does not exceed the similar values along the Ingulets River. Thus, when using our proposed method of separating mine water from individual horizons, it will be possible to separate water from the upper horizons (up to 775 m inclusive) directly into natural reservoirs. When calculating water tides for individual horizons, it was established that mine water from horizons 475 m to 865 m makes up 30–40 % of all mine water.

The obtained data on the chemical composition of mine water must be used for constant monitoring of the composition and quality of mine water, which will make it possible to control the effectiveness of the scheme of changes in the water discharge proposed by us for the effective reuse of mine water. The chemical composition of mine water from deeper mine horizons requires the search for effective means of cleaning and demineralization of mine water. *Key words:* mine water, iron ore pool, chemical composition of mine water, purification, demineralization.

Постановка проблеми. Екологічні ризики та значні економічні витрати на відведення, зберігання та скид надлишкової шахтної води, що утворюється в процесі підземного видобування корисних копалин, вимагають пошуку ефективних технічних та економічних рішень для можливості повторного використання шахтної води та зниження екологічних ризиків для довкілля та населення гірничодобувного регіону.

Актуальність досліджень. Переважна частина шахтних вод має високу мінералізацію й забруднена

іншими шкідливими домішками, що не дозволяють скидати їх у поверхневі водойми без глибокого очищення. Існуючі установки очищення не забезпечують комплексного розв'язання проблеми скиду таких вод, оскільки очищення супроводжується утворенням значної кількості відходів. Тому пошук нових енерго-ефективних та економічно вигідних технологій очищення шахтної води на сьогодні є досить актуальним.

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

Дослідження виконані в рамках НДР «Проведення наукових досліджень та пошук комплексних екологічно прийнятних рішень щодо систем послідовного та повторного використання води, в тому числі води, що надходить від інших підприємств» за номером Державної реєстрації 0120U103938.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Аналіз інформації щодо стану поверхневих та підземних вод України [1, 2, 3, 4], а також щодо існуючих технологій очищення шахтних вод свідчить, що на теперішній час переважна частина шахтних вод, яку скидають у поверхневі водойми, на думку авторів, не відповідає вимогам гігієнічних нормативів, а існуючі методи очищення не забезпечують належного очищення, є досить енергозатратними та дороговартісними [5]. Необхідність пошуку інноваційних методів демінералізації, очищення й опріснення шахтних вод для забезпечення належного екологічного стану водних об'єктів (річок, водойм і підземних вод) гірничовидобувних регіонів України нині досить актуальна [5–8].

На сьогодні наявність достатньої кількості прісної води є одним з найважливіших факторів економічного та культурного розвитку регіонів країни. До районів з напруженим водним балансом відносяться гірничо-видобувні регіони України в басейнах річок Дніпро та Інгулець на території Дніпропетровської області. В Україні в цілому, зокрема, й у м. Кривий Ріг, спостерігається дефіцит запасів прісної води поверхневих водойм та підземних вод для задоволення потреб промисловості, сільського господарства і населення в високоякісній воді. Але скид великої кількості шахтних, кар'єрних і меліоративних вод, а також відкачування забруднених підземних вод призводить до значного забруднення річкової води, що досить часто унеможлиблює їх використання для водоспоживання. У той же час зростає водоспоживання зумовлює підвищення вимог до якості води вододжерел, якими є малі та великі річки. З огляду на це, актуальною є потреба проведення наукових досліджень з метою розробки інноваційних технологій очищення високо мінералізованих шахтних та кар'єрних вод, умов їх відведення [8].

Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Незважаючи на проведені раніше дослідження хімічного складу шахтної води, що є потенційними забруднювачем поверхневих водойм та чинником підвищення ризику розвитку захворювань населення, на сьогодні показники хімічного складу значно перевищують допустимі нормативи для природних водойм. Це потребує розробки ефективних та економічно прийнятних заходів з поводження з шахтною водою, та пошуку ефективних сучасних технологій її очистки.

Щорічно діючі гірничорудні підприємства Кривбасу та ті, що працюють у режимі гідрозахисту, відкачують до 40 млн.м³ підземних вод (шахтні, кар'єрні), серед яких 16–17 млн.м³ високо мінералізовані шахтні води [9].

Максимальні можливості з використання підземних вод у зворотних циклах гірничорудних підприємств Кривбасу межують на рівні 28–30 млн.м³ на рік. Решта 11–12 млн.м³ надлишків зворотних вод щорічно акумулюється і тимчасово утримується у ставку-накопичувачу шахтних вод. Ємність ставка-накопичувача не дозволяє прийняти та з акумулювати весь обсяг надлишків зворотних вод, що призводить до переповнення цієї гідротехнічної споруди, порушує правила її експлуатації та безпеки, а також спричиняє аварійний стан споруди.

У разі зупинки відкачування шахтних вод у Кривбасі створюються умови для виникнення низки некерованих техногенних катастроф, пов'язаних із зупинкою та затопленням діючих шахт, відпрацьованого підземного простору (підземних порожнин від вилучення залізородної сировини), зсувом порушених порід та земної поверхні, регіональним підняттям рівня високо мінералізованих підземних вод, забрудненням верхніх водоносних горизонтів та поверхневих водоймищ. Виникнення такої надзвичайної ситуації призведе до порушення екологічної рівноваги на значній території регіону та спричинить загрозу різним важливим сферам господарської діяльності та суспільного життя не лише у Кривбасі, але і за його межами.

За таких обставин, за відсутності реальної альтернативи повного використання шахтних вод Кривбасу у зворотних циклах гірничорудних підприємств, чи іншого безпечного способу їх утилізації, виникає необхідність у щорічному вживанні заходів зі скиду надлишків зворотних вод у річку Інгулець та недопущення виникнення низки надзвичайних ситуацій та техногенних катастроф у Кривбасі, пов'язаних з відкачуванням і використанням значної кількості підземних вод та їх тимчасовою акумуляцією [10].

Новизна. Проведено експериментальні дослідження з визначення складу шахтної води на окремих горизонтах шахтних виробок та запропоновано нові технічні рішення для повторного використання шахтної води.

Методологічне або загальнонаукове значення. Відбір проб шахтної води та експериментальні і аналітичні дослідження хімічного складу шахтної води були проведені на підприємстві з підземним способом видобування залізної руди. Було здійснено водозабір у 20 точках основних шахтних горизонтів шахти: на горизонтах 475 м, 550 м, 625 м, 700 м, 775 м, 865 м, 955 м, 1033 м, 1045 м, 1065 м, 1135 м. та у старому руслі річки Саксагань. Також були відібрані проби загальношахтної води на виході з шахти.

Лабораторні дослідження проводили за такими показниками: розчинний кисень, водневий показник, біохімічне споживання кисню за 5 діб, хімічне споживання кисню, азот амонійний, нітрити, нітрати, фосфати, феноли, залізо загальне, завислі речовини, нафтопродукти, хлориди, сульфати, сухий залишок). Також вивчені 43 протоколи аналогічних досліджень за 2018–2023 рр. Оцінку проводили у відповідності до Наказу МОЗ України від 02.05.2022

№ 721 «Гігієнічні нормативи якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення» (далі – Наказ) [11], проаналізовані 48 протоколів лабораторних досліджень відомчих лабораторій підприємства за 2000–2023 роки.

Викладення основного матеріалу. Об'єм шахтних вод, що надходять у гірничі виробки, залежить від багатьох факторів і становить від менше 100 до понад 1000 м³/год. Зневоднення шахт із погляду водоохоронних заходів має певне значення під час вибору тієї чи іншої технології очищення шахтних вод. Склад та властивості шахтних вод залежать від багатьох факторів. Головні із них – це склад та властивості гірських порід, гірничо-геологічні і гірничо-технічні умови, засоби механізації під час видобування корисних копалин та проходці підготовчих виробок, допоміжні – клімат, рельєф місцевості, рослинність тощо.

Шахтні води відрізняються великою різноманітністю хімічного складу, непридатні для пиття і мають властивості, що не сприяють їх використанню в технічних цілях без попередньої обробки. Температура води, залежно від географічного розташування шахт та глибини шахтних горизонтів, коливається у межах 10–16°C.

За результатами лабораторних досліджень науковці – автори праці – означили показники хімічного складу шахтної води (таблиця 1): вміст розчинного кисню, водневий показник, азот амонійний, нітриту, нітрати, фосфати, феноли, нафтопродукти знаходяться у межах допустимих нормативів та у разі повторного використання шахтної води не завдаватимуть негативного впливу на природні водойми, навколишнє середовище та здоров'я населення.

Загальна мінералізація була на рівні 15089±1453 мг/м³, що у 13,6–16,5 разів перевищує нормативні рівні та відноситься до розсолів (> 50 г/дм³). За аналізом мінерального складу вода характеризується як хлоридно-сульфатна.

Зазначено, що досліджувана вода у своєму складі містить значну кількість хлоридів – 7283,49±745,59 мг/дм³, що у 18,68–22,94 разів перевищує гранично допустимі нормативи. Рівень сульфатів у шахтній воді становить 778,87±28,24 мг/дм³, що у 1,5–1,6 раза перевищує гранично допустимі нормативи. Такі значення впливають на смак, запах та колір води, призводять до корозії металів та негативно впливають на водні джерела.

Концентрація завислих речовин становить 109,16±8,13 мг/дм³, що у 134–156 разів, що може значно впливати на глибину проникнення сонячного світла, погіршувати життєдіяльність гідробіонтів, призводити до замулювання водних об'єктів, зумовлюючи їх екологічне старіння.

Вміст заліза у воді становить 0,98±0,08 мг/дм³, що перевищує допустимі нормативи у 3,0–3,5 разів. Це призводить до зміни смаку та підвищення агресивності води до металів.

Ступінь забруднення шахтних вод органічними речовинами оцінюється наступними показниками: БСК₅, який становить 7,42±0,14 мг О₂ на л, що у 2,52–2,42 вище за норму і може зумовити зниження вмісту розчиненого кисню, створити гіпоксичні умови та загибель окремих видів гідробіонтів. Хімічне споживання кисню у 7,75–6,57 разів перевищує нормативні значення і становить 214,95±17,80 мг/дм³, що може призводити до зниження вмісту кисню у природних водоймах та створювати непридатні умови для життя живих організмів.

Для більш детального аналізу та впровадження технічних рішень щодо повторного використання шахтної води науковці здійснили дослідження шахтної води на різних горизонтах (таблиця 2), де означено склад шахтної води, який порівняли з нормативними рівнями для води природних водойм та зі складом води річки Інгулець.

Дані спостережень за шахтними водами протягом 5 років засвідчують, що концентрації сульфатів

Таблиця 1

Хімічний склад шахтної води M±m (p<0,05)

| № з/п | Показники якості води | Загальношахтна вода (водозбірник на горизонті 475 м) мг/дм ³ , n=63 | Нормативні рівні згідно з Наказом МОЗ України № 721 від 02.05.2022 р. |
|-------|---------------------------------------|--|---|
| 1 | Розчинений кисень, мг/дм ³ | 7,68±0,04 | ≥ 4 |
| 2 | Водневий показник (рН), од.рН | 7,74±0,17 | 6,50-8,50 |
| 3 | БСК ₅ , мг/дм ³ | 8,10±0,18* | 3,00 |
| 4 | ХСК, мг/дм ³ | 318,95±12,09* | 30,00 |
| 5 | Азот амонійний, мг/дм ³ | 0,89±0,07 | 2,00 |
| 6 | Нітриту, мг/дм ³ | 0,32±0,02 | 3,30 |
| 7 | Нітрати, мг/дм ³ | 9,70±0,24 | 45,00 |
| 8 | Залізо загальне, мг/дм ³ | 1,41±0,08* | 0,30 |
| 9 | Завислі речовини, мг/дм ³ | 111,29±5,61* | 0,75 |
| 10 | Нафтопродукти, мг/дм ³ | 0,40±0,01 | 0,30 |
| 11 | Хлориди, мг/дм ³ | 11983,70±858,26* | 350,00 |
| 12 | Сульфати, мг/дм ³ | 936,84±24,14* | 500,00 |
| 13 | Сухий залишок, мг/дм ³ | 24172,57±1473,50* | 1000,00 |

* – перевищують гранично-допустимі нормативи

Таблиця 2

Хімічний склад шахтної води на окремих горизонтах за 2018–2023 рр. M±m (p<0,05)

| № з/п | Місце відбору проб | Водневий показник (од. рН) | Лужність загальна ммоль/дм ³ | Жорсткість загальна ммоль/дм ³ | Кальцій | Хлориди | Сульфати | Сухий залишок |
|-------|--|----------------------------|---|---|-----------------|---------------------|------------------|---------------------|
| | | | | | | | | |
| 1 | р.Саксагань (старе русло) | 7,605±0,115 | 4,250±0,250 | 18,750±6,750 | 123,245±47,095 | 1524,675±709,965 | 459,230±167,480 | 4163,500±1047,500 |
| 2 | Гор. 475 м | 9,050±0,680 | 7,510±2,490 | 19,380±0,005 | 342,840±341,160 | 447,300±359,300 | 290,150±236,150 | 1975,150±377,150 |
| 3 | Гор.550 м ВП-24 Руд. двір ствола (канавка) | 7,933±0,090 | 5,733±1,634 | 15,100±0,900 | 134,797±37,642 | 541,273±287,556 | 377,520±149,184 | 2251,333±669,522 |
| 4 | Гор. 625м ВП-25 Квершлаг ствола (канавка) | 8,613±0,421 | 5,537±1,568 | 20,627±4,769 | 72,857±33,497 | 1473,710±332,074 | 498,600±48,605 | 3278,767±69,275 |
| 5 | Гор. 700м ВП-26 Квершлаг ствола (канавка) | 8,693±0,613 | 4,943±0,123 | 16,077±2,148 | 73,030±38,174 | 854,230±37,820 | 494,375±26,180 | 2563,567±204,476 |
| 6 | Гор. 775м ВП-27 Квершлаг ствола (канавка) | 7,957±0,092 | 5,100±1,450 | 27,000±1,000 | 363,707±83,948 | 1204,797±578,147 | 646,120±234,730 | 4208,667±1158,096 |
| 7 | Гор. 865м ВП-22 Госп. квершлаг (канавка) | 8,523±0,659 | 4,203±0,286 | 24,127±1,574 | 154,077±76,602 | 1356,010±66,684 | 763,890±58,605 | 4041,000±362,726 |
| 8 | Гор. 955м ВП-3 возле ствола Руд. двір ствола (канавка) | 8,000±0,651 | 3,397±0,231 | 88,550±30,971 | 331,197±194,985 | 17295,977±7791,736 | 1114,347±151,297 | 32922,667±14077,046 |
| 9 | Гор. 1033м (вода шахтна) | 9,270±0,002 | 2,400±0,005 | 132,650±0,002 | 19,900±0,002 | 30241,400±0,005 | 1585,500±0,001 | 59119,700±0,003 |
| 10 | Гор.1045м Вантажний квершлаг СП-60 (канавка) | 7,833±0,138 | 5,467±1,267 | 56,500±10,500 | 696,560±282,968 | 7501,193±3894,527 | 1406,463±378,342 | 18558,333±6477,735 |
| 11 | Гор.1045м ВП-20 к стволу (канавка) | 7,915±0,195 | 4,000±0,200 | 47,000±3,000 | 330,660±50,100 | 9667,670±607,340 | 927,3150±47,115 | 19400,000±1420,000 |
| 12 | Гор.1045м ш. Дренажна (канавка) | 7,785±0,185 | 4,350±0,050 | 51,000±3,000 | 365,730±50,100 | 22856,995±139,885 | 1047,160±26,640 | 25566,500±863,500 |
| 13 | Гор.1045м ВП-19 св. на 1135 м (свердловина) | 7,625±0,085 | 3,500±0,400 | 90,500±39,500 | 669,335±272,545 | 23851,470±12855,410 | 1118,460±120,160 | 48945,000±26788,000 |
| 14 | Гор.1045м ш. Східна (ствол) | 7,515±0,155 | 3,450±0,250 | 16,900±1,100 | 120,240±10,020 | 786,685±341,385 | 724,240±51,440 | 3128,000±620,000 |
| 15 | Гор. 1045м ш. Кірова-Кігльова (ствол) | 7,920±0,420 | 2,900±0,300 | 35,800±17,200 | 280,560±100,200 | 6173,020±4928,570 | 893,985±73,455 | 13402,500±9234,500 |
| 16 | Гор.1045м ш. Східна (ствол) | 7,515±0,155 | 3,450±0,250 | 16,900±1,100 | 120,240±10,020 | 786,685±341,385 | 724,240±51,440 | 3128,000±620,000 |
| 17 | Гор.1065м. бл. 239 венг.орг. (свердловина) | 7,650±0,190 | 4,400±0,100 | 52,000±4,000 | 346,690±16,030 | 10452,150±1186,620 | 988,425±27,985 | 22956,500±3523,500 |
| 18 | Гор. 1135м (ствол) | 7,620±0,300 | 3,350±0,450 | 24,000±2,000 | 190,380±50,100 | 1735,605±30,975 | 804,280±146,700 | 4923,500±743,500 |
| 19 | Гор. 1135м (канавка гараж ВШП) | 7,665±0,085 | 3,450±0,250 | 88,500±5,500 | 651,300±80,160 | 22291,775±4206,925 | 1185,120±95,670 | 44945,000±9275,000 |
| 20 | Гор. 1135 Руд. двір ствола (канавка) | 7,680±0,160 | 3,600±0,300 | 71,000±9,000 | 501,000±80,160 | 14562,155±2923,385 | 1046,445±103,695 | 27951,500±7171,500 |
| 21 | Гор. 1135 (канавка шахтного поля) | 7,810±0,0702 | 3,300±0,300 | 92,500±32,500 | 611,220±140,280 | 19560,705±6581,755 | 1147,055±86,415 | 39710,000±13423,000 |
| 22. | Гор. 1135м бл. 223 (канавка) | 7,545±0,245 | 2,750±0,150 | 127,000±1,000 | 756,510±45,090 | 27120,915±2244,585 | 1221,125±20,575 | 53176,500±2996,500 |

Таблиця 3

Уміст хімічних речовин у р. Інгулець за 2000–2022 рр. (пост р. Інгулець, 265 км, с. Андріївка) ($p < 0,05$)

| № п/п | Показники | Роки | | |
|-------|---|------------------|------------------|------------------|
| | | 2020 | 2021 | 2022 |
| 1 | Амоній-іони, мг/дм ³ | 0,313±0,015 | 0,313±0,040 | 0,285±0,085 |
| 2 | Біохімічне споживання кисню за 5 діб, мгО ₂ /дм ³ | 2,834±0,159 | 3,110±0,225 | 2,205±0,195 |
| 3 | Завислі (суспендовані) речовини, мг/дм ³ | 6,942±0,447 | 7,217±0,578 | 5,000±0,002 |
| 4 | Кисень розчинений, мгО ₂ /дм ³ | 9,221±0,356 | 9,723±0,262 | 9,535±0,245 |
| 5 | Нітрат-іони, мг/дм ³ | 3,734±1,227 | 3,692±1,548 | 4,125±0,725 |
| 6 | Нітрит-іони, мг/дм ³ | 0,081±0,013 | 0,168±0,057 | 0,070±0,030 |
| 7 | Сульфат-іони, мг/дм ³ | 753,325±69,720 | 628,024±55,834 | 660,860±12,340 |
| 8 | Фосфат-іони (поліфосфати), мг/дм ³ | 0,131±0,011 | 0,126±0,022 | 0,305±0,125 |
| 9 | Хлорид-іони, мг/дм ³ | 1262,542±213,525 | 1288,126±331,230 | 2658,975±283,625 |

і хлоридів у водовідливних водах на різних точках відбору значно різняться. Так, показники концентрації сульфатів відрізняються в 3 рази, а хлоридів – у 80 разів на різних горизонтах від свердловини до русла ріки Саксагань. При середньому значенні концентрації сульфатів 778,87±28,24 мг/дм³, 95 % інтервал невизначеності становить 549–1101 мг/дм³. При середньому значенні концентрації хлоридів 7283,49±745,59 мг/дм³ 95 % інтервал невизначеності становить 6496–30664 мг/дм³. І навіть у одній точці відбору, горизонт 475 метрів, таке розсіювання результату становить для сульфатів (936±28 мг/дм³) 20 %, а 95 % інтервал невизначеності – 880–992 мг/дм³. Для хлоридів (11147±791 мг/дм³) – 5 %, а 95 % інтервал невизначеності – 9564–12728 мг/дм³. На цю невизначеність накладаються коливання за місяцями та роками.

Під час дослідження шахтної води на окремих горизонтах було встановлено, що склад води на різних горизонтах істотно відрізняється (рисунок 1).

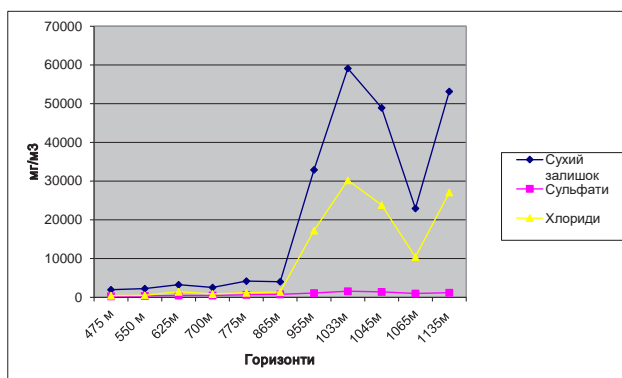


Рис. 1. Середня концентрація (мг/дм³) сухого залишку, сульфатів та хлоридів на окремих горизонтах з 2018 по 2023 рр.

Так, з горизонту 475 м до горизонту 865 м рівень сухого залишку, хлоридів та сульфатів знаходився приблизно на одному рівні, а після горизонту 955 м і глибше – значення показників стрімко збільшувалося, практично у всіх пробах води вони перевищували нормативні рівні. Уміст сульфатів знаходиться у межах нормативних значень з горизонту 475 м до горизонту 700 м і становила від 290,150±236,150 до 494,375±26,180 мг/дм³. Автори дослідження зробили порівняльний аналіз фактичних значень показників шахтної води з водою природних водойм, зокрема даних з поста річки Інгулець, 265 км, с. Андріївка (таблиця 3).

Так, якщо означити прийняття води у річці Інгулець за умовну норму, тобто фоновий рівень, шахтна вода за рівнем хлоридів з горизонту 475 м до горизонту 865 м не перевищує відповідні значення у річці Інгулець, а за показником вмісту сульфатів до горизонту 775 м не перевищує аналогічні значення у річці Інгулець. Отже, у разі розділення шахтної води по окремо визначених горизонтах, це дозволить здійснювати виокремлене відведення води з верхніх горизонтів (до 775 м включно) безпосередньо у природні водойми. Під час підрахунку кількості водоприливів у окремо означених горизонтах з'ясовано, що шахтна вода з горизонтів 475 м до 775 м становить 30–40 % всієї шахтної води.

Висновки. Концентрації речовин у шахтній воді по загальній мінералізації, завислих речовинах, вмістом хлоридів сульфатів та заліза перевищують гранично допустимі рівні. На верхніх горизонтах (з 475 м до 865 м) склад шахтної води за рівнем сухого залишку, хлоридів та сульфатів знаходиться приблизно на одному рівні, а після горизонту 955 м і глибше, – значення таких показників істотно збільшується. Уміст сульфатів знаходиться

у межах нормативних значень з горизонту 475 м до горизонту 700 м і становила від 290,150±236,150 до 494,375±26,180 мг/дм³. Шахтна вода за рівнем хлоридів з горизонту 475 м до горизонту 865 м не перевищує аналогічних показників у річці Інгулець, а за показником вмісту сульфатів до горизонту 775 м не перевищує аналогічні значення в річці Інгулець. Отже, використання запропонованого авторами методу розділення шахтної води з окремих горизонтів, дозволить здійснювати відведення води з верхніх горизонтів (до 775 м) безпосередньо у природні водойми. Під час підрахунку кількості водо при-

пливів у різних окремих горизонтах з'ясовано, що шахтна вода з горизонтів 475 м до 865 м становить 30–40 % всієї шахтної води.

Перспективи використання результатів дослідження. Одержані дані з хімічного складу шахтної води варто використовувати з метою постійного моніторингу складу та якості шахтної води, що дозволить контролювати ефективність роботи схеми змін водовідливу, запропонованої авторами, під час повторного використання шахтної води. На часі пошук ефективних засобів з очищення та демінералізації шахтної води з глибших шахтних горизонтів.

Література

1. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища України у 2016 році URL: <https://menr.gov.ua/news/31445.html> (дата звернення: 27.09.2023).
2. Стан підземних вод України. Щорічник. ДНВП «Геоінформ України». Київ, 2017.
3. Козленко Є. В., Морозов О. В., Морозов В. В. Сучасні проблеми формування якості води Інгулецької зрошувальної системи в разі застосування промивки річки Інгулець упродовж квітня – серпня та шляхи їх вирішення. *Аграрні інновації*. 2021. № 7. С. 53–59.
4. Вилкул Ю. Г., Ступник Н. И., Бровко Д. В., Кириченко П. С. Пути снижения техногенного влияния шахтных и карьерных вод на пресноводные объекты Кривбаса: матеріали міжнар. наук.-практ. конф., 5–8 жовтня 2016 р. Дніпро, 2016. Т. 2. С. 138–144.
5. Dotsenko O. O., Voronova E. M. Impacts of shale gas and shale oil extraction on the environment and on human health. *Integration processes and innovative technologies: Achievements and prospects of engineering sciences (in foreign languages): materials of the international scientific-practical conference*, Kharkov, april 11–12, 2014. Kharkov: KNRU, 2014.
6. Екологія шахтарських регіонів України: монографія. Куліш В. А. та ін. Київ, Дніпро: УкрНДІПРОЕКТ, 2017. 411 с.
7. Моніторинг мінерально-сировинної бази України та екологічного стану територій її гірничодобувних регіонів у контексті забезпечення їх сталого розвитку. С.О. Довгий та ін. Київ: Ніка-Центр, 2019. 148 с.
8. Доценко О. О., Маркіна Н. К., Бабаєв М. В., Михайленко В. Г. Екологічне обґрунтування застосування інноваційних технологій очищення шахтних вод як шлях захисту річкових вод. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: матеріали XIV міжнар. наук.-практ. конф.*, м. Харків, 10-14 вересня 2018 р. Харків: УКРНДІЕП, 2018. С. 25–31.
9. Артем Чайка, Докт. Міхаель Екарт, Ульріх Хоххаймер. Оптимізація скидання та утилізація надлишку шахтних вод [Електронний ресурс]. 2017. GIZ, Україна. звіт № 20669066/1. 186 с. URL: <http://zsfoe.org/wp-content/uploads/2017/07/2-7-17-Master-UA.pdf> (дата звернення: 21.09.2023)
10. Регламент скиду надлишків зворотних вод гірничорудних підприємств Кривбасу у 2016–2017 рр. Єрлінеков С. М. та ін. Київ. 2016. 93 с.
11. Наказ МОЗ України від 02.05.2022 № 721, зареєстрований в Міністерстві юстиції України 16.05.2022 за № 524/37860 Про затвердження Гігієнічних нормативів якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення.

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИРОБНИЦТВА ТА СПОЖИВАННЯ: ВПЛИВ НА ЗАБРУДНЕННЯ ТА ВИЧЕРПАННЯ ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ

Тараймович І.В.¹, Демчук Л.І.², Тихонова О.М.³

¹Луцький національний технічний університет
вул. Львівська, 75, 43000, м. Луцьк

²Державний університет «Житомирська політехніка»
вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир

³Сумський національний аграрний університет
вул. Герасима Кондратьєва, 160, 40000, м. Суми

irinatarajmowitsch@gmail.com, ke_dlm@ztu.edu.ua, ur5apn@ukr.net

Стаття містить аналіз взаємозв'язків між енергетичним та матеріальним обміном в рамках промислового суспільства. Автори розглядають критичну проблему забезпечення сталості ресурсів, звертаючи увагу на тимчасовий характер енергетичної насиченості, що базується на викопних копалинах, і необхідність переходу до використання відновлюваних джерел енергії для забезпечення стійкого розвитку. Обґрунтовано тісний зв'язок між енергетичними та матеріальними потоками в екосистемах, що імплементуються через харчові ланцюги. Така інтеграція знань дозволяє застосовувати ці принципи у промисловій екології, де взаємодії між різними елементами системи можуть відбуватися різними шляхами, включаючи визначення, аналогії, чи гомології. Основними компонентами екологічної системи є виробництво електроенергії, добування сировини, виробничі процеси, споживання, повторне використання та переробка. Ці елементи, виступаючи як підсистеми загальної екосистеми, виконують специфічні функції, аналогічні ролям організмів у природних екосистемах. Розкрито важливість адаптації глобальних принципів до місцевих умов, особливо в контексті обміну сировиною та енергією, що включає імпорт та експорт. Підкреслюється, що лише частина природного потенціалу використовується в циклах створення енергії, залишаючи важливу роль для збереження природної здатності екосистем до самовідновлення. Наголошено на необхідності зміни підходів до виробництва та споживання, звертаючи увагу на важливість використання відновлюваних джерел енергії та ефективного управління ресурсами. Це включає оптимізацію використання сукупної енергії, зменшення залежності від невідновлюваних ресурсів, і розробку інноваційних технологій, які сприятимуть стійкому розвитку. Висновки мають велике значення для розвитку промислової екології, оскільки вони пропонують шляхи зменшення екологічного тиску та покращення виробничих процесів для досягнення сталості в ресурсному забезпеченні. Це відкриває перспективи для подальших досліджень та практичного застосування в області екологічно відповідального виробництва. *Ключові слова:* екологічний тиск, екологічний стан території, екологічне забруднення, виробництво, споживання, відновлювальні джерела енергії, природні ресурси.

Environmental aspects of production and consumption: impact on pollution and depletion of natural resources. Taraimovych I., Demchuk L., Tykhonova O.

The article contains an analysis of the interrelationships between energy and material exchange within the industrial society. The authors consider the critical problem of ensuring resource sustainability, paying attention to the temporary nature of energy saturation based on fossil fuels and the need to transition to the use of renewable energy sources to ensure sustainable development. The close connection between energy and material flows in ecosystems implemented through food chains is substantiated. Such integration of knowledge allows the application of these principles in industrial ecology, where interactions between different elements of the system can occur in different ways, including definitions, analogies, or homologies. The main components of the ecological system are electricity production, extraction of raw materials, production processes, consumption, reuse and recycling. These elements, acting as subsystems of the general ecosystem, perform specific functions similar to the roles of organisms in natural ecosystems. The importance of adapting global principles to local conditions is revealed, especially in the context of the exchange of raw materials and energy, which includes imports and exports. It is emphasized that only a part of the natural potential is used in the cycles of energy creation, leaving an important role for preserving the natural ability of ecosystems to self-renew. The need to change approaches to production and consumption is emphasized, paying attention to the importance of using renewable energy sources and effective resource management. This includes optimizing the use of aggregate energy, reducing dependence on non-renewable resources, and developing innovative technologies that will contribute to sustainable development. The findings are of great importance for the development of industrial ecology, as they suggest ways to reduce environmental pressure and improve production processes to achieve sustainability in resource provision. This opens up prospects for further research and practical application in the field of ecologically responsible production. *Key words:* ecological pressure, ecological state of the territory, ecological pollution, production, consumption, renewable energy sources, natural resources.

Постановка проблеми. Постановка проблеми зосереджується на двох взаємопов'язаних аспектах сучасної економічної діяльності: виробництві та споживанні. Центральною проблемою є те, що нинішні

моделі виробництва та споживання мають значний і часто негативний вплив на довкілля, що проявляється у формі забруднення та вичерпання природних ресурсів. Ця проблематика актуальна на глобаль-

ному рівні, оскільки впливає на стійкість екосистем, здоров'я людини та майбутнє сталого розвитку.

З одного боку, інтенсивне виробництво, спрямоване на задоволення зростаючого попиту, призводить до значного споживання ресурсів, викидів забруднюючих речовин та генерації відходів. З іншого боку, зростаючий обсяг споживання, особливо у високо-розвинених країнах, ставить під загрозу можливість підтримки довгострокової рівноваги в природних системах.

Актуальність дослідження. Актуальність дослідження полягає в наростаючому тиску на природні ресурси та екосистеми, спричиненому безперервним розширенням промислового виробництва та зростаючим споживанням. У світлі глобальних екологічних викликів, таких як зміна клімату, втрата біодиверситету, забруднення повітря та води, а також вичерпання невідновлюваних ресурсів, важливо досліджувати та розуміти комплексну взаємодію між виробничими процесами, моделями споживання та їх впливом на навколишнє середовище.

Зосередження уваги на екологічних аспектах виробництва та споживання дозволяє ідентифікувати ключові точки, де можливе впровадження більш сталого підходу до використання ресурсів та зменшення негативного впливу на довкілля [1]. Це охоплює широкий спектр тем, від впровадження чистіших технологій та екологічно ефективних процесів у виробництві до спонукання до більш відповідального споживання серед населення.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження є принциповим у контексті розробки міжнародних, національних та локальних стратегій, спрямованих на досягнення цілей сталого розвитку, особливо тих, які стосуються забезпечення сталого споживання та виробництва та захисту довкілля. Оцінка екологічних наслідків виробничо-споживчих патернів надає цінну інформацію для розробки ефективних політик та стратегій, спрямованих на зменшення екологічного впливу та сприяння більш сталому розвитку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження еколого-економічних викликів знайшло відображення у працях вчених з України та інших країн, зокрема в роботах, вказаних у джерелах: М. Багорка, А. Сергієнко [2], О. Степова [3], Д. Адам, Ю. Супріаді, З. Енде Сірегар [4]. Основну увагу вони приділяють системному аналізу еколого-економічних проблем як на національному, так і на міжнародному рівнях. Автори, такі як: І. Василенко, Є. Чупринов, А. Іванченко, М. Скиба, В. Воробйова, В. Галиш [5], Б. Габловський, Н. Габловська, Л. Штогрин, Д. Касіячук, М. Кононенко [6]; В. Македон, А. Дзевелюк, Ю. Хаустова, О. Белякова, І. Назаренко [7], розглядають різні методологічні підходи до оцінки економічної вартості природних ресурсів та заходів з охорони природи. Важливий

вклад у формування концептуальних основ зменшення, використання та переробки відходів виробничого та споживачького характеру внесли: А. Івашура [8]; М. Санті, Л. Санчінето, В. Насіменто, Дж.Б. Азередо, Е.В.М. Ороско, Л.Х. Андраде, Х. Грегер, К. Санті [9].

Також слід звернути увагу на роботи: О. Жилінська [10], О. Машков, Т. Іващенко [11] та інших дослідників, які аналізують практичний досвід з охорони природи регіонів, окремих підприємств, галузей та комплексів. Попри значний обсяг існуючих досліджень, деякі аспекти залишаються недослідженими, зокрема, існує актуальна потреба у розробці шляхів екологізації виробництва. Це передбачає формування так званої «зеленої» моделі виробництва та споживання, впровадження екологічного менеджменту в діяльність підприємств і стимулювання їхньої природоохоронної активності.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Автори вказують на необхідність комплексного розуміння зв'язку між виробничими процесами та моделями споживання, щоб ідентифікувати ключові точки впливу та можливості для втручання. Зокрема, розглядається важливість переходу до більш сталих практик, які мінімізують вплив на довкілля, зокрема через інновації у виробництві, підвищення ефективності ресурсів, просування екологічно свідомого споживання та розвиток циркулярної економіки. Визнання цієї проблеми спонукає до глибшого дослідження екологічних, економічних, соціальних та технологічних аспектів, що лежать в основі виробництва та споживання, та до розробки стратегій та політик, які можуть сприяти більш сталому розвитку. Таким чином, стаття закликає до широкого міждисциплінарного діалогу та співпраці між науковцями, політиками, промисловістю та громадськістю для розробки та реалізації ефективних рішень.

Новизна. Основною метою дослідження є оцінка впливу сучасних виробничих та споживчих практик на стан навколишнього середовища, зокрема на забруднення та вичерпання природних ресурсів.

Завдання дослідження:

- проаналізувати екологічний вплив виробничих процесів та споживання;
- визначити масштаби впливу людської діяльності на зниження природних ресурсів, включаючи водні, мінеральні ресурси, рослинний та тваринний світ;
- розробити рекомендації для зменшення екологічного навантаження та запропонувати шляхи оптимізації виробничих процесів, зниження масштабів споживання та ефективного використання ресурсів з метою мінімізації впливу на навколишнє середовище.

Методологічне або загальнонаукове значення. Методологічне значення статті полягає

таких, як сонце, вода, вітер, хвилі та геотермальна енергія. У цей показник E_{max} вже включені можливі втрати, пов'язані з перетворенням, транспортуванням та розподілом природних ресурсів, які можуть складати від 20 до 30% залежно від характеристик агента. Рівень використання енергії різними учасниками може варіюватися в певних межах, проте E_{max} залишається сталою величиною [15]. Накопичення енергії E_{ac} можливе, якщо вироблена кількість енергії $E_p(t)$ перевищує потреби в енергії за період $t(E(t))$; ця накопичена енергія E_{acc} може бути використана в наступних періодах. Розподіл енергії $E(t)$ між різними економічними секторами включає видобуток сировини E_d , виробництво E_{pr} , споживання E_{po} , рециркуляцію E_z та переробку відходів E_u , тобто:

$$E(t) = E_d + E_{pr} + E_{po} + E_z + E_u. \quad (2)$$

Штучний капітал у кожному економічному секторі формується з потоків сировини з минулих періодів, які були інвестовані в засоби виробництва або товари споживання, за винятком тієї частини сировини, що використовується в замкнутому циклі (R_{poz}) та в переробці відходів (R_{pou}):

$$K_{pr} = \sum_{i=1}^n R_{pr} - (R_{poz} + R_{pou}). \quad (3)$$

Сировина, втілена в товарах споживання, стає знову доступною лише після їх виходу з ужитку. Втрати матеріалів під час споживання, як правило, повертаються назад у природний цикл і не можуть бути швидко відновлені за короткий час через свою дисипативну природу. Виробничий обсяг товарів споживання та засобів виробництва визначається через доступну енергію E_{pr} , відновлену сировину R_d , сировину, що повторно використовується в процесі рециркуляції R_z , застосовані технології trg , вартість основних фондів K_{pr} та кількість працівників T_{pr} .

Споживання ініціює метаболічний процес, який базується на сировині R_{po} , інтегрованій у споживчі товари, та енергії E_{po} , виділеній для споживчих потреб. Під споживанням тут маються на увазі всі ресурси та енергія, витрачені на будь-яку діяльність людини за винятком виробничих процесів (включно з наданням послуг), такі як житлове забезпечення, транспорт, дозвілля та інше [16].

Ключові аспекти екологічного забруднення, їх вплив на довкілля, роль промисловості у виникненні забруднення, та пропозиції щодо покращення виробництва і мінімізації екологічного тиску представлені в таблиці 1. Рециркуляція залежить від енергії E , призначеної для цього процесу, і має вплив на всі сектори економіки, оскільки внесок одного сектору може викликати зміни в інших. Коли в моделі застосовуються реальні дані, ширина стрілок має відображати обсяг потоків.

З цієї моделі випливають наступні принципи, які можна використати для розвитку промислової екології [17]:

- обмежений обсяг енергії потрібно розподіляти максимально раціонально між різними секторами економіки. введення принципів промислової екології дозволяє економіці повернутися до своїх коренів, що полягають у ефективному управлінні обмеженими фізичними ресурсами, цілячи на оптимальне використання загальної енергії з усіх доступних природних та створених людиною ресурсів;

- кожна ключова економічна функція пов'язана з створенням або використанням створених людиною дисипативних структур, які споживають енергію. загальні енерговитрати не можуть перевищувати доступну кількість енергії;

- чим вища ефективність використання енергії у всіх секторах, тим більше енергії може бути спрямовано на рециркуляцію;

- з огляду на ціль мінімізувати втрати невідновлюваної сировини та збільшити частку енергії, що повторно використовується у системі, необхідно здійснити перерозподіл використання енергії на користь рециркуляції в межах промислової системи;

- важливо значно збільшити інвестиції в рециркуляцію порівняно з іншими галузями економіки, що передбачає структурний перерозподіл природних та створених людиною ресурсів на користь замкнутого циклу або ефективного управління;

- ефективність технологій рециркуляції оцінюється через співвідношення між новими матеріалами та кількістю енергії, використаною в процесі рециркуляції [18].

Таблиця 1

Ключові аспекти екологічного забруднення та напрямки зменшення екологічного тиску (розроблено авторами)

| Вид екологічного забруднення | Вплив виду забруднення на екологію | Вплив промисловості на появу забруднення | Шляхи покращення виробництва для зменшення екологічного тиску |
|------------------------------|---|---|--|
| Атмосферне забруднення | Зміна клімату, кислотні дощі, проблеми зі здоров'ям людей | Викиди шкідливих речовин в атмосферу з заводських труб | Впровадження очисних технологій, розробка низьковуглецевих технологій |
| Водне забруднення | Знищення водних екосистем, отруєння водних організмів | Скидання неочищених або слабо очищених стічних вод | Будівництво сучасних очисних споруд, використання замкнених водоциркуляційних систем |
| Забруднення ґрунтів | Зменшення родючості ґрунтів, забруднення продуктів харчування | Використання пестицидів та хімікатів у сільському господарстві, неправильне зберігання відходів | Перехід на органічне землеробство, раціональне використання відходів |
| Шумове забруднення | Стрес у людей і тварин, порушення сну | Експлуатація машин і обладнання, що створює високий рівень шуму | Ізоляція джерел шуму, застосування шумозахисних технологій |

Виробничі функції, які враховують доступну кількість енергії у різних секторах національної економіки, залежать від потоків енергії та обміну сировиною; від змін у прийнятних рівнях енергетичних витрат (E_u), технологічних параметрах (π) та економічних затратах (K_u); без таких змін існує ризик для довготривалого забезпечення виробництва за рахунок невідновлюваних матеріалів; невідновлювані сировинні ресурси завжди знайдуть своє застосування у техніці; в довгостроковій перспективі потік сировини, що повторно використовується, збільшується порівняно з первинним видобутком [19]. У стадії зрілого розвитку промисловості (для невідновлюваних ресурсів) сировинна компонента виробничої функції номінально переважає:

$$Rz > R_d, t \rightarrow \infty, \quad (4)$$

Таким чином, доступні природні ресурси стає робочим потенціалом, який можна спрямувати на видобуток сировини, виробництво, споживання або переробку; стратегії збільшення ефективності використання продуктів та продовження їхнього життєвого циклу стають все більш актуальними; звільнений енергетичний потенціал можна використовувати в замкнутому циклі для забезпечення майбутньої сировинної бази; продукти, що використовуються довше, зменшують навантаження на виробництво; при кожному виробничому рішенні важливо вра-

ховувати потенційні конфлікти між використанням сировини та енергетичними затратами; основною метою є мінімізація зростання ентропії на глобальному рівні, збереження екологічної рівноваги та природного капіталу [20].

Ефективне виконання ініціатив у всіх зазначених областях залежить від стабільного фінансування. Для оцінки згаданих аспектів екологічної стійкості корисно застосовувати систему показників, яка детально описана в таблиці 2.

З нашої точки зору, для досягнення цілей екологічно сталого розвитку, оцінка має включати аналіз таких аспектів: стан та рівень забруднення довкілля, регенерація природних ресурсів, надійне фінансування екологічних ініціатив. Зелені ініціативи в економіці та збільшення ефективності відновлення природних ресурсів також сприяють формуванню екологічно стійкого розвитку території. На наш погляд, для оцінки в цій сфері слід використовувати індикатори, які відображають пропорції відновлення природних ресурсів порівняно з їх загальним обсягом експлуатації.

Висновки та перспективи використання результатів дослідження. Для досягнення сталого виробництва не є обов'язковим повна відмова від використання невідновлюваних мінеральних ресурсів. Натомість, важливо обмежити їх використання до рівня, який дозволяється обсягами відновлюваної енергії, задіяної в економічному циклі. Це сто-

Таблиця 2

Система показників з метою оцінки екологічної стійкості території в межах промислового виробництва та споживання (розроблено авторами)

| Блок | Напрямок | Показник |
|---|--|---|
| Екологізація господарського комплексу | Запобігання забрудненню атмосфери | Викиди забруднюючих речовин в атмосферу |
| | | Сумарний обсяг газів, що надходять на очищення від технічних забруднень |
| | Запобігання забрудненню водних джерел | Скидання забруднюючих речовин у водоймища |
| Якість довкілля | Якість атмосферного повітря | Сумарний обсяг стічних вод, що надходять на очищення від забруднень |
| | | Поховання відходів |
| | Якість вод відкритих джерел | Сумарний обсяг утворених відходів виробництва та споживання |
| Відновлення природних ресурсів | Збільшення запасу відновлюваних ресурсів | Значення індексу забрудненості атмосфери |
| | | Максимальне значення індексу забрудненості атмосфери за період |
| | Відновлення біологічних ресурсів | Кількість незадовільних за хімічним складом проб |
| | | Загальна кількість проб |
| Стійке фінансування природоохоронних заходів | Стійке фінансування охорони атмосфери | Площа лісовідновлення |
| | | Площа суцільних рубок |
| | Стійке фінансування охорони водного середовища | Площа відтворювальних ділянок у мисливських угіддях |
| | | Площа мисливських угідь |
| | Стійке фінансування охорони ґрунтів від забруднення відходами | Плата, що надходить від природокористувачів за забруднення атмосфери |
| | | Бюджетні витрати на охорону атмосфери |
| Стійке фінансування охорони водного середовища | Плата, що надходить від природокористувачів за забруднення водних джерел | |
| | Бюджетні витрати на охорону водного середовища | |
| Стійке фінансування охорони ґрунтів від забруднення відходами | Плата, що надходить від природокористувачів за розміщення відходів | |
| | Бюджетні витрати на охорону ґрунтів від забруднення відходами | |

сується як невідновлюваних, так і відновлюваних ресурсів, враховуючи, що природа робить розрізнення між ними і в разі потреби може повертати природні матеріали назад до органічного стану. Згідно з першим законом термодинаміки, матерія не зникає, але для підтримки її корисності або експлуатації необхідно зовнішнє енергетичне джерело. Важливо зменшувати розбіжності в концентраціях матеріалів при їх повторному використанні або рециркуляції, оскільки зі зростанням таких розбіжностей збільшуються енергетичні витрати.

Використання невідновлюваних ресурсів, як правило, має вищу продуктивність порівняно з відновлюваними ресурсами, що вимагає періодичне повернення до використання невідновлюваних ресурсів, аби уникнути надмірних вимог до земельних ресурсів, які не можуть бути задоволені через обмежені

природні території. Висновок полягає в тому, що основна екологічна задача, яку вирішує промислова екологія – це оптимальний розподіл обмеженого обсягу природних ресурсів в одиницю часу для забезпечення максимальної корисності. В цьому контексті особливу увагу приділяється екологічній економіці та її енергетичним потребам, оскільки стабільне постачання сировини є ключовою умовою виробництва товарів. Отже підвищення енергетичної та ресурсної ефективності в усіх секторах підвищує досягнуту корисність, де ефекти є взаємопов'язаними: ефективніше використання сировини знижує енерговитрати на її добування; більш ефективне використання енергії знижує потребу в сировині для виробництва енергії. Це відкриває широкі можливості для промислової екології.

Література

1. Andryeyeva N., Khumarova N., Nikolaychuk T. Aligning the social, environmental, and economic interests of “green growth” of the Ukrainian nature reserve fund objects. *Environmental Economics*. 2019. № 10(1). P. 93-104. DOI:10.21511/ee.10(1).2019.07.
2. Багорка М.О., Сергієнко А.А. Екологізація виробництва аграрних підприємств як інноваційна складова їх розвитку. *Економічні студії*. 2021. № 3(33). С. 10-16.
3. Екологія. довкілля. Енергозбереження. 2023. : колективна монографія / під ред. О.В. Степової. Полтава : НУІП імені Юрія Кондратюка. 2023. 246 с.
4. Adam D.H., Supriadi Y.N., Ende Siregar Z.M.E. Green Manufacturing, Green Chemistry And Environmental Sustainability: A Review. *International Journal of Scientific & Technology Research*. 2020. №. 9(04). pp. 2209-2211.
5. Василенко І.А., Чупринов С.В., Іванченко А.В., Скиба М.І., Воробйова В.І., Галиш В.В. Зелені технології у промисловості : монографія. Дніпро : Акцент ПП, 2019. 366 с.
6. Hablovskiy V., Hablovskaya N., Shtohryn L., Kasiyanchuk D., Kononenko M. The Long-Term Prediction of Landslide Processes within the Precarpathian Depression of the Cernivtsi Region of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. 2023. №. 24(7). pp. 254-262. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/164753>.
7. Makedon V., Dzeveluk A., Khaustova Y., Bieliakova O., Nazarenko I. Enterprise multi-level energy efficiency management system development. *International Journal of Energy, Environment, and Economics*. 2021. №. 29, Issue 1. pp. 73-91.
8. Івашура А.А. Сучасні тенденції розвитку зеленої економіки в умовах глобалізації та мінімалістичного руху : монографія. Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2022. 113 с.
9. Santi M., Sancineto L., Nascimento V., Azeredo J.B., Orozco E.V.M., Andrade L.H., Gröger H., Santi C. Flow Biocatalysis: A Challenging Alternative for the Synthesis of APIs and Natural Compounds. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021. №. 22(3). pp. 990. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms22030990>.
10. Доктрина збалансованого розвитку. Вид. друге / за ред. Жилінської О. Львів : Кальварія, 2017. 164 с.
11. Машков О.А., Іващенко Т.Г. Проблеми управління екологічною безпекою планованої діяльності за допомогою систем підтримки прийняття управлінських інформаційних екологічних рішень. *Науковий часопис Академії національної безпеки*. 2020. № 3-4(27-28). с. 7–34.
12. Kharissova Q.V., Kharisov B.I., González C.M.O., Méndez Y.P., López I. Greener synthesis of chemical compounds and materials. *Royal Society Open Science*. 2019. № 6(11). pp. 191378. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsos.191378>.
13. Македон В.В., Байлова О.О. Планування і організація впровадження цифрових технологій в діяльність промислових підприємств. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія «Економічні науки»*. 2023. № 47. С. 16-26. DOI: 10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3.
14. Македон В., Михайленко О., Красніков П. Управління розробкою та реалізацією національних і міжнародних проєктів у сфері відновлювальної енергетики. *Підприємство та інновації*. 2023. № 26. с. 5-13. DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-3583/26.1>.
15. Лазоренко-Гевель Н.Ю. Створення інформаційних моделей даних моніторингу природних комплексів. *Містобудування та територіальне планування*. 2014. № 51. С. 275–283.
16. Гнатів П.С., Бальковський В.В., Лопотич Н.Я., Дацко Т.М. Техно- й убросистеми: методологічні підходи до оцінювання стану урбанізованого довкілля. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. т. 29. № 5 URL: https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2019/29_5/18.pdf (дата звернення: 10.02.2024).
17. Bhunia G.S., Shit P.K., Sengupta D. Free-open access geospatial data and tools for forest resources management. *Spatial modeling in forest resources management: rural livelihood and sustainable development*. Switzerland: Springer Cham, 2021. pp. 651–675. DOI: 10.1007/978-3-030-56542-8_28.
18. Корчовий Р. Спеціальний адміністративно-територіальний режим територій природно-заповідного фонду: чинники самоврядного механізму управління. *Теоретичні та прикладні питання державотворення*. 2023. № 28. С. 67-82. DOI: 10.35432/tisb282022285247.
19. Wang C., Dong G. Research on Green Financial Ecology Construction Based on Low Carbon Economy. *Ekoloji*. 2019. № 107. pp. 3635-3641 URL: <http://www.ekolojidergisi.com/article/research-on-green-financial-ecology-construction-based-on-low-carbon-economy-6006> (дата звернення: 10.02.2024).
20. Scholtens B. Why Finance Should Care about Ecology. *Trends in Ecology and Evolution*. 2017. №. 32. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2017.03.013>.

ВПЛИВ СВИНОКОМПЛЕКСІВ НА ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

Ткачук О.П., Врадій О.І.

Вінницький національний аграрний університет

вул. Сонячна, 3, 21008, м. Вінниця

tkachukop@ukr.net

Представлено основні причини, що визначають свинокомплекси, як важливі джерела забруднення атмосферного повітря серед сільськогосподарських підприємств. Встановлено джерела забруднення атмосферного повітря від діяльності свинокомплексів. Проаналізовано основні забруднюючі речовини, що забруднюють повітря від діяльності свинокомплексів. Приведено дані щодо санітарно-захисних зон навколо свинокомплексів та причини, що зумовлюють їх зміну. Зазначено питомі викиди в атмосферне повітря при зберіганні гною та від діяльності свинокомплексу за даними Збірника показників емісії забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами. Представлено методику розрахунків таких викидів залежно від чисельності тварин. Подано Європейські принципи охорони атмосферного повітря внаслідок впливу діяльності свинокомплексів.

Значне накопичення на обмеженій площі свиней, кормів та органічних відходів на свинокомплексах робить їх потужними чинниками забруднення атмосферного повітря. Основними джерелами забруднення повітря від свинокомплексів є приміщення для утримання тварин; витяжна вентиляція цих приміщень; паливні теплові установки; місця зберігання та обробки гною; споруди зберігання, обробки, підготовки кормів; відкриті майданчики для вигулювання свиней. Від цих джерел забруднення в атмосферне повітря викидаються такі забруднюючі речовини: метан, сірководень, вуглекислий газ, аміак, пил, оксид азоту, метилмеркаптан, диметиламін, диметилсульфід та інші.

Одним із важливих чинників гарантування безпечності атмосферного повітря є дотримання розмірів санітарно-захисних зон навколо свинокомплексів, яка залежить від чисельності поголів'я тварин. Також важливі належна обробка, підготовка і зберігання гною; розподіл твердої та рідкої фракції відходів, проведення їх сепарації; підкислення рідкої фракції гною сірчаною кислотою; накриття куп гною торфом, соломом, стружкою, травою; встановлення фільтрів у припливно-витяжні вентиляційні отвори; встановлення мокрих скрубєрів та біофільтрів. *Ключові слова:* свинокомплекс, забруднення повітря, діяльність, викиди, санітарно-захисна зона, природоохоронні заходи.

Influence of pork complexes on pollution Atmospheric air. Tkachuk O., Vradiy O.

The main reasons determining pig farms as important sources of atmospheric air pollution among agricultural enterprises are presented. The sources of atmospheric air pollution from the activities of pig farms have been established. The main polluting substances that pollute the air from the activities of pig farms have been analyzed. Data on sanitary protection zones around pig farms and the reasons for their change are given. The specific emissions into the atmospheric air during manure storage and from the activities of the pig complex are indicated according to the data of the Collection of indicators of the emission of pollutants into the atmospheric air by various productions. The method of calculating such emissions depending on the number of animals is presented. The European principles of atmospheric air protection due to the influence of the activities of pig farms are presented.

The significant accumulation of pigs, fodder and organic waste on a limited area in pig farms makes them powerful sources of atmospheric air pollution. The main sources of air pollution from pig farms are premises for keeping animals; exhaust ventilation of these premises; fuel thermal installations; manure storage and processing places; facilities for storage, processing, preparation of fodder; open areas for walking pigs. The following pollutants are released into the air from these sources of pollution: methane, hydrogen sulfide, carbon dioxide, ammonia, dust, nitrogen oxide, methylmercaptan, dimethylamine, dimethylsulfide, and others.

One of the important factors in guaranteeing the safety of atmospheric air is compliance with the size of sanitary protection zones around pig farms, which depends on the number of livestock. Proper processing, preparation and storage of manure are also important; distribution of solid and liquid fractions of waste, carrying out their separation; acidification of the liquid fraction of manure with sulfuric acid; covering manure piles with peat, straw, shavings, grass; installation of filters in supply and exhaust ventilation holes; installation of wet scrubbers and biofilters. *Key words:* pig complex, air pollution, activity, emissions, sanitary protection zone, nature protection measures.

Постановка проблеми. Зростаючі потреби у м'ясі та тваринному білку зумовлюють щорічне збільшення кількості свинокомплексів у всьому світі. Аналогічна тенденція характерна і для України, де на 2022 рік загальне поголів'я свиней за даними Державної служби статистики становило 6,5 млн голів. Зростання поголів'я свиней в Україні корелює із відкриттям нових та збільшенням потужності існуючих свинокомплексів. Специфіка виробництва

свинини зумовлює значний негативний вплив на стан атмосферного повітря [1].

Актуальність дослідження. Беззаперечним є той факт, що свинарство, як важлива галузь тваринництва, має негативний вплив на стан навколишнього середовища. Нарощування потужностей виробництва м'ясної продукції свинарства зумовлює збільшення викидів парникових газів (метану та закису азоту). Закис азоту суттєвіше впливає на

зміну клімату, ніж метан та виділяється переважно під час розкладання гною [2].

В умовах інтенсифікації галузі свинарства необхідно провести аналіз впливу на довкілля господарської діяльності свиноферм в зоні їх розташування та на прилеглий території. Саме постійний контроль впливу діяльності свинокомплексів і свиноферм на стан навколишнього середовища дозволить виявити екологічні загрози та вчасно розробити заходи щодо оптимізації господарської діяльності з метою мінімізації негативного впливу на довкілля свиноферм [3].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Важливим завданням еколога-безпечного ведення свинарства є зниження його негативного навантаження на довкілля. Для цього важливо дотримуватися всіх нормативно-технологічних вимог, починаючи від проєктування, розміщення, будівництва свинокомплексів і закінчуючи їх виробничою діяльністю. Необхідно забезпечувати та контролювати відповідний мікроклімат як у приміщеннях для тварин, так і на території свинокомплексів загалом [4].

Однією з найнагальніших проблем у свинарстві залишається проблема утилізації відходів виробництва, що включає своєчасне видалення, забезпечення належних умов зберігання у спеціально облаштованих місцях їх утилізації. Саме зазначені питання висвітлюються і розкриваються у статті.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Сучасні інтенсивні технології на свинокомплексах передбачають широке використання щеплень та антибіотиків, генно-модифікованих продуктів, застосування кормів з біологічними добавками та комбінованим складом, що суттєво прискорюють ріст тварин та дозволяють одержувати товарну продукцію у найбільш короткі терміни з максимальною продуктивністю свиней [5].

Потужні виробники свинини в своєму бажанні одержати надприбуток часто зневажають і не дотримуються правил будівництва та експлуатації свиноферм, а також санітарних норм і правил. Це суттєво позначається на умовах проживання людей навколо таких комплексів, а їх думка щодо доцільності створення та функціонування свинокомплексів поблизу житлової забудови ігнорується [6].

Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження переліку видів діяльності та об'єктів, що становлять підвищену екологічну небезпеку» від 28.08.2013 № 808 визначає тваринницькі комплекси для вирощування свиней, у яких утримується понад 5 тис. голів як такі, що становлять підвищену екологічну небезпеку [7].

Найбільшою екологічною проблемою у свинарстві є утилізація гною. За добу від однієї свині утворюється 12 кг рідких відходів, що, як правило потрапляють у резервуари під тваринницькими приміщеннями, а потім відводиться у спеціальні відстійники [8].

Важливою екологічною проблемою внаслідок функціонування свинокомплексів є виділення шкідливих газів: метану та аміаку. Від їх утворення у працівників та тварин часто виявляються отруєння газами, а також супутні захворювання шлунку, органів дихання та очей. Жителі прилеглих до свинокомплексу зон відчувають підвищені концентрації аміаку, сірководню, алергенів. Постійні неприємні запахи та шкідливі гази викликають стреси, перепади настрою, роздратування, підвищення тиску, головні болі та запаморочення. Також ці гази належать до парникових. Встановлено, що на

100 грам м'ясної продукції свинарства виділяється 14 кг парникових газів [9].

Екологами часто фіксуються випадки порушення санітарних вимог, природоохоронних заходів щодо діяльності таких свинокомплексів, оскільки вони часто взагалі не мають власних очисних споруд.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Наявність значних екологічних проблем на свинокомплексах, що позначаються на забрудненні навколишнього середовища та негативному впливі на стані здоров'я населення вимагає визначення основних екологічних небезпек від цієї діяльності та встановлення основних природоохоронних заходів, реалізація яких сприятиме поліпшенню стану довкілля. Саме на вирішення зазначених проблем направлена стаття.

Новизна. Вперше проведено комплексне дослідження та оцінку можливого негативного впливу свинокомплексів на стан навколишнього середовища та здоров'я населення. Приведено градацію санітарно-захисних зон навколо свинокомплексів залежно від чисельності голів свиней на свинофермі. Вказано основні принципи природоохоронних заходів на свинокомплексах, що ґрунтуються на сучасному Європейському досвіді.

Методологічне або загальнонаукове значення. Дослідження проводилися на основі опрацювання наукових, нормативних та методологічних літературних джерел за тематикою статті.

Виклад основного матеріалу. Свинокомплекси являють собою місце утримання великої кількості свиней на обмеженій площі, органічних кормів для їх годівлі, а також місце утворення, накопичення та тривалого зберігання великої кількості органічних відходів. Усі зазначені складові свинокомплексів можуть бути джерелом надходження в навколишнє середовище найрізноманітніших і небезпечних забруднюючих речовин, які можуть негативно впливають на самопочуття, здоров'я та життєдіяльність людини.

Найпотужнішими джерелами утворення викидів забруднюючих речовин у повітря на свинокомплексах є: приміщення для утримання тварин; витяжна вентиляція цих приміщень; паливні теплові установки; місця зберігання та обробки гною; споруди

зберігання, обробки, підготовки кормів; відкриті майданчики для вигулювання свиней [10] (табл. 1).

Внаслідок функціонування, господарської та виробничої діяльності зазначених об'єктів на свинокомплексах у атмосферне повітря від них викидаються такі забруднюючі речовини: метан, сірководень, вуглекислий газ, аміак, пил, оксид азоту, метилмеркаптан, диметиламін, диметилсульфід та інші [11].

Таблиця 1

Джерела утворення та види забруднюючих речовин, що надходять у повітря від свинокомплексів

| Джерела утворення забруднюючих речовин | Забруднюючі речовини |
|--|----------------------|
| 1) приміщення для утримання тварин; | 1) метан, |
| 2) витяжна вентиляція; | 2) сірководень, |
| 3) паливні теплові установки; | 3) вуглекислий газ, |
| 4) споруди зберігання та обробки гною; | 4) аміак, |
| 5) місця зберігання та обробки кормів; | 5) пил, |
| 6) майданчики для вигулювання свиней. | 6) оксид азоту, |
| | 7) метилмеркаптан, |
| | 8) диметиламін, |
| | 9) диметилсульфід. |

Ці речовин викликають неприємні запахи від свиноферм та є небезпечними для здоров'я людини. Також вони негативно впливають на стан атмосферного повітря, оскільки складають 18% у структурі викидів парникових газів. Зокрема з 1 тоною гною у повітря виділяється 52 м³ біогазу, 60% якого представлений метаном, що належить до парникових газів [12].

Аміак виділяється при поводженні з гноєм. Це небезпечний безбарвний газ, який утворюється переважно з сечі тварин, що розкладається анаеробними бактеріями, а також при гнитті азотовмісних органічних речовин у ґрунті та гноєховищах. Аміак викликає у людей сльозотечу, печію, подразнення слизових оболонок носоглотки, біль в горлі при ковтанні, головний біль, загальну слабкість, запаморочення, порушується хода, виникає нудота, блювота, прискорюється серцебиття, виникають судоми, порушується діяльність серцево-судинної системи [13].

Сірководень виділяється внаслідок процесів гниття сірковмісних органічних речовини, які накопичуються у тваринницьких приміщеннях свинокомплексів, де утворюються сприятливі умови для їхнього гниття. Сірководень також надходить із місць накопичення гноївки та каналізаційної системи. Це безбарвний, надзвичайно отруйний, горючий газ із специфічним і неприємним запахом тухлих яєць. Він викликає сльозотечу, нежить, задишку, кашель, біль у грудній клітці, тахікардію, слабкість, судоми, втрату свідомості [14].

Метан утворюється на свинокомплексах у місцях накопичення та зберігання твердого або рідкого гною. При розкладанні гною в анаеробних умовах

утворюється його значна кількість. Він спричиняє набряки легень, задуху, пришвидшене серцебиття, головний біль.

Оксиди азоту N₂O виділяються у приміщеннях утримання тварин, місцях зберігання та накопичення гною. Це отруйні гази, характер дії яких залежить від вмісту інших оксидів азоту в повітрі. При високих концентраціях оксидів азоту можливі астматичні прояви та набряки легень. Також метан (CH₄) та оксид азоту (N₂O) є одними з основних парникових газів, що викликають глобальне потепління на Землі.

Крім газоподібних викидів у повітря від свинокомплексів значними обсягами надходять **пил** та **мікроорганізми**. Джерелами їх утворення є приміщення обробки, підготовки та зберігання кормів, а також шкіра тварин. Чинниками, які впливають на викиди пилу від свинокомплексів є наявність вентиляції приміщень, активність тварин, характер і обсяг підстилки, вид та консистенція кормів, вологість у тваринницьких приміщеннях.

Суттєво впливають на обсяги викидів від діяльності свинокомплексів вид корму, а також спосіб годівлі, відсутність або несправність системи очистки викидів, неправильне зберігання гною. Ці фактори є основними причинами неприємних запахів від свинокомплексів, оскільки утворені газоподібні продукти розпаду зумовлюють неприємний запах. Підсилює неприємні запахи від свинокомплексів пил, який викидається з свиноферми і посилює транспортування неприємного запаху. Відчуття неприємного запаху від свинокомплексу може вказувати на недотримання підприємством встановлених меж санітарно-захисної зони [15].

Законодавчо визначена мінімальна відстань від свинокомплексів до меж житлової забудови, що отримала назву санітарно-захисної зони. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів, що затверджені наказом Міністерства охорони здоров'я України від 19.06.1996 № 173 встановлюють нормативну санітарно-захисну зону для тваринницьких ферм, яка визначається кількістю поголів'я тварин [16] (табл. 2).

Таблиця 2

Розміри санітарно-захисної зони від свинокомплексів залежно від чисельності тварин

| Чисельність голів свиней, шт. | Розмір санітарно-захисної зони, м |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| 15 | 25 |
| 30 | 50 |
| 50 | 75 |
| 100 | 150 |
| 150 | 300 |
| 200 | 400 |
| До 12000 | 500 |
| 12000–24000 | 1500 |
| 54000 і більше | 2000 |

Санітарно-захисна зона встановлюється від межі тваринницького об'єкта до межі житлової забудови чи ділянок громадських установ, будинків і споруд, в тому числі дитячих, навчальних, лікувально-профілактичних установ, закладів соціального забезпечення, спортивних споруд та інших, а також територій парків, садів, скверів, інших об'єктів зеленого будівництва загального користування, ділянок оздоровчих та фізкультурно-спортивних установ, місць відпочинку, садівничих товариств та інших, прирівняних до них об'єктів.

Державними санітарними правилами зазначено, що у випадках не підтвердження розмірів визначеної санітарно-захисної зони або неможливості її забезпечення в конкретних умовах, приймається рішення про зміну технології виробництва, що зумовить зменшення викидів шкідливих речовин в атмосферу, перепрофілювання або закриття даної діяльності.

В той же час державні санітарні правила дозволяють зміну розмірів санітарно-захисної зони у напрямі її зменшення, якщо в результаті розрахунків та лабораторних досліджень виявлено, що на межі житлової забудови та прирівняних до неї об'єктів, концентрації шкідливих речовин у атмосферному повітрі, зумовлених діяльністю свинокомплексу, рівні шуму від нього та інші негативні впливи не перевищуватимуть встановлені гігієнічні нормативи.

Розміри санітарно-захисних зон для нових технологій, виробництв, підприємств та інших виробничих об'єктів, а також зміна розмірів цих зон затверджуються Головою Державної служби з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів за результатами проведення державної санітарно-епідеміологічної експертизи відповідних матеріалів [16].

Інтенсивність забруднення атмосферного повітря від діяльності свинокомплексу, а також поширення забруднюючих речовин від нього визначається спеціальними розрахунками. Визначальним критерієм оцінки впливу викидів свинокомплексу на атмосферне повітря є порівняння фактичних концентрацій забруднюючих речовин з урахуванням їх фонових концентрацій, з гранично допустимими концентраціями (ГДК) цих речовин в атмосферному повітрі населених пунктів.

Розрахунки валових викидів забруднюючих речовин від свинарських підприємств проводять на основі питомих викидів, приведених у «Збірнику показників емісії забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами». Цей документ використовується проектними екологічними організаціями при проведенні інвентаризації джерел викидів та обчисленні валових обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря на підприємствах при проведенні державного обліку в сфері охорони атмосферного повітря та розрахунку екологічного збору, який здійснюється за викиди в атмосферне повітря відповідно до листа Мінприроди від 28.05.2010 [17].

«Збірник показників емісії забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами» визначає основні забруднюючі речовини, які утворюються внаслідок діяльності свинокомплексів: аміак, сірководень, фенол, альдегід пропіоновий, кислота капронова, диметилсульфід, метилмеркаптан, диметиламін, метан, мікроорганізми. Питомі викиди в атмосферне повітря при зберіганні гною та від діяльності свинокомплексу приведені у таблиці 3 [17].

Таблиця 3

Питомі викиди забруднюючих речовин у повітря від діяльності свинокомплексів

| Джерело утворення забруднюючих речовин | Забруднююча речовина | Питомі викиди забруднюючої речовини на одну голову, кг/рік |
|--|----------------------|--|
| Гноярка | Аміак | 6,39 |
| | Метан | 4,00 |
| Свинарник | Аміак | 0,43 |
| | Метан | 1,50 |
| | Сірководень | 0,087 |
| | Метилмеркаптан | 0,0032 |
| | Диметилсульфід | 0,064 |

Питомі викиди забруднюючих речовин у повітря подаються у звіті з інвентаризації забруднюючих речовин та обґрунтовуючих документах, які є обов'язковими складовими до дозволу на викиди.

Разом з дотриманням меж санітарно-захисних зон існують інші природоохоронні заходи на свинокомплексах. Європейські принципи охорони атмосферного повітря внаслідок впливу діяльності свинокомплексів передбачають запровадження таких заходів [1]:

- належна обробка, підготовка і зберігання гною;
- розподіл твердої та рідкої фракції відходів, проведення їх сепарації, тоді рідка фракція не міститиме твердих частинок та припиниться процес їх розкладання, що суттєво зменшить утворення неприємних запахів;
- підкислення рідкої фракції гною сірчаною кислотою для зв'язування аміаку. Зберігання рідкої фракції гною у закритих ємностях та резервуарах, що обмежує випаровування метану, сірководню та неприємного запаху;
- накриття куп гною торфом, соломною, стружкою, травою, що зменшує випаровування аміаку на 50%;
- встановлення фільтрів у припливно-витяжні вентиляційні отвори для уловлювання пилу та мікроорганізмів у приміщеннях з утриманням тварин та зберігання і підготовки кормів;
- встановлення мокрих скрубєрів для уловлювання аміаку та пилу; біофільтрів – для уловлювання аміаку, пилу та усунення неприємного запаху у приміщеннях, де не використовують підстилку.

Головні висновки. Значне накопичення на обмеженій площі свиней, кормів та органічних

відходів на свинокомплексах робить їх потужними чинниками забруднення атмосферного повітря. Основними джерелами забруднення повітря від свинокомплексів є приміщення для утримання тварин; витяжна вентиляція цих приміщень; паливні теплові установки; місця зберігання та обробки гною; споруди зберігання, обробки, підготовки кормів; відкриті майданчики для вигулювання свиней. Від цих джерел забруднення в атмосферне повітря викидаються такі забруднюючі речовини: метан, сірководень, вуглекислий газ, аміак, пил, оксид азоту, метилмеркаптан, диметиламін, диметилсульфід та інші.

Одним із важливих чинників гарантування безпечності атмосферного повітря є дотримання розмі-

рів санітарно-захисних зон навколо свинокомплексів, яка залежить від чисельності поголів'я тварин. Також важливі належна обробка, підготовка і зберігання гною; розподіл твердої та рідкої фракції відходів, проведення їх сепарації; підкислення рідкої фракції гною сірчаною кислотою; накриття куп гною торфом, соломою, стружкою, травою; встановлення фільтрів у припливно-витяжні вентиляційні отвори; встановлення мокрих скрубєрів та біофільтрів.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати досліджень можуть бути використані при проєктуванні та будівництві нових свинокомплексів, а також впровадженні природоохоронних заходів щодо зниження забруднення атмосферного повітря на функціонуючих свинофермах.

Література

1. Романів С. Викиди від свинокомплексів. *Екологія право людина*. URL: <https://epl.org.ua/human-posts/vykydy-vid-svynokompleksiv/> (дата звернення 15.01.2024).
2. Беденков Є.Л. Екологічний вплив на довкілля підприємств із виробництва свинини. *Біорізноманіття та роль тварин в екосистемах*: Матеріали VIII Міжнародної наукової конференції. Дніпропетровськ: Ліра, 2015. С. 9–10.
3. Позиція ВЕЛ щодо впливу свинокомплексів на довкілля. *Всеукраїнська екологічна ліга*. URL: [https://www.ecoleague.net/pozytsiia-vel-shchodo-ekoproblem/zaiavy-zvernennia/2017-rik/item/1360-pozytsiia-vel-shchodo-vplyvu-svynokompleksiv-na-dovkillia](https://www.ecoleague.net/pozytsiia-vel-shchodo-vplyvu-svynokompleksiv-na-dovkillia) (дата звернення 15.01.2024).
4. Жукорський О.М., Геть А.А., Волощук В.М. Екологічне оцінювання стану об'єктів навколишнього середовища в зоні діяльності підприємств з виробництва свинини: наук.-метод. реком. Київ, 2014. 26 с.
5. Жукорський О.М., Никифорок О.В. Галузь свинарства – реальна та прогнозована загроза для довкілля. *Агроекологічний журнал*. 2013. № 3. С. 102–106.
6. Жукорський О.М., Никифорок О.В. Екологічне оцінювання впливу на довкілля підприємств з виробництва свинини різних господарсько-технологічних особливостей. *Вісник аграрної науки*. 2014. № 12. С. 39–43.
7. Zhukorskiy O., Moklyachuk L., Nykiforuk O. Emissions of air pollutants from area livestock industry in Ukraine. *Agricultural Science and Practice*. 2014. № 2. P. 39–45. <https://doi.org/10.15407/agrisp1.02.039>.
8. Ярошук О. Зворотний бік стейка: метан, вуглець і нітрати. URL: <https://www.epravda.com.ua/publications/2018/10/22/641786> (дата звернення 15.01.2024).
9. Про екологічний аудит: Закон України від 24.06.2006 р. № 1862–VI URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1862-15#Text> (дата звернення 15.01.2024).
10. Фостолович В.А., Яковенчук О.О. Екологічний аудит в системі екологічного менеджменту сільськогосподарських підприємств. *Інноваційна економіка*. 2011. № 4. С. 61–65.
11. Кучер А.В. Стратегічні напрями розвитку низьковуглецевого землекористування як запоруки стійкості до змін клімату: моногр. Харків: ФОП Бровін О. В., 2019. 202 с. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22016.38400> (дата звернення 15.01.2024).
12. Методичні рекомендації зі скорочення викидів аміаку з сільськогосподарських джерел За ред. О.І. Фурдичка. Київ, 2016. 31 с. URL: <https://agroeco.org.ua/wp-content/uploads/Ammonia.pdf>. (дата звернення 15.01.2024).
13. Пономарьова М.С., Вовк Н.В., Должикова І.С. Екологічні та соціально-економічні засади використання земель та перспективи управління земельними ресурсами. *Вісник ХНАУ ім. В.В. Докучаєва. Серія Економічні науки*. 2015. № 3. С. 369–375.
14. Кучер Л.Ю., Кучер А.В., Шаповалова О.С. Екологічний аудит свинокомплексу в системі екологічного менеджменту. *Вісник ХНАУ ім. В.В. Докучаєва. Серія Економічні науки*. 2020. № 3. С. 381–396.
15. Богачик О. Вплив промислового свинарства на навколишнє середовище. URL: <https://ciwf.in.ua/?p=925> (дата звернення 15.01.2024).
16. Про затвердження Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96#Text> (дата звернення 16.01.2024).
17. Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами. Том III. *Український науковий центр технічної екології*. Донецьк. 2004. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/zbirnik_3.pdf (дата звернення 15.01.2024).

ВІТРОВИЙ РЕЖИМ ТА ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ЛУЦЬКА

Федонюк В.В., Панькевич С.Г., Федонюк М.А.

Луцький національний технічний університет

вул. Львівська, 75, 43018, м. Луцьк

ecolutsk@gmail.com, psg@gmail.com, m.fedoniuk@lntu.edu.ua

Розглянуто параметри формування вітроенергетичного потенціалу м. Луцька та чинники його змін у контексті проявів регіональних змін клімату на території дослідження. Предметом вивчення була оцінка можливостей розширеного використання альтернативної енергії вітру в м. Луцьку та у Північно-Західному регіоні України в цілому. В контексті дослідження вітроенергетичного потенціалу було проаналізовано особливості формування вітрового режиму Луцька, його динаміка та її зміни на протязі останніх 50 років (1971–2020 рр.). Досліджено чинники формування і основні показники вітрового режиму в Луцьку. Оцінено сприятливість вітрового режиму міста для потреб вітроенергетики. Проаналізовано вплив міста на формування місцевих мікрокліматичних особливостей вітрового режиму, зміну горизонтальних і вертикальних вітрових профілів у окремих мікрорайонах. Оцінено перспективи використання малих та великих вітроенергетичних установок у зонах збільшених швидкостей вітрового потоку. Дослідження виконувалося із застосуванням таких методів, як збір інформації, моделювання і прогнозування, графічні, картографічні методи, методи аналізу і синтезу, порівняння і аналогії.

Основні результати виконання наукового дослідження: визначено особливості та динаміку вітрового режиму та вітроенергетичного потенціалу м. Луцька; оцінено особливості впливу міської урбоєкосистеми на вітровий режим та зворотній вплив вітрового режиму на мікроклімат міста; збудовано ряд графіків, діаграм, таблиць, картосхем з числовими показниками динаміки вітрового режиму та вітроенергетичного потенціалу; оцінено доцільність встановлення в місті вітроенергетичних установок промислової та малої потужності; встановлено, що для Луцька перспективними є вітроенергетичні установки малої потужності (у поєднанні з сонячними панелями), місця встановлення яких варто вибирати після комплексного мікрокліматичного дослідження перетворень вітрового профілю та пошуку точок підсилення швидкостей вітру в місті. *Ключові слова:* вітровий режим, швидкість вітру, вітроенергетична установка, вітроенергетичний потенціал.

Wind regime and wind energy potential of Lutsk. Fedoniuk V., Pankevich S., Fedoniuk M.

The parameters of the formation of the wind energy potential of the city of Lutsk and the factors of its changes in the context of manifestations of regional climate changes on the territory of the study were considered. The subject of the study was an assessment of the possibilities of expanded use of alternative wind energy in the city of Lutsk and in the Northwestern region of Ukraine as a whole. In the context of the study of wind energy potential, the peculiarities of the formation of the wind regime of Lutsk, its dynamics and its changes over the past 50 years (1971–2020) were analyzed. The formation factors and main indicators of the wind regime in Lutsk were studied. The favorableness of the city's wind regime for the needs of wind energy was assessed. The impact of the city on the formation of local microclimatic features of the wind regime, changes in horizontal and vertical wind profiles in individual microdistricts is analyzed. The prospects for the use of small and large wind power plants in areas of increased wind speed have been assessed. The research was carried out using such methods as information gathering, modeling and forecasting, graphic, cartographic methods, methods of analysis and synthesis, comparison and analogy.

The main results of the scientific research: the characteristics and dynamics of the wind regime and wind energy potential of the city of Lutsk were determined; the peculiarities of the influence of the urban urban ecosystem on the wind regime and the reverse influence of the wind regime on the microclimate of the city were assessed; a number of graphs, diagrams, tables, maps with numerical indicators of the dynamics of the wind regime and wind energy potential were built; the feasibility of installing industrial and low-power wind power plants in the city was assessed; it was established that low-power wind energy installations (combined with solar panels) are promising for Lutsk, the installation sites of which should be chosen after a comprehensive microclimatic study of wind profile transformations and finding points of wind speed amplification in the city. *Key words:* wind regime, wind speed, wind energy installation, wind energy potential.

Постановка проблеми. У дослідженні було проаналізовано зміни у формуванні та динаміці вітрового режиму Луцька на протязі останніх 50 років (1971–2020 рр.) в контексті вивчення можливостей використання вітроенергетичного потенціалу регіону для розвитку малої вітроенергетики.

Актуальність дослідження. В останні десятиліття вчені, політики, практики – екологи активно працюють над «зеленим переходом» – комплексом заходів, що має на меті скоротити використання вуглецевих енергетичних ресурсів та збільшити

використання альтернативних відновлювальних джерел енергії, до яких відносять і енергію вітру. Вітроенергетичний потенціал – це важливий природний ресурс, який в наш час використовується для альтернативного отримання електроенергії як в приватних господарствах, так і на рівні держави. В Україні вітрова енергетика розпочала активно розвиватися перед війною, але агресія росії призвела до руйнування чи захоплення більшості великих вітроелектростанцій (далі – ВЕС), розміщених на півдні та південному сході. Водночас атаки ворога

на енергетичну структуру зробили процеси формування енергоне залежності міст, громад, окремих господарств дуже важливими. Все це визначає актуальність теми даного дослідження, в якому розглянуто доцільність розвитку вітроенергетики в тих областях України, які донедавна вважалися малоперспективними для неї.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та науково-практичними завданнями. Дослідження передумов та перспектив розвитку альтернативної енергетики в Україні, до якої відносимо і вітрову енергетику – це стратегічно важливий напрямок наукових та прикладних досліджень, який дозволить вирішити ряд завдань «зеленого переходу», просунути на шляху призупинення глобальних змін клімату, забезпечити енергоне залежність як окремих міст та громад, так і України в цілому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Особливості вітрового режиму над Україною, механізми розвитку циркуляційних систем в атмосфері вивчали такі українські вчені, як Г.Ф. Прихотько, М.В. Буйков, В.М. Мучник, О. Шевченко, С.І. Сніжко, М.М. Талерко, О.Н. Сухінський, Г.М. Пірнач, М.В. Сирота та багато інших, праці яких було узагальнено в [9, 14, 18]. Дослідження динаміки вітрового режиму для Луцька та території Волинської області здійснювали Бабіченко В.М., Сусідко М.Н., Смітюх В.Р., Щербань І.М., Половко І.К., Зузук Ф.П., Попов В.П., Пищолка В.М., Тарасюк Ф.П., Тарасюк Н.А., Федонюк В.В., Василюк М.В. та інші [2, 9, 11, 13, 16, 18]. Багато наукових праць було присвячено і вивченню вітроенергетичного потенціалу України, серед них відмітимо праці С. Величко, М. Сиротюк, Г. Півняк, Ф. Шкрабець, Н. Нойбергер, Д. Циценкова, А. Смердова, О. Ачкасової, О. Третякова, Кудрі С.О., Петрук В.Г., Коцюбинської С.С., Мацюк Д.В. [3, 4, 5, 7, 8, 10, 12, 13, 14, 15]. Оскільки Волинська область довгий час вважалась малоперспективною для розвитку вітроенергетики, то науковому вивченню цього питання присвячено небагато праць, серед проаналізованих виділимо дотичні до теми роботи О. Наквацької, В.О. Фесюка, С.О. Пугача, А.М. Слащука, В.Г. Петрука, С.С. Коцюбинської, Д.В. Мацюк, В.В. Федонюк, М.А. Федонюка [11, 13, 16, 17, 18, 20]. Зокрема, у працях Христецької М.Б., Федонюк В.В., Федонюка М.А., Павлуся А.М., Мерленка І.М., Бондарчука С.П. при аналізі змін у динаміці таких метеоявищ, як атмосферні опади, грози, вітровий режим аналізувався як один з складників погодно-кліматичних умов у регіоні [17, 20].

Розрахунки показників вітроенергетичного потенціалу та ефективності роботи вітроенергетичних установок проводилися авторами за методиками П.Ф. Васька, А.С. Мазінова, Е.А. Бекірова [3, 4, 10]. Враховано було також результати досліджень Кузьо І.В., Корендій В.М., Петренко К.В., Кузнєцова М.П., Іванченко І.В., Кармазіна О.О., Борсук А.С. [5, 8, 12].

Для розуміння стану розвитку вітроенергетики в Україні та міжнародного досвіду у галузі було проаналізовано матеріали [6, 19]. Метеорологічні характеристики вітрового режиму і показники кліматичної норми для Луцька аналізувалися за даними [1].

Виділення не виділених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Об'єктом даного дослідження є вітроенергетичний потенціал м. Луцька та чинники його формування. Оскільки Волинська область довгий час вважалась малоперспективною для розвитку вітроенергетики, то вітроенергетичний потенціал самого Луцька практично не досліджувався. На основі цього було сформульовано мету дослідження: аналіз особливостей формування вітрового режиму та вітроенергетичного потенціалу Луцька, оцінка можливостей розширеного використання енергії вітру в регіоні.

Новизна. Новизна роботи визначається тим, що аналіз особливостей вітрового режиму Луцька у XXI ст., їх змін в контексті регіональних проявів глобальних змін клімату, а також оцінка показників вітроенергетичного потенціалу та можливості його розширеного використання дозволили вперше науково обґрунтувати доцільність та перспективність розвитку малої вітроенергетики у місті, встановивши оптимальні потужності малих ВЕУ.

Методологічне або загальнонаукове значення. Дослідження проведено на основі статистико-математичного та графічного аналізу метеорологічної інформації, розрахунків характеристик вітроенергетичного потенціалу Луцька та інтерпретації їх результатів. Це визначає його методологічне та наукове значення, як прикладу досліджень такого типу. Запропонований авторами алгоритм може бути застосований для аналізу вітрового режиму та вітроенергетичного потенціалу інших міст та регіонів України.

Виклад основного матеріалу. Вітровий режим міста тісно взаємопов'язаний із динамікою та характером інших чинників погоди та клімату. Для Луцька характерним є клімат, типовий для помірного кліматичного поясу та його західної, в межах України, атлантично-континентальної провінції, зі зниженими значеннями температури влітку, вологим та досить дощовим теплим періодом року та м'якою, з частими відлигами, зимою. У Луцьку протягом року чітко виражені чотири сезони року: зима, весна, літо та осінь. Тривалість їх не завжди співпадає з календарною, а визначається за датами переходу середньої температури повітря через ustalені значення. В останні роки ця тривалість може відрізнитися від типової, це пов'язують із глобальними змінами клімату. Вітровий режим м. Луцька обумовлюється, з одного боку, характером діяльної поверхні, а з другого – типом та характером атмосферної циркуляції. Напрямок та швидкість вітру залежить від динаміки баричних центрів над Євразією й Атлантикою.

Волинська область зазнає впливу різних повітряних мас. Континентальне повітря помірних широт надходить протягом року та є панівною повітряною масою, яка формується з арктичного або морського повітря. Надходження морського повітря помірних широт також спостерігається в усі пори року. Взимку цей прихід пов'язаний із інтенсивною циклонічною діяльністю над Європою, а влітку – з антициклонами [17, 20]. Умови атмосферної циркуляції визначають напрямки вітрів: взимку в Луцьку переважають західні та південно-західні вітри, влітку панівними є західні й північно-західні, суттєвою є також частка південно-західних вітрів, є вітри південних та східних румбів.

Швидкість вітру залежить від характеру поверхні, величини градієнту та умов циркуляції. Середня річна швидкість вітру у Луцьку 3,5–4,0 м/с. Найбільшу повторюваність у річному ході мають вітри зі швидкостями від 2 до 3 м/с, ймовірність значної швидкості вітру – 8–10 м/с невелика й складає всього 9 % від загального числа випадків. Такі вітри в місті спостерігаються рідко. Вітер зі швидкістю 10 м/с теж буває нечасто. Середня річна швидкість вітру коливається біля 4,0 м/с. До 5 м/с вона може збільшуватися в окремі місяці року (рання весна, зима). Водночас найнижчою швидкість вітру є влітку. В теплу пору часто виникають короткочасні, сильні шквали, передгрозові вітри.

За даними [1] було проведено статистико-математичний аналіз річної динаміки вітру (середня річна швидкість вітру, максимальна швидкість та число днів з найсильнішим вітром за 50 років, 1971–2020 рр.) в Луцьку, щоб оцінити вплив глобальних змін клімату на його режим. В результаті виявлено наявність трьох періодів [18] з характерним типом вітрового режиму на протязі досліджуваних 50 років: у 1971 – 1981 рр. відмічено нормальний, типовий вітровий режим у Луцьку; протягом 1982–2000 рр. вітровий режим характеризується вельми нерівномірним характером; 2001–2020 рр. – це період із зниженою динамікою вітру, який триває. В цілому виявлено зниження середніх швидкостей вітру на 10–20 % нижче кліматичної норми у теплий період року (квітень – жовтень), в той час як у холодний період (листопад – березень) швидкості вітру знаходяться в межах кліматичної норми.

Отже, середні річні показники швидкості вітру в м. Луцьку є такими (3,5–4 м/с), що знаходяться на межі доцільності встановлення вітроенергетичних установок. Теоретично Луцьк потрапляє в зону, де доцільним є спорудження вітроенергетичних установок малої потужності. Проте в межах міста спостерігаються суттєві відмінності вітру, спричинені міською висотною забудовою, рельєфом, розподілом зелених зон, водних об'єктів та ін.

Аналіз можливостей впровадження вітроенергетики включає декілька етапів: 1) аналіз швидкості вітру: це не тільки аналіз середньодобових, серед-

ньорічних і середньомісячних значень швидкості вітру, але також і аналіз повторюваності найбільш перспективних швидкостей вітру на досліджуваній території; 2) аналіз можливості будівництва вітроенергетичних станцій: даний етап передбачає вибір ділянок, перспективних для такого будівництва; 3) розрахунок потенційної енергії, яку можна отримати, використовуючи вітроенергетичні установки різної потужності на вибраних ділянках.

В цілому для території Луцька швидкість вітрового потоку у середньорічному виразі є дещо меншою або близькою до 4 м/с. Відмітимо, що оптимальними показниками для територій, що вважаються сприятливими для вітроенергетики, є швидкості вітру понад 7 м/с, а найбільш сприятливими – понад 10 м/с: такі показники не є характерними для Луцька. Однак, враховуючи той факт, що швидкість вітру вимірюється на метеорологічних станціях на висоті встановлення флюгера чи анеморумбометра близько 12 м (ніколи не вище 20 м), а сучасні вітроустановки досягають у висоту 100 м, виникає потреба у розрахунку швидкості вітру саме на такій значній висоті. Вітроенергетичний потенціал швидкості вітру на будь-якій висоті до 100 м над поверхнею землі обчислюється за формулою П.Ф. Васько [3, 4]:

$$W_1 = V_0 * (H_1/H_0)^k$$

де: W_1 – це швидкість вітру (вітроенергетичний потенціал) на висоті 100 м, м/с;

V_0 – це швидкість вітру на висоті метеостанції, м/с;

H_1 – запланована висота осі ротора ВЕУ, м;

H_0 – встановлена висота флюгера на метеостанції, м (найчастіше = 12 м);

k – поправочний емпіричний коефіцієнт, що дорівнює 0.167.

При виборі перспективної ділянки для встановлення ВЕУ враховуються також такі критерії: крутизна схилів, статус ділянки в структурі землекористування, потрібна площа ділянки. При встановленні ВЕУ у місті враховують чинник шумового впливу, естетичного вигляду, впливу на біорізноманіття. Очевидна на перший погляд можливість встановлення ВЕУ на дахах висотних будинків, як правило, неможлива через активну незгоду їх мешканців, і в м. Луцьку вже були факти таких випадків.

Розрахунок технічно досяжного вироблення електроенергії ВЕУ було проведено за формулою А.С. Мазінова [10]:

$$E_{mic} = P_0 * t * n$$

де: E_{mic} – технічно досяжний обсяг вироблення вітрової електроенергії;

P_0 – номінальна потужність вітроустановки;

t – кількість годин її роботи за кожен місяць;

n – % кількості днів зі швидкістю вітру > 4 м/с.

За цими методиками розраховано основні показники, які характеризують вітроенергетичний потенціал у Луцьку та перспективні можливості генерації

електроенергії для двох прикладів: у випадку встановлення промислової ВЕУ середньої потужності (3,6 МВт) та у випадку встановлення малої вітроенергетичної установки середньої потужності (10 КВт).

У табл. 1 наводяться отримані розраховані показники для кожного з 12 місяців року, а також осереднене (або сумарне) значення показника за рік. Розглядалися такі показники, як: середні швидкості вітру (м/с), значення яких є основоположним для розрахунку усіх наступних параметрів вітроенергетичного потенціалу; вітроенергетичний потенціал швидкості вітру, м/с; технічно досяжний обсяг вироблення вітрової електроенергії для проєктованої промислової ВЕУ потужністю 3,6 МВт; технічно досяжний обсяг вироблення електроенергії для малої ВЕУ потужністю 10 КВт.

За даними таблиці 1 збудовано діаграми (рис. 1 – рис. 4), що наочно представляють динаміку розрахованих показників протягом року в Луцьку та їх сумарні значення. Проаналізуємо отримані результати та порівняємо їх з рекомендованими мінімальними та оптимальними значеннями цих показників для ефективного впровадження вітрогенеруючих установок.

Протягом року в Луцьку середні місячні швидкості вітру змінюються досить динамічно, від максимальних значень, які досягають 4,9 м/с (лютий та березень) до мінімальних значень 3,0 м/с (серпень та вересень). Річна динаміка швидкостей вітру показує, що оптимальним періодом для використання вітроенергетичного потенціалу є холодний період, з листопада по березень.

Перейдемо до характеристики такого показника, як швидкість вітру вітроенергетичного потенціалу, який розраховується з врахуванням таких чинників, як фактичні швидкості вітру на рівні вимірювального приладу на місцевій метеостанції, висоти встановлення даного приладу, середнього показника висоти

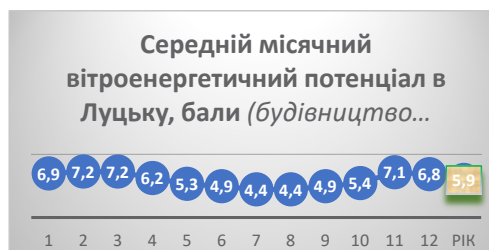


Рис. 1. Динаміка середніх місячних швидкостей та швидкості вітру вітроенергетичного потенціалу W у Луцьку протягом року

ротора ВЕС чи ВЕУ та емпіричних коефіцієнтів. Для розрахунку бралися середні місячні та середня річна швидкість вітру, висота анеморумбометра та флюгера на станції Луцьк, яка дорівнює 12 м, та середня типова висота ротора ВЕУ – 100 м. Доцільним спорудження та експлуатація ВЕУ вважається, якщо W більше 6 м/с, а оптимальним є W понад 10 м/с.

Аналіз отриманих даних показує, що в середньому протягом року вітроенергетичний потенціал в Луцьку дещо менший від значення, при якому використання вітрової енергії є доцільним (середнє річне значення $W = 5,9$ м/с). Проте аналіз даного показника у його річній динаміці показує, що, оскільки він корелюється з швидкостями вітру, то в період з листопада по березень значення W є достатніми для встановлення та продуктивної роботи ВЕУ.

Таблиця 1

Основні показники, що характеризують вітроенергетичний потенціал м. Луцька

| Показник | Місяці року | | | | | | | | | | | | Рік |
|--|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| Середня місячна шв. вітру, м/с | 4,7 | 4,9 | 4,9 | 4,2 | 3,6 | 3,3 | 3,0 | 3,0 | 3,3 | 3,7 | 4,8 | 4,6 | 4,0 |
| W, вітроенергет. потенціал, м/с | 6,9 | 7,2 | 7,2 | 6,2 | 5,3 | 4,9 | 4,4 | 4,4 | 4,9 | 5,4 | 7,1 | 6,8 | 5,9 |
| $E_{\text{міс}} \cdot \text{max}$ (технічно досяжний обсяг вироблення вітрової електроенергії для промислової ВЕУ 3,6 МВт) | 0,24МВт | 0,26МВт | 0,26МВт | 0,24МВт | 0,19МВт | 0,18МВт | 0,14МВт | 0,14МВт | 0,18МВт | 0,2МВт | 0,24МВт | 0,24 МВт | 2,51МВт |
| $E_{\text{міс}} \cdot \text{max}$ (технічно досяжний обсяг вироблення вітрової електроенергії для малої ВЕУ потужністю 10 КВт) | 0,72 КВт | 0,84 КВт | 0,84 КВт | 0,68 КВт | 0,56 КВт | 0,50 КВт | 0,45 КВт | 0,45 КВт | 0,50 КВт | 0,59 КВт | 0,75 КВт | 0,70КВт | 7,58КВт |

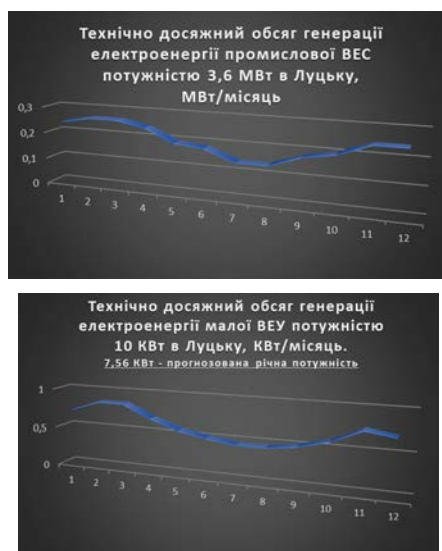


Рис. 2. Динаміка технічно досяжного обсягу генерації електроенергії у Луцьку при встановленні промислової ВЕС потужністю 3,6 МВт та при встановленні малої ВЕУ потужністю 10 КВт

При показниках вітроенергетичного потенціалу, що коливаються в межах 6–7 м/с, рекомендовано встановлення у такій місцевості малих ВЕУ [4, 8, 14].

До малих ВЕУ (чи вітрогенераторів) відносяться генеруючі установки потужністю від 5 до 50 КВт, у той час як сучасні вітроенергетичні установки промислової потужності – це агрегати потужністю понад 500 КВт. В діапазоні 50–500 КВт працюють вітрогенеруючі установки середньої потужності.

ВЕУ малої потужності (5–50 КВт) – це генератори, які найчастіше встановлюють дома, в межах окремого домогосподарства, і які дозволяють частково забезпечити додатковим джерелом енергії домогосподарство або комунальну чи адміністративну установу (школа, дитячий садочок, сільська амбулаторія, тощо). Цінність цих установок полягає в тому, що вони не надмірно дорогі, прості у експлуатації, особливо ефективні в сільській місцевості, де за рахунок більш відкритих просторів швидкості вітру також більші. В межах міста можливим є їх встановлення на дахах будинків, нежитлових чи промислових комплексів, у цьому випадку висота будівлі забезпечує додаткове збільшення висоти встановленого ротора вітрогенератора.

Тому, з урахуванням попередніх показників, які показали невисоку забезпеченість м. Луцька вітроенергетичними ресурсами, ми розрахували E_{max1} – технічно досяжний обсяг вироблення вітрової електроенергії для промислової ВЕУ потужністю 3,6 МВт) та E_{max2} – технічно досяжний обсяг вироблення вітрової електроенергії для малої ВЕУ потужністю 10 КВт.

Вибір потужності «еталонних» установок для розрахунку був зумовлений тим, що хоча існують значно потужніші промислові ВЕУ (5 та 7 МВт), на українських ВЕС перевага надавалася установкам потужністю саме 3.6 МВт за рахунок їх практичності, надійності, відносної простоти у обслуговуванні. Генератори малих ВЕУ потужністю 10 КВт є найпо-

пулярнішими за співвідношенням; ціна – потужність генерації – довговічність та якість.

Результати проведених розрахунків представлені у табл. 1 та на графіках на рис. 2. Як показали результати розрахунків, промислова ВЕУ не зможе досягти проектної потужності ні в окремі місяці, ні на протязі року в цілому, у той же час для малої ВЕУ проектні показники є задовільними, 7,56 КВт проектної потужності при максимальному можливій потужності 10 КВт – це значення, при якому доцільне встановлення та використання такої установки.

Малі вітроенергетичні установки можна також порекомендувати для встановлення у прилеглий до міста сільській місцевості, де вони стануть додатковим джерелом електроенергії для приватних садіб, шкіл та дитячих садків, селищних рад чи амбулаторій. Найоптимальнішим варіантом є паралельне встановлення сонячних панелей та вітрогенератора. Якщо сонячні панелі дають основну генерацію енергії влітку, то вітрогенератор буде переважно працювати у холодну пору, таким чином два незалежних джерела альтернативної енергії забезпечуватимуть енергетичну автономію садиби, господарства чи адміністративно-господарського або соціокультурного об'єкту.

Існує ряд проблем, пов'язаних із встановленням вітрогенераторів малої потужності у містах. До основних з них відносять шум та неестетичність, проте, якщо в конструкції новітніх ВЕУ буде подолана проблема шуму та акустичного забруднення території – то незабаром, цілком можливо, висотні будівлі наших міст будуть заповнені вітрогенераторами, які даватимуть додаткову «зелену» енергію, що використовуватиметься для енерго – та теплозабезпечення, та зробить міста екологічними і енергонезалежними.

Головні висновки. Отже, аналіз характеристик вітрового режиму і вітроенергетичного потенціалу в Луцьку дозволяє зробити такі висновки:

1. Вітровий режим має значний вплив на екологічний стан міста та його мікроклімат. Вітер, його швидкості, панівні напрямки, режим впливають на формування погодних процесів, на поширення та розсіювання забруднюючих речовин, на самоочищення атмосфери та інші явища. Великим є значення вірної оцінки особливостей та параметрів аерації урботериторії при плануванні забудови та реконструкції кварталів, розробці генеральних планів.

2. Аналіз вітрового режиму є важливим для оцінки температурно-вологісного режиму, загазованості, запиленості повітря, обґрунтування щільності забудови, багатофакторного аналізу вітроенергетичного потенціалу.

3. Вітровий режим м. Луцька формується під впливом як загально-циркуляційних чинників, так і характеру підстильної поверхні, типу міської забудови, рельєфу міста, наявних зелених зон та водних об'єктів. В цілому вітровий режим Луцька є сприятливим, середні швидкості вітру коливаються в межах 3,5–4,0 м/с, максимальні пориви досягають 16–20 м/с, протягом року переважають вітри західних, північно-західних, південно-західних напрямків, що узгоджується з загальним типом західного перенесення повітряних мас.

4. Проведені розрахунки показали, що вітроенергетичний потенціал у Луцьку в середньому протягом року становить 5,9 м/с (при мінімальному показникові 6,0 м/с для оцінки району як сприятливого для промислового розвитку вітрової енергетики), проте у холодний період року (листопад – квітень) його значення є більшими та коливаються у межах 6,2–7,2 м/с.

5. Розраховано, що промислова ВЕУ з проектною потужністю 3,6 МВт в умовах м. Луцька не зможе досягти проектної потужності ні в окремі місяці, ні на протязі року в цілому, у той же час для малої ВЕУ досяжні показники є задовільними: 7,56 КВт річної проектної потужності при максимально можливій потужності 10 КВт – це значення, яке дозволяє говорити про доцільність встановлення та використання таких установок в місті.

6. Таким чином, дослідження показало, що розвиток вітроенергетики в нашому регіоні є можливим та доцільним, проте увагу слід звернути на малі ВЕУ, потужністю від 5 до 50 КВт, які ефективно працюватимуть у холодний період року (листопад – квітень). Поєднання таких вітрогенераторів з використанням сонячних панелей (які ефективні для теплої пори року) дозволить забезпечити авто-

номний енергетичний режим для окремих домогосподарств, промислових, соціальних, освітніх чи культурних закладів, що особливо актуально в наш час, в умовах широкомасштабної війни росії проти незалежної України та атак на нашу енергетичну інфраструктуру.

7. Водночас встановлення малих ВЕУ у місті має ряд екологічних проблем, серед яких: шумове та вібраційне забруднення, можливий негативний вплив на біоту (на птахів та кажанів), естетичні чинники та необхідність утилізації лопастей вітрогенераторів в майбутньому. При умові подолання чи мінімізації цих негативних супутних чинників ВЕУ малої потужності могли б з'явитися на дахах висотної нежитлової забудови Луцька та інших міст України, вносячи свій вагомий внесок у розвиток альтернативної енергетики, «зелений перехід» та подолання глобальної кліматичної кризи.

Перспективи використання результатів дослідження. Як перспективне питання для подальших досліджень розглядаємо дослідження мікрокліматичних особливостей режиму вітру в мікрорайонах для виявлення найбільш оптимальних для спорудження малих ВЕУ зон та ділянок в Луцьку.

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. Васьо П. Ф., Вербовий А. П., Пазич С. Т. Реалізація стохастичної двопараметричної моделі поздовжньої складової швидкості вітру для задач вітроенергетики. Відновлювана енергетика, 2017, (3). С. 50–64.
4. Васьо П.Ф. Розрахунок показників технічної ефективності застосування вітроелектричних установок за результатами строків вимірювань швидкості вітру. Технічна електродинаміка, 2001. № 6. С. 45–49.
5. Величко С.А., Третьяков О. С. Аналіз просторово-часового розподілу швидкостей вітру на території Харківської області як основа оцінки вітроенергетичного потенціалу. *Сучасні проблеми гуманізації та гармонізації управління*. Матеріали 4-ї Міжнар. наук.-практ. конф. Х.: ХНУ. 2003. С. 314–315.
6. Енергетична стратегія України до 2030 року. <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13>
7. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії. К.: НТУУ «КПІ», 2012. 492 с.
8. Кузьо І.В., Корендій В.М. Обґрунтування розвитку вітроенергетичних установок малої та надмалої потужності. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка*, 2010, 679. С. 61–68.
9. 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.
10. Мазінов А.С., Бекиров Е.А. Вітроенергетичні установки: типи, ефективність, вибір. *Сонячна і вітрова енергетика*. Науковий бюлетень. Сімферопіль. 2012. С. 18–23.
11. Наквацька О. Можливості використання вітрової енергії у Волинській області. *Актуальні задачі сучасних технологій*. Матеріали Міжнар. науково-технічної конференції. Тернопіль 19–20 грудня 2012 р. С. 257–258.
12. Петренко К.В., Кузнецов М.П., Іванченко І.В., Кармазін О.О., Борсук А.С. Оцінка можливості використання даних швидкості вітру, отриманих методом реаналізу, для вирішення задач вітроенергетики. *Відновлювана енергетика*. № 3 (74). 2023. С. 75–85. URL: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.3\(74\).75-85](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.3(74).75-85)
13. Петрук В. Г., Коцюбинська С. С., Мацюк Д. В. Енергетичний потенціал альтернативної енергетики в Україні. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2010. № 4, С. 90–93. URL: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/481>
14. Півняк Г., Шкрабець Ф., Нойбергер Н., Ципленков Д.. Основи вітроенергетики. Дніпро: НГУ, 2015. 335 с.
15. Смердов А. А., Бульба С. М. Статистичні характеристики швидкості вітру в регіоні м. Полтави. *Вісник ПДАА*. 2011. № 1. С. 153–157.
16. 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 «І-во «Ві Ен Ей»: 2016. 316 с.
17. 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
18. Федонюк М.А., Федонюк В.В. Екологічний вплив вітру у зоні міської забудови Луцька. *Авіація, промисловість, суспільство* : матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції. Кременчук, 12 травня 2022 р. МВС України, Харків. нац. ун-т вн. справ, КІЛК. Х.: ХНУВС, 2022. С. 379–383.
19. Zdenko Simic. Small wind turbines. A unique segment of the wind power market. *Renewable Energy*. № 50, 2013. P. 156–234.
20. 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), 673-683. URL: <https://geology-dnu.dp.ua/index.php/GG/article/view/751>

УДК 621.532.4

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.1.25>

ЧИННИКИ НЕБЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ЗБЕРІГАННЯ СКРАПЛЕНИХ ПРИРОДНИХ ГАЗІВ У РЕЗЕРВУАРАХ

Чернова О.Т., Кривенко Г.М.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
вул. Карпатська, 15, 76019, м. Івано-Франківськ
oksana.chernova@nung.edu.ua, galyna.kryvenko@nung.edu.ua

Технологічні операції, що проводяться на об'єктах зберігання та транспортування скраплених природних газів магістральними газопроводами за певних умов можуть створювати пожежну та вибухову небезпеку. Недотримання вимог безпечної експлуатації може призвести до виникнення вибухів та пожеж, які є причиною забруднення навколишнього середовища, травм та загибелі людей. Тому особливо актуальним є питання збереження здоров'я та життя обслуговуючого персоналу. Метою даної роботи є аналіз чинників небезпеки під час зберігання скраплених природних газів у наземних резервуарах. Для досягнення поставленої мети були сформульовані наступні завдання досліджень: аналіз небезпек під час зберігання скраплених природних газів; оцінка ймовірних негативних наслідків для здоров'я обслуговуючого персоналу. Об'єктом дослідження є наземні резервуари, призначені для зберігання скраплених природних газів. Предмет дослідження – чинники, що впливають на виникнення аварійних ситуацій. Проведено комплексний аналіз небезпек під час зберігання скраплених природних газів. Основною небезпекою виникнення аварії з резервуаром є вибух і пожежа, які можуть відбутися у разі порушення персоналом правил пожежної безпеки й реалізації небезпек зовнішніх чинників. Розраховано надлишковий тиск вибуху внаслідок аварійної розгерметизації резервуарів. Наведена кількісна оцінка умовної ймовірності різного ступеня ураження людини під впливом надлишкового тиску. Визначено ймовірність розриву барабаних перетинок та ймовірність летального наслідку для людини, спричиненого вибуховою хвилею. Наведено пробіт-функції при термічному ураженні людей та ймовірність ураження опіками. Результати наукових досліджень, викладені у цій статті, можуть використовуватися для аналізу питань безпечної експлуатації об'єктів, пов'язаних зі скрапленими природними газами, мінімізацією їх негативного впливу на довкілля та обслуговуючий персонал та забезпеченням охорони навколишнього середовища. *Ключові слова:* скраплений природний газ, резервуар, пожежна та вибухова небезпека, пробіт-функції, ймовірність ураження.

Danger factors during storage of liquefied natural gases in tanks, Chernova O., Kryvenko G.

Technological operations conducted on storage and transportation facilities for liquefied natural gas through main pipelines under certain conditions can pose fire and explosion hazards. Non-compliance with safety requirements may lead to explosions and fires, causing environmental pollution, injuries, and fatalities. Thus, the preservation of the health and lives of operating personnel is particularly pertinent. This study aims to analyze the danger factors during the storage of liquefied natural gas in aboveground storage tanks. To achieve this goal, the following research tasks were formulated: analysis of hazards during the storage of liquefied natural gas; assessment of potential adverse health consequences for operating personnel. The research object is aboveground tanks designed for storing liquefied natural gas. The subject of the study is factors influencing the occurrence of emergencies. A comprehensive analysis of hazards during the storage of liquefied natural gas was conducted. The primary risk of tank accidents is explosion and fire, which may occur due to operating personnel's violation of fire safety rules and the realization of external hazard factors. The explosion overpressure resulting from tank emergency depressurization was calculated. A quantitative assessment of the conditional probability of varying degrees of human injury under the influence of overpressure was provided. The probability of rupture of drum membranes and the likelihood of fatal outcomes for humans caused by the explosion wave were determined. Probit functions in thermal human injuries and the probability of burns were given. The results of scientific research outlined in this article can be utilized for analyzing safety issues in the operation of facilities associated with liquefied natural gases, minimizing their negative impact on the environment and service personnel, and ensuring environmental protection. *Key words:* liquefied natural gas, tank, fire and explosion hazard, probit functions, damage probability.

Постановка проблеми. Сьогодні скраплений природний газ (СПГ) відіграє все більш помітну роль на світовому ринку вуглеводнів. Зростання споживання СПГ обумовлене не лише відсутністю або дефіцитом власних енергетичних ресурсів у окремих країнах і регіонах, а й перш за все, значними перевагами СПГ перед іншими енергоносіями. Основною перевагою СПГ є можливість транспортувати його на великі відстані морем, здійснювати трансокеанські поставки і реалізовувати на ринках з найбільш привабливими цінами. Це особливо актуально для України, яка прагне зміцнити енергетичну безпеку.

Актуальність дослідження та зв'язок авторського доробку з важливими науково-практичними завданнями. Технологічні операції, що проводяться на об'єктах зберігання та транспортування СПГ магістральними газопроводами за певних умов можуть створювати пожежну та вибухову небезпеку. Адаже зберігання та транспортування скраплених природних газів є небезпечними. Недотримання вимог безпечної експлуатації може призвести до виникнення вибухів та пожеж, які є причиною забруднення навколишнього середовища, травм та загибелі людей. Тому особливо актуальним є питання збереження здоров'я та життя обслуговуючого персоналу.

Для цього необхідно провести детальний аналіз чинників, що впливають на виникнення пожеж, вибухів, пов'язаних з технологічним середовищем – скрапленим природним газом, у випадку виникнення аварійних ситуацій. Це дасть змогу провести необхідні заходи та зменшити ймовірність виникнення небезпечних ситуацій. У цьому полягає практичне значення авторського доробку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед наукових робіт, присвячених проблемі гарантування безпеки під час експлуатації об'єктів підвищеної небезпеки, слід відмітити дослідження, наведені у [1, 2, 3]. Зокрема, у роботах [4, 5, 6] висвітлено проблеми екологічної безпеки у паливно-енергетичному комплексі України. Аналіз небезпек під час аварії зі скрапленим газом наведено у роботі [2]. У працях [7, 8] показано, що при відмові потенційно небезпечних об'єктів ударна хвиля є одним з чинників, що уражають, але не достатньо оцінюються й аналізуються небезпеки, пов'язані зі специфікою технологічних операцій зі скрапленими природними газами. Тому потрібно проаналізувати вплив чинників на виникнення ударної хвилі у випадку аварій, що може призвести до значних збитків, а головне створювати небезпеку для життя та здоров'я людей. З аналізу літературних джерел випливає, що техногенні чи антропогенні чинники можуть впливати на виникнення аварій, які супроводжуються загоранням СПГ, що призводить до негативних наслідків на довкілля. Адже небезпеки об'єкта дослідження зумовлені тим, що усередині резервуара знаходиться СПГ у рідкому та газоподібному стані.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. У літературних джерелах недостатньо висвітлені чинники, що впливають на виникнення аварійних ситуацій, які призводять до негативного впливу на довкілля, при зберіганні СПГ у наземних ізотермічних резервуарах.

Метою даної роботи є аналіз чинників небезпеки під час зберігання скраплених природних газів у наземних резервуарах. Для досягнення поставленої мети були сформульовані наступні завдання досліджень: аналіз небезпек під час зберігання СПГ; оцінка ймовірних негативних наслідків для здоров'я обслуговуючого персоналу. Об'єктом дослідження є наземні резервуари, призначені для зберігання СПГ. Предмет дослідження – чинники, що впливають на виникнення аварійних ситуацій.

Новизна та загальнонаукове значення. Новизна полягає у комплексному дослідженні чинників, що впливають на виникнення аварійних ситуацій під час зберігання СПГ у наземних резервуарах. Аналіз небезпек під час зберігання скраплених природних газів у комплексі з іншими дослідженнями дадуть змогу визначити потенційні загрози для обслуговуючого персоналу у разі вибухів та пожеж, що дасть можливість розробити заходи по запобіганню виникнення шкідливих впливів.

Викладення основного матеріалу. Сьогодні світовий ринок скрапленого природного газу розвивається дуже швидкими темпами. З'являються нові експортери та імпортери, удосконалюються технології скраплення газу, застосовуються найсучасніші інноваційні рішення та розробки у галузі транспортування і зберігання СПГ, нарощуються виробничі і регазифікаційні потужності, модернізується флот танкерів-газовозів. Перелік найбільших експортерів скрапленого газу у світі наведено на рис. 1 [9].

Слід відзначити, що проблеми безпеки під час транспортування і зберігання СПГ займають провідне місце в енергетичній безпеці, особливо в аспекті виробничої безпеки. Виробнича безпека гарантує захист від аварій, які супроводжуються пожежами та вибухами. Для гарантування безпеки на виробництві виникає необхідність проведення детального аналізу небезпек під час зберігання СПГ. Аналіз ризику виникнення аварій розглядається як складова комплексного підходу прийняття рішень для попередження та мінімізації небезпек для життя людини та погіршення якості довкілля.



Рис. 1. Найбільші експортери скрапленого газу у світі

Проведемо аналіз небезпек під час зберігання СПГ. Вихідною подією виникнення і розвитку аварій є розгерметизація обладнання, що спричиняє викидання парів СПГ з подальшим займанням. Виходячи з особливостей конструкції резервуара, можна розділити всі ризики на дві групи: ризики, пов'язані з впливом на зовнішній корпус; ризики, пов'язані з впливом на внутрішній корпус [10]. До зовнішніх чинників безпеки, здатних вплинути на характеристики міцності зовнішнього корпусу, слід віднести наступні: сейсмічна дія; гідродинамічний вплив; аеродинамічний вплив; зовнішній протиправний вплив; дія терористичного характеру; термічний вплив. Розглядаючи внутрішні чинники безпеки, здатні вплинути на характеристики міцності зовнішнього бетонного корпусу, слід зазначити тільки термічні. Це пов'язане з тривалим контактом зовнішнього корпусу з криогенною температурою у разі розгерметизації внутрішнього корпусу. Виходячи з особливостей внутрішнього резервуара, до основних небезпечних чинників, здатних впли-

нути на характеристики міцності внутрішнього корпусу, слід віднести: зовнішню сейсмічну дію; зовнішній баричний вплив; зовнішній термічний вплив в результаті пожежі на даху; внутрішній баричний вплив. У контексті даної небезпеки слід розуміти як зменшення, так і збільшення тиску у внутрішньому резервуарі. Однією з серйозних проблем, яка може вплинути на підвищення тиску у резервуарі, є проблема стратифікації СПГ, що виникає, як правило, при тривалому зберіганні СПГ у сховищі без перемішування або при закачуванні у резервуар СПГ з характеристиками (компонентний склад, густина, температура і ін.), відмінними від характеристик вже наявної у ньому рідини. У результаті розшарування відбувається поступове прогрівання щільнішого шару і подальше мимовільне змішування шарів з інтенсивним пароутворенням, що сприяє значному збільшенню тиску. Зменшення тиску у внутрішньому резервуарі можливе у результаті відкачування зі сховища СПГ у обсягах, що перевищують проектні значення. Окрім чинників, наведених вище, слід звернути увагу, що однією з основних причин порушення герметичності резервуара є механічний або корозійний знос електрохімічної природи, а також помилки обслуговуючого персоналу.

У інженерній практиці прогноз наслідків аварійного вибуху полягає у визначенні розмірів зон можливих втрат, ступеня впливу ударно-імпульсного навантаження на людину і обладнання. Визначимо умовну ймовірність різного ступеня ураження людини вибуховою хвилею. Основними параметрами, що характеризують вибухову хвилю, є надлишковий тиск Δp_ϕ , та імпульс хвилі тиску I .

Надлишковий тиск Δp_ϕ визначимо за методикою, наведеною у [11]:

$$\Delta p_\phi = p_0 \left(\frac{0,8 \cdot m_{np}^{0,33}}{r} + \frac{3 \cdot m_{np}^{0,66}}{r^2} + \frac{5 \cdot m_{np}}{r^3} \right), \quad (1)$$

де p_0 – атмосферний тиск, кПа; r – відстань від геометричного центра хмари газу, м; m_{np} – приведена маса газу, кг.

Приведена маса газу визначається за залежністю:

$$m_{np} = \left(\frac{Q_{zc}}{Q_0} \right) \cdot m_z \cdot Z, \quad (2)$$

де Q_{zc} – питома теплота згоряння метану, Дж/кг; Q_0 – константа, яка дорівнює $4,52 \cdot 10^6$ Дж/кг; Z – коефіцієнт участі газу у вибуху; m_z – маса газу, яка викидається у навколишнє середовище внаслідок аварії, кг.

Оскільки причиною аварій є розгерметизація обладнання, що спричиняє викидання парів СПГ з подальшим займанням, то розглянемо ймовірність виникнення негативних наслідків для людини, яка опинилася у зоні ураження.

Умовна ймовірність P шкідливого впливу негативного чинника на об'єкт залежить від пробіт-функції Pr . Пробіт-функція – це випадкова величина з математичним сподіванням 5 та дисперсією 1. Ймовірність виникнення негативних наслідків вира-

жається функцією, яка описує закон нормального розподілу ймовірностей:

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{Pr} e^{-(t-5)^2/2} dt, \quad (3)$$

де t – інтегральний ступінь впливу.

Визначимо ймовірність травмування людей за допомогою пробіт-функцій. Під час баричної дії вибуху на людину розглядається ураження органів дихання та слуху; ураження через удари об землю або перешкоду та обломками споруд. При ураженні органів слуху пробіт-функція розриву барабанних перетинок:

$$Pr = -12,6 + 1,524 \ln(\Delta p_\phi), \quad (4)$$

де Δp_ϕ – тиск на фронті ударної хвилі, Па.

Пробіт-функція летального наслідку для людини, спричиненого вибуховою хвилею, є такою [12]:

$$Pr = 5 - 0,26 \ln \left[(17500 / \Delta p_\phi)^{8,4} + (290 / I)^{9,3} \right], \quad (5)$$

де I – імпульс фази стиснення, Па·с.

$$I = \int_{\tau_0}^{\tau_0+\tau} \Delta p dt, \quad (6)$$

де τ_0 , τ – час прибуття фронту хвилі, тривалість фази стиснення, с.

Визначено пробіт-функції під час баричного ураження людей.

Отримано такі значення пробіт-функцій: $Pr_1 = 2,49$, $Pr_2 = -3,87$.

Визначимо ймовірність травмування повітряною хвилею людини, а саме: ймовірність розриву барабанних перетинок у людей, ймовірність летального наслідку для людини, спричиненого вибуховою хвилею. За розрахованими величинами пробіт-функції згідно [12] визначено ймовірність ураження. Ймовірність розриву барабанних перетинок у людей, що знаходяться на віддалі $r = 100$ м від геометричного центру хмари газу, складає 1,7%. Ймовірність летального наслідку для людини, спричиненого вибуховою хвилею, близька до нуля.

Особливу увагу потрібно звернути на загоряння аварійних викидів газу та визначити ймовірність ураження опіками обслуговуючого персоналу. Визначимо пробіт-функції Pr при термічному ураженні людей з опіками I, II і III ступенів за залежністю [13]:

$$Pr = a + b \cdot \ln(\tau \cdot q^{4/3}), \quad (7)$$

де $(\tau \cdot q^{4/3})$ – доза теплової взаємодії, $[q] = \text{В/м}^2$; $[\tau] = \text{с}$,

a, b – коефіцієнти пробіт-функцій термічного ураження різних ступенів важкості.

Результати розрахунків наведено на рисунку 2.

На рис. 2 наведено значення пробіт-функцій при термічному ураженні людей з опіками I, II і III ступенів (ураження 10 % шкірного покриву).

За розрахованими величинами пробіт-функції згідно [12] визначено ймовірність ураження.

Ймовірність ураження опіками I ступеня складає 10,5 %, II ступеня – 30,1%, III ступеня – 40,6%.

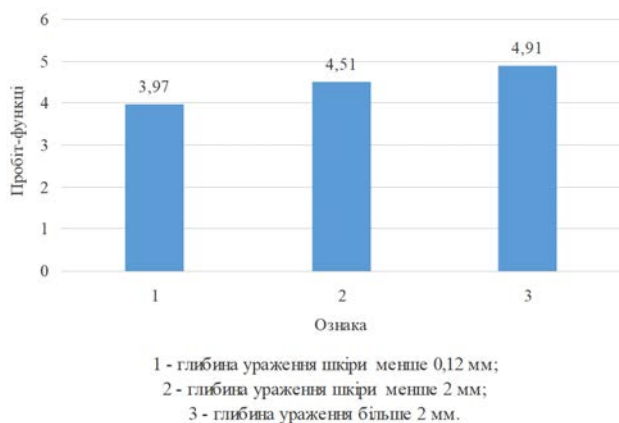


Рис. 2. Пробіт-функції термічного ураження 10% шкірного покриву

Отже, проведення заходів для підвищення безпеки під час зберігання СПГ в наземних ізотермічних резервуарах, дозволить мінімізувати їх негативний вплив на довкілля та обслуговуючий персонал. Гарантування техногенної безпеки недостатнє лише

засобами технічного захисту. Потрібно провести комплексне дослідження чинників, що впливають на виникнення аварійної ситуації на даному об'єкті, при виконанні певної технологічної операції.

Висновки. Проведено комплексний аналіз небезпек під час зберігання скраплених природних газів. Основною небезпекою аварії з резервуаром є вибух і пожежа, які можуть відбутися у разі порушення персоналом правил пожежної безпеки й реалізації небезпек зовнішніх чинників.

Визначено ймовірність ураження людей вибуховою хвилею за значенням пробіт-функції для відстані 100 м від осередку вибуху. У разі виникнення вибухової хвилі ймовірність розриву барабаних перетинків у людей складає 1,7%. Ймовірність летального наслідку для людини, спричиненого вибуховою хвилею, близька до нуля. Визначено пробіт-функції при термічному ураженні людей. Ймовірність ураження опіками III ступеня складає 40,6%.

Перспективи використання результатів дослідження. Проведені дослідження допоможуть гарантувати безпеку обслуговуючому персоналу під час експлуатації об'єктів підвищеної небезпеки. Подальші дослідження передбачають комплексну оцінку небезпек об'єктів у нафтогазовій галузі.

Література

1. Стоєцький В. Ф., Дранишников Л. В. Прогнозування наслідків аварій на потенційно небезпечних виробничих об'єктах. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2013. № 43. С. 114-122.
2. Чернова О. Т., Кривенко Г. М. Аналіз небезпек на газонаповнювальних пунктах. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. Випуск 4 (31). 2020. С. 120-124.
3. Ференц Н. О., Павлюк Ю. Е. Пожежна профілактика технологічних процесів. Львів. 2019. 332 с.
4. Енергоекологічна безпека нафтогазових об'єктів / Р. М. Говдяк та ін. Івано-Франківськ: «Лілея НВ». 2007. 556 с.
5. Крижанівський Є. І., Кошляк Г. В. Екологічні проблеми енергетики. *Нафтогазова енергетика*. 2016. № 1 (25). С. 80-90.
6. Білинський Й. Й., Гордієнко О. А., Тітов Т. С., Сахно О. М. Скраплений газ в енергетичному комплексі України. *Вісник ВПШ*. 2018. № 4. С. 54-60.
7. Тарнавський А. Б. Оцінка уражаючих факторів при вибуху кисневого балона. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2014. № 9. С. 174-179.
8. Кривенко Г. М., Возняк М. П., Возняк Л. В., Кривенко С. О. Дослідження впливу діаметра трубопроводу на поширення ударної хвилі у аварійних ситуаціях. *Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*. 1(36). 2014. С. 110-117.
9. LNG –експансія. Чи зможе Україна виграти від поширення скрапленого газу в світі? Економічна правда. 2.07.2020 <https://www.epravda.com.ua/projects/gazpravda/2020/07/2/662452/>.
10. Snorre Sklet. Safety barriers: Definition, classification, and performance. *Journal of Loss Prevention in the process industries*. 2005. № 19. P. 494-506.
11. Щиборовська М. Ю., Бабаджанова О. Ф., Пузанова А. В. Фактори безпеки експлуатації газокompресорної станції. *International scientific journal «Grail of Science»*. 2021. № 10. С. 222-227.
12. Скоб Ю. О. Математичні тривимірні моделі та методи аналізу руху газоповітряних сумішей в задачах промислової аеродинаміки та екології. *Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук*. Харків. 2021. 45 с.
13. Кривенко Г. М., Возняк Л. В. Дослідження наслідків виникнення аварійних ситуацій на промислових трубопроводах. *Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*. 2018. № 2 (36). С. 41-47.

ЗЕМЕЛЬНІ РЕСУРСИ І ҐРУНТИ

УДК 504

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.1.26>

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЕРТИКАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ҐРУНТУ ЯК ЕЛЕМЕНТУ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ВІД РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

Білоус М.А.¹, Микитась Д.О.¹, Гунько С.О.²,
Рець Ю.М.¹, Громова І.Ю.³, Куракова Н.О.^{3,4}

¹Державне підприємство «Бар'єр»
пр. Аношкіна, 179Б, 51938, м. Кам'янське

²Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
пр. Гагаріна, 72, 49010, м. Дніпро

³Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ

⁴Державне спеціалізоване підприємство «Центральне підприємство
з поводження з радіоактивними відходами»
вул. Кірова, 52, 07270, м. Чорнобиль

beloys_mihail@ukr.net, dengv-sev@ukr.net, goonko@gmail.com,
smsgv1978@gmail.com, ema.dea@ukr.net

Розглянуті методи та результати первинних досліджень вертикальної структури ґрунту, зараженого радіаційним забрудненням. Дослідження та рекомендації щодо створення системи захисту навколишнього середовища виконані на прикладі колишнього ВО «Придніпровський хімічний завод». Вони стали проміжними в дослідженнях вертикальної структури забруднення ґрунтів та розробленні відповідної системи захисту навколишніх територій від радіаційного забруднення.

Підсумки проведених досліджень свідчать, що структура вертикального розподілу вмісту радіоактивних матеріалів на різних рівнях заглиблення в ґрунтах на території колишнього ВО «Придніпровський хімічний завод» на різних ділянках майданчика виокремлюється типом і характером формування забруднення. Зазначено, що за ознаками структури вертикального розподілу кількісних показників вмісту радіоактивних матеріалів можна виділити три основні типи формування забруднення: ділянки із забрудненням дисперсними матеріалами, що потрапили на поверхню ґрунтів шляхом переносу з повітряними масами (аерозолями), водними розчинами у разі проливання або шляхом безпосереднього потрапляння забруднених матеріалів на поверхню ґрунту; ділянки ґрунтів, де немає певних характерних закономірностей формування забруднення; ділянки, де, окрім присутності одного або двох вищезазначених типів забруднення, можуть спостерігатися захоронення будівельних конструкцій, забруднених фрагментів металобрухту та обладнання або залишки рудних матеріалів.

Зазначено, що неоднорідність структури вертикального забруднення радіоактивними матеріалами не дозволяє окреслити однозначно кореляційний зв'язок між ПЕД гамма-опромінення та вмістом ефективної активності гамма випромінюючих нуклідів або одного із найбільш характерних для спектру активності таких ґрунтів – Радію-226. Така залежність із досить високим коефіцієнтом кореляції ($R = 0,88-0,95$) спостерігається лише для секторів 1 і 2, а також на окремих ділянках колишньої зони розвантаження та тимчасового збереження уранових руд, де залишки уранової сировини, а відповідно – й найбільш забруднені поверхневі шари ґрунту. На таких ділянках, використовуючи результати кореляційного аналізу просторового розподілу потужності експозиційної дози (ПЕД) гамма-випромінювання, в майбутньому стане можливим виконання оцінки об'ємів забруднених ґрунтів і радіоактивних матеріалів. *Ключові слова:* ґрунт, вертикальна структура, проби, потужність кореляційний аналіз, гамма-випромінювання.

Study of the vertical structure of soils as an element of the environmental protection system against radiation contamination. Bilous M., Mykytas D., Hunko S., Rets Yu., Gromova I., Kurakova N.

This article examines the methods and results of primary research into the vertical structure of radiation contamination soils. Research and recommendations on the creation of an environmental protection system were carried out on the example of the former "Prydniprovsky Chemical Plant".

The methods and research results described in the work became an intermediate stage of work on the study of the vertical structure of soil contamination and the development of an appropriate system for protecting the surrounding territories from radiation contamination.

The results of the research show that the structure of the vertical distribution of the content of radioactive materials at different levels of submersion in the soil on the territory of the former "Pridniprovskiy chemical plant" in different areas of the site is determined by the type and nature of the formation of contamination. It was determined that, based on the structure of the vertical distribution of quantitative indicators of the content of radioactive materials, three main types of contamination can be distinguished: areas with the type of contamination by dispersed materials that have reached the soil surface by transport with air masses (aerosols), aqueous

solutions in the event of a spill or by direct contamination of the soil surface; areas of soil where there are no specific patterns of pollution formation; areas where, in addition to the presence of one or two of the above-mentioned types of pollution, the burial of building structures, contaminated fragments of scrap metal and equipment, or the remains of ore materials can be observed.

It was determined that the heterogeneity of the structure of vertical contamination by radioactive materials does not allow to reveal an unambiguous correlation between the EDR of gamma irradiation and the content of the effective activity of gamma-emitting nuclides or one of the most characteristic for the activity spectrum of such soils – Radium-226. Such a dependence with a fairly high correlation coefficient ($R = 0.88-0.95$) was found only for sectors 1 and 2, as well as some areas of the former zone of unloading and temporary storage of uranium ores, where the remains of uranium raw materials and, accordingly, are the most contaminated surface layers of the soil. In such areas, using the results of the correlation analysis of the spatial distribution of the exposure dose (EDR) of gamma radiation, it is possible to perform an assessment of the volumes of contaminated soils and radioactive materials in the future. *Key words*: soil, vertical structure, samples, power correlation analysis, gamma radiation.

Актуальність теми. Інтенсивний розвиток атомної енергетики, широке застосування радіонуклідів у промисловості, медицині та наукових дослідженнях визначає актуальність питань, пов'язаних із вивченням шкідливої дії радіонуклідів на біосферу та їх розповсюдження у природних середовищах. Шляхи міграції радіонуклідів у екосистемах доволі складні. Отже, рухомість радіонуклідів у ґрунтах залежить від низки чинників, найбільш важливими з яких – фізико-хімічні властивості самих радіонуклідів та їх форми, тип ґрунту та кліматичні фактори.

Понад 30 років з часу розформування колишнього ВО «Придніпровський хімічний завод» у місті Кам'янське відбувалися процеси відкладення, проникнення та накопичення забруднюючих речовин на території цього підприємства. Небезпечність таких процесів обумовлена високим ризиком радіаційного ураження предметів та живих організмів. У свою чергу, такого ризику набуває й ґрунт, що є субстратом для рослин, а відповідно і джерелом накопичення та поширення радіоактивних речовин у навколишньому середовищі серед живих організмів.

Мета даної праці – дослідити просторовий та вертикальний розподіл ПЕД гамма-випромінювання ґрунтів, уражених радіоактивними речовинами та розробити рекомендації щодо створення системи захисту навколишнього природного середовища від радіаційного забруднення (на прикладі території колишнього ВО «Придніпровський хімічний завод» у м. Кам'янське).

Об'єкт дослідження: вертикальна структура ґрунту, забрудненого радіонуклідами.

Предмет дослідження: результати вимірювань гамма-випромінювання ґрунтів.

Постановка проблеми. Основна мета захисту ґрунту від радіонуклідів – обмежити їх надходження до рослин, що є першою ланкою в трофічному ланцюзі на шляху до людини. Єдиний спосіб захистити ґрунт під час випадання радіоактивних опадів з атмосфери – накрити його полімерною плівкою або покрити поверхню ґрунту непроникним субстратом. Звичайно, здійснити це можна лише в невеликих масштабах. Однак після випадіння радіоактивних опадів можна вжити заходів, щоб запобігти транспортуванню радіоактивних речовин на земну поверхню та у ґрунтовому профілі, тобто обмежити їх поширення як латерально, так і радіально, а отже,

захистити незабруднені або менш забруднені території. Рельєф місцевості та деякі ландшафтно-географічні особливості регіону відіграють важливу роль у дифузії радіоактивних речовин у навколишнє природне середовище, зокрема, їх проникнення в рослини. Вони можуть посилювати як горизонтальну, так і вертикальну рухливість радіонуклідів і таким чином впливати на їх переміщення у рослинах [2].

Поглинання радіонуклідів рослинами та їхнє подальше потрапляння в організм людини харчовою системою є одним з основних шляхів її внутрішнього опромінення. Дане дослідження [7] здійснене з метою з'ясування вмісту природних радіонуклідів ^{238}U та ^{232}Th у ґрунті рисових полів Езілло (поле 1 та поле 2) на глибині 0–4 см та 4–8 см, їх перенесення та накопичення у зернах рису. Середні концентрації обох радіонуклідів у ґрунті за ознакою перевищували середньосвітові оцінки, тоді як для рису значення $11,7 \pm 4,3$ та $3,0 \pm 1,3$ Бк/кг на полі 1 та $8,5 \pm 4,2$ та $4,3 \pm 1,6$ Бк/кг на полі 2 для ^{238}U і ^{232}Th відповідно, мали значення нижчі за середньосвітові показники. Коефіцієнти перенесення радіонуклідів (КП) на обох глибинах коливалися від 0,03 до 0,67 та від 0,01 до 1,20 для ^{238}U та ^{232}Th відповідно. Загальні середні геометричні та стандартні відхилення, оцінені на полі 1, склали відповідно 0,22 і 1,52 для ^{238}U і 0,18 і 4,21 для ^{232}Th (ґрунт, 0–4 см); 0,43 і 1,80 для ^{238}U і 0,18 і 3,79 для ^{232}Th (ґрунт, 4–8 см), тоді як на полі 2 значення були відповідно 0,12 і 2,62 для ^{238}U і 0,06 і 4,15 для ^{232}Th (ґрунт, 0–4 см); 0,11 і 1,85 для ^{238}U і 0,12 і 4,15 для ^{232}Th (ґрунт, 4–8 см). Концентрації нуклідів у рисі знаходяться у межах значень, поширених у літературних джерелах. Результати даного дослідження засвідчили відсутність міграції радіонуклідів у системі ґрунт-рослина.

Як продовження вивчення транспортування радіонуклідів трофічними ланцюгами, варто розглянути роботу вчених Косово [10]. Метою їх дослідження стало визначення рівнів радіонуклідів (^{40}K , ^{226}Ra і ^{232}Th), що зустрічаються в природі, і штучного радіонукліду ^{137}Cs в різних зразках меду з Косова. Середні концентрації радіонуклідів ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs і ^{40}K у пробах меду склали $0,49 \pm 0,15$, $1,28 \pm 0,18$, $1,03 \pm 0,11$ та $20,44 \pm 0,69$ Бк/кг відповідно. Значення активності ^{137}Cs , виявленій у зразках меду, був значно нижчим від граничного значення (1000 Бк/кг), рекомендованого для харчових продук-

тів. Дослідження підтвердили, що мед, вироблений у Косові, задовільної якості та відповідає міжнародним стандартам за концентрацією радіоактивності.

Не менш інформативним, разом із вивченням радіоактивного забруднення ґрунтів і рослин, є дослідження радіоактивності геологічних матеріалів [5]. Концентрації радіоактивності ^{226}Ra , ^{232}Th і ^{40}K у деяких виробних каменях у Єгипті були виміряні за допомогою гамма-спектрометра високої роздільної здатності. Для оцінки радіаційної небезпеки також були визначені вміст природних радіонуклідів, еквівалентна активність та різні індекси небезпеки. З'ясувалося, що жоден із результатів не перевищує рекомендованого граничного значення. Всі досліджувані зразки за рівнем забруднення – в допустимих межах та не мають значної радіаційної небезпеки.

Відомо [11], що забруднені ґрунти лісових біогеоценозів на тривалий час стають резервуаром радіонуклідів, визначаючи їх міграцію в системі «ґрунт–рослина». Рухомість радіонуклідів у ґрунтовому профілі істотно впливає також на масштаби їх проникнення в ґрунтові води.

Підвищена кількість опадів, численні водойми, високий рівень ґрунтових вод та загроза підтоплення ґрунту під час весняних паводків, літніх й осінніх дощів збільшують латеральне та радіальне переміщення радіонуклідів.

В автоморфних ґрунтах розповсюдження радіонуклідів близьке до ґрунтів лісових ділянок, але з більш інтенсивним спадом їх вмісту за профілем. Найбільше заглиблення абсолютного максимуму вмісту радіонуклідів і значна розмитість їх профільного розповсюдження спостерігається в алювіальних луко-болотних ґрунтах. Найбільшою інтенсивністю міграції радіонуклідів означені гідроморфні ґрунти, а найменшою – пойменні, не зважаючи на їх важкий гранулометричний стан, за ними, у спадаючому порядку, – автоморфні лісові ґрунти.

Інтенсивність міграції радіонуклідів у ґрунті прямо пов'язана з мобільністю їх різних форм у природних умовах. Як демонструють дослідження [8], відносний вміст рухомих форм радіонуклідів у верхньому 0–5 см шарі ґрунту, як правило, значно нижче такого в шарі 5–10 см. Це скоріш за все обумовлено переважанням у цьому шарі слабозрчинних частинок випадіння. Таким чином, не дивлячись на значну різницю в загальному запасі радіонуклідів, уміст їх рухомих форм у обох шарах коректний для порівняння.

Вміст рухомих радіонуклідів мінімальний в алювіальному луко-болотному ґрунті, що вочевидь викликано його фіксацією глинистими мінералами. В той же час, гідроморфний торф'янистий ґрунт уміщує найбільший відсоток рухомих форм радіонуклідів, що, швидше за все, обумовлено зниженою необмінною їх фіксацією в торф'яних горизонтах і підвищеною мобільністю низькомолекулярних радіонуклід-органічних сполук у даних ґрунтах.

У лізиметричних водах доля радіонуклідів помітно підвищується з глибиною, що викликано, ймовірно, підвищеною рухомістю їх специфічних форм у рідкій фазі ґрунтів. Так відомо, що катіони стронцію можуть утворювати рухомі радіонуклід-органічні сполуки в ґрунті, а рутеній в природних умовах здатний до утворення рухомих форм тільки в складі комплексних аніонів [12]. Подібні сполуки слабо сорбуються ґрунтами та можуть мігрувати в складі істинних і колоїдних розчинів. Невідповідність між радіонуклідним складом ґрунтового профілю та внутрішньо-ґрунтового стоку свідчить про наявність різних механізмів міграції в ґрунті основної маси радіонуклідів та їх легкорухомих форм.

Вищенаведені дані підтверджують висновок, що інтенсивність перерозподілу радіонуклідів у ґрунтовому профілі та внесок окремих міграційних процесів у загальний кінцевий розподіл радіонуклідів у профілі ґрунтів неоднаковий.

Викладення основного матеріалу. Моніторинг та своєчасна модернізація підприємств уранового виробництва є першочерговим завданням, не менш важливим є питання щодо відновлення та захисту колишніх уранових об'єктів.

Так, у 2021 році Міжнародне агентство з атомної енергії (МАГАТЕ) провело онлайн щорічну нараду Координаційної групи з представниками колишніх уранових об'єктів (КГКУО) для продовження обміну інформацією та координації майбутньої діяльності держав-членів і міжнародних організацій, що беруть участь у КГКУО [1]. Уряд України, як країни-члена МАГАТЕ, зацікавлений у роботі цієї Координаційної групи з огляду на наявність об'єктів, що можуть підлягати її моніторингу.

Як відомо, на території України одним з найбільш значних колишніх уранових об'єктів є виробничий комплекс колишнього ВО «Придніпровський хімічний завод». Протягом своєї активної виробничої діяльності, що тривала з 1948 року по 1991 рік, підприємство було одним з найпотужніших у сфері переробки уранових руд колишнього Радянського Союзу. Оскільки на цьому підприємстві перероблялося більше 60% від всіх уранових руд СРСР, то на виробництво спрямовувалося чимало ураномістних порід як з вітчизняних родовищ (наприклад, м. Жовті Води, а також з Дніпропетровської, Кіровоградської та Миколаївської областей), так і закордонних (Казахстану, Чехії та Німеччини) [2].

Крім того, на базі ВО «Придніпровський хімічний завод» здійснювалася переробка цирконієвих руд, виробництво гафнію, іонообмінних смол, мінеральних добрив та інше. Чимало відходів (хвости) уранового виробництва накопичувалися у хвостосховищах на майданчику та прилеглих територіях. Із припиненням робіт на підприємстві, необхідні заходи щодо виведення його із експлуатації та очистки об'єктів інфраструктури уранового виробни-

цтва не здійснювалася, поступово руйнувалися елементи виробничої інфраструктури та захисні покриття хвостосховищ [4].

На території заводу знаходяться будівлі та споруди, що використовувалися для переробки уранових руд, потужність дози гамма-випромінювання в них становить до 520 мкР/год, об'ємна активність радону в повітрі – понад 200 Бк/м³. Прилегла до будівель територія (250 тис. м²) забруднена радіонуклідами, потужністю дози гамма-випромінювання до 1 мкР/год [3].

Зазначені об'єкти (в минулому ВО «Придніпровський хімічний завод») формують стійкі забруднювачі навколишнього середовища та є джерелами опромінення не тільки персоналу, а й населення, яке мешкає на прилеглих до них територіях, рівні якого перевищують встановлену НРБУ-97 квоту рівня дози для референтного радіаційно-небезпечного об'єкта – 80 мкЗв [2].

На попередніх стадіях досліджень ситуації з радіоактивним забрудненням території колишнього промислового майданчика ВО «Придніпровський хімічний завод», проведених у 2010–2013 роках, за результатами доопрацювань у рамках проєкту ЕС INSC Project U4.01/10G, Укр ГМП створив просторову карту розподілу потужності еквівалентної дози гамма-випромінювання (ПЕД) та визначив основні зони забруднення з точки зору впливу гамма-випромінювання. Результати підтвердили, що регіон можна розділити на дві частини (північний і південний сектори) на основі характерних рівнів забруднення [4].

Подібні дослідження – перспективні та досить актуальні. Так, турецькі вчені у своїй праці з оцінки та картування радіонуклідів у наземному середовищі застосували подібні методики інтерпретації та аналізу даних. Метою дослідження була радіологічна характеристика верхнього шару ґрунту в Артвінському районі, оцінка відповідних ризиків для здоров'я та отримання розподілу радіологічних параметрів у ґрунті регіону за допомогою геостатистичного методу. Середні значення концентрацій радіонуклідів ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K та ¹³⁷Cs у 117 пробах ґрунту визначені гамма-спектрометричним аналізом і становили: 42,26; 27,57; 390,42 та 14,87 Бк/кг відповідно. За отриманими результатами визначали еквівалентну активність радію ($R_{\text{аек}}$), репрезентативний рівень гамма-випромінювання дорівнювали 111,75 Бк/кг, 0,41; 0,30 і 0,81 відповідно для регіону. Крім того, середня потужність поглиненої дози, еквівалент річної ефективної дози та надмірний ризик захворювання мешканців раком протягом життя були розраховані як 54,79 нГр/год, 0,067 мЗв/год та 0,00023 відповідно для провінції. Було встановлено, що всі радіологічні параметри, отримані для регіону, мали значення нижчі за середньосвітові. Оцінки активності для точок, що не були враховані під час дослідження, та визначити розподіл радіації, інтер-

поляції для кожного радіонукліду були виконані за допомогою звичайного методу кригінгу; карти просторового розподілу створювалися з використанням таких оцінок. Результати проведених досліджень продемонстрували, що розподіл радіонуклідів по регіону цілком узгоджується з розрахунковими потужностями доз [6, 9].

Отже, дослідження засвідчили, що у північній частині сектору території колишнього промислового майданчика ВО «Придніпровський хімічний завод» забруднення ґрунтів в основному пов'язане з повітряним рухом і є досить низьким. З іншого боку, в південній частині сектору, де розташовані всі основні об'єкти колишнього уранового виробництва, елементи інфраструктури та ставки для захоронення відходів уранового виробництва, забруднення ґрунту, пов'язане із захороненням відходів уранового виробництва, відносно високе. Понад третина площі південного сектору колишнього ВО «Придніпровський хімічний завод» має підвищені значення потужності еквівалентної дози гамма-випромінювання (ПЕД) (від 0,5 до 30 мкЗв/год). Забруднення території зумовлене, головним чином, високим вмістом у ґрунті залишків руди та відходів виробництва, що мають високі рівні радію-226 і торію-230, у десятки-сотні разів перевищують критерій вилучення для нормативного контролю уран-торієвих радіонуклідів (1 Бк/грам). Основними об'єктами концентрованого накопичення радіоактивних відходів уранового виробництва в південній частині області є радіоактивні відходи уранового виробництва, накопичені у сховищах «Західне», «Центральний Яр» та «Південно-Східне». Захисне покриття цих сховищ не відповідає міжнародним стандартам [3, 4].

Атмосферні води та повітря, що потрапляють у тіло сховищ, сприяють їх окисленню та вимиванню урану та інших токсичних забруднювачів у ґрунтові води. Тому дослідження вертикальної структури забруднення ґрунту у зв'язку з розробкою стратегії подальшого поводження з ґрунтом та радіоактивними матеріалами на цій території, а також проєктування заходів радіаційного захисту і дезактивації в рамках програми реабілітації території, є актуальними і пріоритетними цілями для подальших досліджень.

Стратегія повернення майданчика до безпечного стану передбачає його реабілітацію після демонтажу та вивезення всіх основних концентрованих джерел іонізуючого випромінювання (великих забруднених будівель та інших об'єктів колишньої інфраструктури уранового виробництва, РЗМ). Плани реабілітації колишнього уранового виробництва передбачали видалення забруднених ґрунтів, що містять уран-торієві радіонукліди з рівнями активності понад 1–2 Бк/г або ПЕД гамма-випромінювання понад 5 мкЗв/год, та їх захоронення за межами майданчика, зокрема, переміщення до басейну захоронення відходів «Сухачівське-2» або до інших підготовлених

майданчиків для довгострокового та безпечного зберігання.

На стадії скринінгу обсяги забрудненого ґрунту, що потенційно може бути вивезений за межі майданчика, були визначені для середнього шару вертикального забруднення ґрунту до глибини 0,5 м. Проте такий підхід дозволив лише не повною мірою визначити обсяги забрудненого ґрунту, який необхідно вивезти за межі майданчика, що можуть досягати десятків тисяч кубометрів, в тому числі й щодо вартості таких послуг. Тому було прийнято рішення продовжити дослідження структури забруднення ґрунту колишнього майданчика ВО «Придніпровський хімічний завод» радіоактивними матеріалами з детальним вивченням вертикальної структури забруднення шарів ґрунту, що містять уран-торієві радіонукліди та інші можливі джерела іонізуючого випромінювання (гірничі матеріали і концентрати, металеві відходи, будівельні конструкції тощо) в рамках даного контракту [4].

Методика відбору проб ґрунту та рудомістких матеріалів. Польові роботи з визначення забруднення вертикальної структури проводилися відповідно до згідно розробленої методології та програми польових досліджень.

Під час виконання таких робіт працівникам або дослідникам незалежних установ необхідно керуватися чинниками відповідно до інструкцій щодо проведення польових робіт. Обладнання для відбору проб ґрунтів – інструменти ручного буріння, тести, каротажна станція, тощо. Безпосередньо на місцевості було обрано ділянки і точки для подальшого скринінгового аналізу. Визначення місця відбору проб ґрунту здійснювалося на підставі завчасно створеної карти просторового розподілення потужності дози гамма-випромінювання. Для відбору ґрунтових колонок територія обраного сектору майданчика була розділена на окремі ділянки в залежності від рівня ПЕД гамма-випромінювання [4].

З огляду на означені операції, під час проведення досліджень польові роботи виконані протягом однієї стадії до глибини 1 м. На першому етапі проводився відбір характерних колонок ґрунту (не менше 5 колонок) для кожної із ділянок, що були визначені в якості характерних для подальшого детального дослідження.

Первинна обробка і підготовка проб до аналізу. Тестові зразки готували до аналізу у відділі радіаційного моніторингу навколишнього природного середовища УкрНДГМП [4].

Процедури підготовки проб ґрунту для аналізу містить наступні операції:

1. Контейнери з відкритими кришками ставили на ніч у морозильну камеру.

2. Після замерзання проб контейнери ставили на 2 доби в Ліофілізатор Labconco 4.5L і методом ліофільного сушіння у вакуумному середовищі, висували проби до повітряно-сухого стану.

3. Контейнери зважували на технічних вагах, розраховували об'ємну вагу сухого матеріалу і відносну вологість.

4. Висушений матеріал ретельно перемішували у контейнері за допомогою скляної палички, рівномірно утрамбовували, вимірювали товщину шару у контейнері, закривали герметично кришкою і направляли на гамма-спектрометричний аналіз.

Результати аналітичних досліджень. За результатами виконаних аналітичних вимірювань розроблена програма необхідних детальних додаткових обстежень території на тих ділянках, де забруднення неоднорідне або має не типові характеристики забруднення (заглиблені металеві конструкції, що потребують видалення, ділянки, що мають проміжне покриття із високими рівнями забруднення, або ділянки із глибоким шаром (більше 0,5–1,5 м) вмісту забруднення і потребують спеціальних методів інвентаризації, а також планування детального відбору колонок на ділянках неоднорідного забруднення, що мають відображати всі зони із підвищеним рівнем ПЕД гамма-опромінювання вище 0,5 мкЗв/год.

За необхідності на деяких ділянках проби відбиралися до глибини 1 м методом ручного геологічного буріння або ж шурфування для ідентифікації розташування забруднених шарів ґрунту методом гамма-каротажу.

На рисунках 1, 2 та 3 показано точки відбору ґрунтових проб на тестовому полігоні в секторі 1, 2 та 3 відповідно.

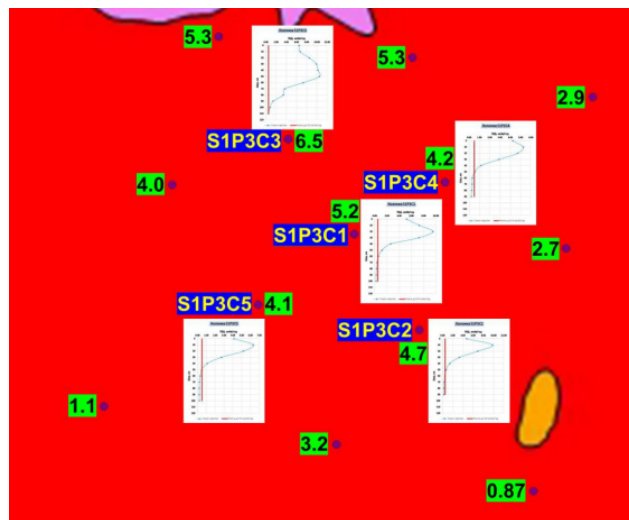


Рис. 1. Результати просторового і вертикального розподілу ПЕД гаммаопромінювання на території тестового полігону у секторі 1 (на зеленому полі вказані дані ПЕД гамма-опромінювання мкЗв/год, відстань між точками 5 м)

Вивчення ізотопного складу на різних глибинах забруднених ґрунтів (вертикальної структури), дозволило виділити такі типи забруднення:

1) рудне (радіонукліди сімейства урану-238, кількісні характеристики активності яких у ґрунтах зна-

ходяться у рівновазі), визначено у межах секторів 1 і 2 (колишні ділянки розвантаження уранової руди);

2) залишки переробки уранових руд (де спостерігається порушення стану радіоактивної рівноваги між материнськими і дочірніми радіонуклідами, в матеріалах переважають радіонукліди радію-226 або торію-230 (у деяких ідентифіковано суміші ґрунтів і забруднених матеріалів залишків уранового виробництва із відносно рівноважною активністю радію-226 і свинця-210, або із явно вираженими домінуванням активністю торію-230, радію-226 або свинцю-210);

3) залишки готової продукції (переважно суміші ґрунту і концентратів урану).

Аналізуючи отримані дані для Сектора 1, Сектора 2, Сектора 3 можна розташувати у такий ряд зі зменшенням рівню забруднення, який наведено у таблиці 1.

Отже, підсумовуючі отримані дані, виділені сектора можна розташувати у такий ряд зі зменшенням за рівнем забруднення: Сектор 1 > Сектор 3 > Сектор 2.

Неоднорідність структури вертикального забруднення радіоактивними матеріалами не дозволяє виявити однозначно кореляційний зв'язок між ПЕД гамма-опромінення і вмістом ефективної активності гамма випромінюючих нуклідів або одного із найбільш характерних для спектру активності таких ґрунтів – Радію-226. Таку залежність із досить високим коефіцієнтом кореляції ($R = 0,88-0,95$) виявлено лише для секторів 1 і 2, а також деяких ділянках колишньої зони розвантаження і тимчасового збереження уранових руд, де залишки уранової сировини, а відповідно і найбільш забрудненими є поверхневі шари ґрунту. На таких ділянках, використовуючи результати кореляційного аналізу ПЕД гамма-опромінення просторового розподілу, можуть бути виконані оцінки об'ємів забруднених ґрунтів та радіоактивних матеріалів.

На ділянках, де не знайдено вираженого кореляційного зв'язку між вмістом і глибиною основного шару радіоактивного забруднення, варто провести додаткові дослідження з метою визначення основних розмірів просторового заглиблення радіоактивних матеріалів з метою зменшення невизначених показників в оцінках об'ємів і кількісних характеристик радіоактивних матеріалів у ґрунтах.

В структурі вертикального забруднення ґрунтів виявлені шари із високим вмістом токсичних мета-

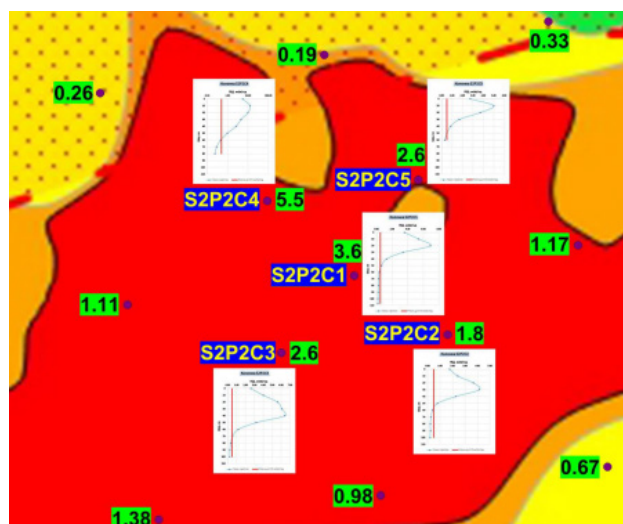


Рис. 2. Результати просторового і вертикального розподілу ПЕД гаммаопромінення на території тестового полігону у секторі 2 (на зеленому полі вказані дані ПЕД гамма-опромінення мкЗв/год, відстань між точками 5 м)

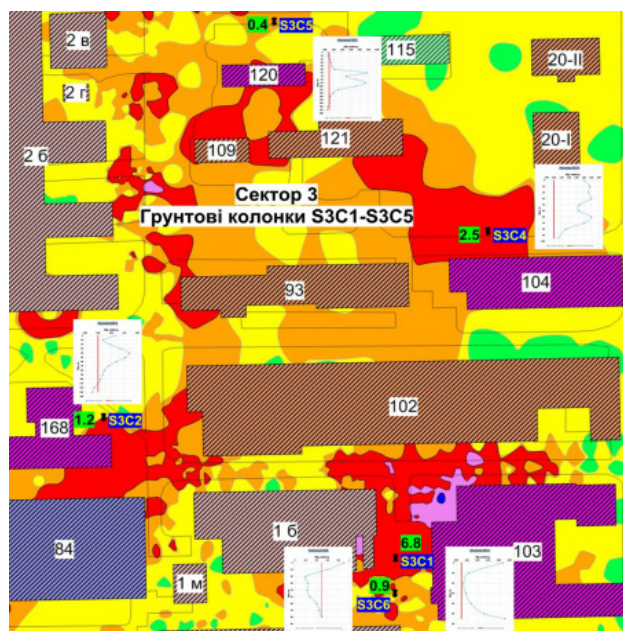


Рис. 3. Результати просторового і вертикального розподілу ПЕД гамма-опромінення на території сектору 3 (на зеленому полі вказані дані ПЕД гамма-опромінення мкЗв/год)

Таблиця 1

Загальна характеристика структури радіоактивного забруднення у виділених Секторах

| Шифр колонки | Глибина забруднення, см | ПЕД, мкЗв/год | Активність Бк/г | | | | Тип забруднення | Шар максимального забруднення |
|--------------|-------------------------|---------------|-----------------|----------|-----------|-----------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| | | | U | Th | Ra | Pb | | |
| Сектор 1 | 20-80 | 4,9-36,8 | 4,6-41,8 | 4,2-67,0 | 3,3-77,2 | 2,3-42,2 | рудне | Макс – 0,0–0,7 м |
| Сектор 3 | 0-100-160 | 0,4-4,7 | 0,2-3,9 | 0,3-38,7 | 0,13-20,2 | 0,14-18,3 | залишки різних технологічних процесів | Макс - 0,2–0,6 м Макс - 0,8–1,0 м |
| Сектор 2 | 5-40 | 1,2-12,6 | 1,1-9,8 | 1,1-8,5 | 1,3-9,6 | 0,9-5,5 | рудне | Макс - 0–0,4 м |

лів. Підвищені рівні токсичних матеріалів у більшості випадків мають високу кореляцію із рівнями радіоактивного забруднення. Це свідчить про те, що причини хімічного забруднення ґрунтів на майданчику мають ті ж чинники, що і забруднення радіоактивними матеріалами рудного походження.

На обраних ділянках із характерними типами радіоактивного забруднення, де виявлені значні неоднорідності забруднення, мають бути проведено додаткові роботи із більш глибоким аналізом шарів забруднення, а також на тих ділянках, де виявлено аномалії за типом формування забруднення або на ділянках де виявлено значні джерела радіоактивного забруднення заглиблені під шаром відносно чистого ґрунту. Це дозволить більш повніше визначити просторовий розподіл радіоактивних матеріалів на майданчику та очікувані обсяги забруднених матеріалів на стадії розроблення стратегії поводження із забрудненими ґрунтами та матеріалами на майданчику. Необхідно розробити методи оцінки характеристик джерел радіоактивного забруднення, заглиблених, під шаром чистих ґрунтів у вигляді забруднених залишків будівельних конструкції, металобрухту, забрудненого обладнання і рудних матеріалів.

За підсумками польових робіт, здійснених у 2016 році, а також уточнень результатів польових досліджень і аналітичних робіт у 2017 році було визначено концептуальну модель для тривимірної оцінки характеристик просторового розподілу тіла забруднених ґрунтів і матеріалів для характерних зон забруднення і оцінити очікувані об'єми забруднених матеріалів, як основи для обґрунтування стратегії поводження із такими матеріалами [4].

За результатами досліджень, проведених у 2016–2017 роках, означені ділянки території, що

потребують локальної дезактивації. Узагальнення отриманих результатів дозволило сформулювати уточнені карти найбільш забруднених ділянок навколо об'єктів спадщини уранового виробництва, а також надати рекомендації щодо пріоритетів та першочергового очищення території майданчика. Результати, наведені у заключному звіті, мають бути внесені у відповідні кластери інформації розробленої інформаційної системи та паспорти території колишнього ВО «Придніпровський хімічний завод» [4].

Основні висновки. 1. Визначено, що захист ґрунтів є одним з найважливіших і перспективних напрямків у створенні системи захисту навколишнього природного середовища. Підтверджено, що ґрунт, уражений радіонуклідами, – це джерело живлення для рослин, які отримують радіаційне ураження, що призводить до проникнення забруднюючих речовин як в окремі фітоценози, так і розлогі біогеоценози.

2. Проведення вертикального аналізу структури ґрунтів, уражених радіоактивними забруднюючими речовинами дозволило визначити різноманітний склад і походження досліджених ділянок ґрунтового покриву промислової території колишнього ВО «Придніпровський хімічний завод». Подальший аналіз різноманітного складу ґрунтового покриву дозволить розробити конкретний план заходів щодо рекультивації забруднених ділянок.

3. Отримані аналітичні і статистичні данні дозволили надати рекомендації щодо проведення подальших досліджень, які дозволять розробити план заходів із захисту навколишнього природного середовища від радіаційного забруднення.

Література

1. Річний звіт МАГАТЕ за 2021 рік. Міжнародне агентство з атомної енергетики. Vienna International Centre. Vienna, Austria (2022), 212 с.
2. Носовський А. В., Бондар Б. М. Дозиметрія та захист від іонізуючого випромінювання. К.: Інститут проблем АЕС НАН України, 2020. 406 с.
3. Технічне рішення – 2021-16.001-ТР. «Переміщення «окремо розташованих» та «легко перемішуваних» об'єктів з території колишнього ВО «Придніпровський хімічний завод» на майданчик тимчасового зберігання упаковок з РЗМ та вимоги до експлуатації майданчика тимчасового зберігання упаковок з РЗМ». 2021. 98 с.
4. Звіт за договором № 15-16 від 10.11.2016 р. про надання послуг: Проведення оцінки структури вертикального розподілу радіонуклідів і токсичних хімічних елементів у ґрунті на найбільш забруднених ділянках території державного підприємства «Бар'єр» (заключний). – Український гідрометеорологічний інститут (УкрГМІ), Київ, 2016, 114 с.
5. Shohda, AM; Draz, W.M.; Ali, FA; Yassien, M.A. Natural radioactivity levels and radiological hazard assessment of some Egyptian ornamental stones. J. Radiat. Res. dec. scientific 2018, 11, 323–327. DOI: 10.1016/j.jrras.2018.06.002
6. Taşkın, H., Yeşilkanat, C.M., Kobyay, Y. *et al.* Evaluation and mapping of radionuclides in the terrestrial environment and health hazard due to soil radioactivity in Artvin, Turkey. *Arab J Geosci* 11, 729 (2018). <https://doi.org/10.1007/s12517-018-4063-8>
7. Ugbede, Federal District; Osakhon, O.D. Soil-to-plant transfer factors ²³⁸U and ²³²Th in rice from the Ezillo paddy fields, Ebony State, Nigeria. J. Environment. Radioact. 2021, 233, 106606. DOI:10.1016/j.jenvrad.2021.106606
8. Wasif, MAM; Alrovailly, Z. A.; Elsaman, R.; Mostafa, AMA Transfer factor of natural radionuclides to soil and soybeans in soils of different granulometric composition and estimation of the committed effective dose. radiat. arch. Dosim. 2020, 188, 529–535. DOI:10.1093/rpd/ncaa005
9. Yeşilkanat, CM A new hybrid approach to mapping and predicting the distribution of ground-based gamma dose rates in the Central Anatolia region of Turkey. J. Environment. Radioact. 2019, 208–209, 106009. DOI:10.1016/j.jenvrad.2019.106009
10. Disman, S.; Hodolly, G.; Kadiri, S.; Aliu, H.; Makolli, S. Radioactivity of Kosovo honey samples. floor. J. Environment. Stud. 2020, 29, 1119–1127. DOI:10.15244/pjoes/105968
11. Disman, S.; Göryur, FC; Keser, R.; Göryur, O. Evaluation of Radioactivity and Radiation Hazard in Soils of Bolu Province, Turkey. Environment. Forensics 2019, 20, 211–218. DOI:10.1080/15275922.2019.1629129
12. Mostafa, AMA; Wasif, MAM; Elsaman, R.; Alrovailly, Z. A.; Mustafa, E. Dependence of levels of natural radioactivity and its radiological hazard on the composition of agricultural soils in Upper Egypt. Environment. Earth Sciences. 2020, 79, 228. DOI:10.1007/s12665-020-08946-z

ЕКОЛОГІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ ЧЕРВОНОГРАДСЬКОГО РАЙОНУ ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Войтків П.С., Іванов Є.А.

Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Університетська, 1, 79000, м. Львів
petro.voytkiv@lnu.edu.ua, yevhen.ivanov@lnu.edu.ua

Вивчено сучасну структуру земельного фонду Червоноградського району Львівської області за категоріями його використання і цільовим призначенням. Здійснено екологічне оцінювання земельних ресурсів району, розраховано екологічну стабільність територій і рівень антропогенного навантаження на землі для адміністративно-територіальних утворень. Об'єктом дослідження є земельні ресурси району, а предметом – екологічне оцінювання їхнього стану. Метою роботи є оцінка та аналіз екологічної стабільності територій та рівень антропогенного навантаження на землі окремих адміністративно-територіальних утворень району, а також окреслення шляхів покращення їхнього стану.

На основі методики Н. Рідея і Д. Шофолова розраховано коефіцієнти екологічної стабільності території та рівня антропогенного навантаження. За показниками екологічної стабільності території Червоноградського району переважають екологічно нестабільні і середньо стабільні землі, які розташовані у його північній, північно-східній і центральній частинах. У свою чергу екологічно стабільними є землі, що подекуди розміщені у західних, східних і південних адміністративно-територіальних утвореннях району. Антропогенне навантаження на території, що розташовані на півночі і сході району є підвищеним, а на півдні – середнім.

Загалом, екологічна стабільність територій у Червоноградському районі Львівської області визначається як слабо стабільна (0,46 ум. б.), а рівень антропогенного навантаження на земельні ресурси є підвищеним (3,24 ум. б.). Результати досліджень доцільно використовувати для покращення екологічної стабільності та зменшення антропогенного навантаження на земельні ресурси адміністративно-територіальних утворень з найгіршими показниками. *Ключові слова:* земельні ресурси, екологічне оцінювання, екологічна стабільність території, рівень антропогенного навантаження на земельні ресурси.

Ecological assessment of the land resources condition of Chervonohrad district of Lviv region. Voitkiv P., Ivanov Ye.

The structure of the land fund of the Chervonohrad district of Lviv region was studied for the first time, by categories of its purpose of use. An ecological assessment of the district's land resources has been carried out, i.e., the ecological stability of the territories and the level of anthropogenic load on the land for each administrative unit were calculated and analyzed. The object of research is the land resources of the Chervonohrad district. The subject is an ecological assessment of the state of the district's land resources. The goal of the article is to calculate, evaluate and analyze the ecological stability of the territories and the level of anthropogenic load on the land for each administrative unit of the district, and also to establish ways of improving their condition.

According to the methodology, proposed by N. Ridey and D. Shofolov, the coefficients of ecological stability of the territory and the level of anthropogenic load were calculated and analyzed. According to the indicators of ecological stability on the territory of Chervonohrad district, ecologically unstable and moderately stable territories, which are located in the northern, north-eastern and central parts of the district, prevail. Ecologically stable are territories, fragmentary located in the western, eastern and southern administrative units. The anthropogenic load level in the most of territories, which are located in the north and east, is characterized by increased level of influence, less territories – by average (located in the south of the district), and all other categories are represented by a small number.

In general, the ecological stability of the territory of the Chervonohrad district is weakly stable (0.46 points), and the level of anthropogenic load in the district, as a whole, can be characterized as high (3.24 points). The results of the research should be used to improve the ecological stability and reduce the anthropogenic load of the lands of the administrative entities with the worst indicators. *Key words:* land resources, ecological assessment, ecological stability of the territory, level of anthropogenic load on land resources.

Постановка проблеми. В межах створеного після нової адміністративної реформи Червоноградського району Львівської області здійснюється інтенсивна виробничо-господарська діяльність, яка обумовлює негативний вплив на екологічний стан земельних ресурсів. Ця діяльність повинна ґрунтуватися на принципах раціонального використання земель, систематичного контролю за їх станом та якістю. Тому актуальним є екологічне оцінювання стану земельних ресурсів району, вивчення спектру проблем, що пов'язані з їх використанням, забезпеченням та екологічним станом в межах адміністративно-територіальних утворень району.

Сучасні ландшафти Червоноградського району, що відносяться до зони Полісся (південь) і Лісостепу

(північ) та являють собою поєднання природних та антропогенних геосистем екологічний стан яких може бути як стабільним, так й нестабільним.

Аналіз останніх досліджень. Важливими питаннями залишається охорона та відновлення якісного стану земельних ресурсів. Для вирішення цих питань слід здійснювати політику нагальних та ефективних засобів впливу. Серед головних засобів запобігання погіршення екологічного стану земельних ресурсів вважають їх моніторинг та оцінювання на різних рівнях, постійне оновлення інформації про структуру земельних ресурсів та їх використання землевласниками і землекористувачами та надання до неї вільного доступу. Висвітленню цих питань присвячено увагу в окремих роботах [1–6, 13 та ін.].

Об'єктом дослідження є земельні ресурси Червоноградського району Львівської області, предметом – оцінювання екологічного стану його земельних ресурсів. Метою роботи є оцінювання екологічного стану досліджуваної території, розрахунок та аналіз коефіцієнтів екологічної стабільності земель та рівня антропогенного навантаження на земельні ресурси адміністративно-територіальних утворень.

Новизна. Вперше вивчено структуру земельного фонду та здійснено екологічне оцінювання земельних ресурсів «новоствореного» Червоноградського району, розраховано та проаналізовано екологічну стабільність територій та рівень антропогенного навантаження на землі для окремих адміністративно-територіальних утворень. Зроблений належний аналіз та запропоновано заходи щодо покращення екологічного стану цих земель.

Матеріали і методи дослідження. У роботі використано статистичні матеріали головного управління Держгеокадастру у Львівській області [16].

Серед методів дослідження виділимо: *статистичний* – для оброблення даних; *картографічний* – при складанні картосхем розподілу коефіцієнтів екологічної стабільності земель та рівня антропогенного навантаження на земельні ресурси; *графічний* – при побудові стовпчикових діаграм коефіцієнтів екологічної стабільності земель та рівня антропогенного навантаження на земельні ресурси; *порівняльно-географічний* – при характеристиці і порівнянні розподілу коефіцієнтів по території району.

Для визначення екологічної стабільності території та рівня антропогенного тиску використано метод, запропонований Н. Рідеєм і Д. Шофоловим, що враховує кількісні та якісні характеристики компонентів довкілля, а саме земельні ресурси [12]. В основу аналізу покладено розрахунок коефіцієнтів – *Кес* і *Кан*, які описують величину впливу господарської діяльності. У першому випадку враховують значення коефіцієнтів екологічних властивостей різних типів угідь, у другому – бальне оцінювання ступеня їхнього антропогенного навантаження.

Коефіцієнт екологічної стабільності території (*Кес*) розраховують [12]:

$$Kec = \frac{\sum_i SiKi}{\sum_i Si},$$

де Ki – коефіцієнт екологічних властивостей угідь i -виду, Si – площа угідь i -виду, n – кількість показників.

$$Kan = \frac{\sum_i SB}{\sum_i S},$$

Коефіцієнт антропогенного навантаження на земельні ресурси (*Кан*) визначають [12]:

де $S_j - S_n$ – площа угідь з певним рівнем антропогенного навантаження; $B_j - B_n$ – оціночні бали цих угідь.

Бальне оцінювання ступеня антропогенного навантаження та екологічної стабільності території також визначено за шкалою Н. Рідея і Д. Шофолова. До екологічно нестабільних відносять території з коефіцієнтом до 0,33 ум. б., до слабо стабільних – 0,34–0,50 ум. б., середньо стабільних – 0,51–0,66 ум. б. та екологічно стабільних – понад 0,67 ум. б. Рівень антропогенного навантаження території визначають за такими показниками: високий – 4,10–5,00 ум. б., підвищений – 3,10–4,09 ум. б., середній – 2,10–3,09 ум. б., низький – 1,00–2,09 ум. б. [12].

Виклад основного матеріалу. Червоноградський район розташований на північному заході Львівської області. Район утворено 17 липня 2020 р. у рамках нової адміністративно-територіальної реформи [9]. До складу району увійшли території Радеківського і Сокальського районів, а також частини Кам'янка-Бузького і Жовківського районів, міста обласного значення Червоноград і Соснівка та селище Гірник [14]. До складу району входять сім територіальних громад, з яких п'ять міських і дві селищні. До міських відносяться Белзька, Великомоствівська, Радеківська, Сокальська і Червоноградська, до селищних – Добротвірська і Лопатинська. Район межує на півночі з Волинською областю, на південному-сході із Золочівським районом, на півдні і південному-заході з Львівським районом Львівської області. На заході район межує з Люблінським воєводством Республіки Польща.

Згідно з схемами фізико-географічного районування північну частину району відносять до Західноукраїнської провінції широколистяних лісів, а південну – до Поліської провінції зони мішаних лісів [7, 11]. При цьому виділяють такі природні області у різних частинах району: північ відносять до Люблінської і Волинської височини, південний-схід – до Бузького Малого Полісся, південний-захід – до Стирського Малого Полісся [7, 8].

Червоноградський район відносять до поліської зони (південь), а саме її Малополюського округу Західнополіської провінції і лісостепової зони (північ) – Рівненсько-Луцького округу Західнолісостепової провінції. В межах району виділяють природно-сільськогосподарські райони: Сокальський, Радеківський і Кам'янка-Бузький [12].

Площа Червоноградського району складає 299 703,3 га, серед яких на сільськогосподарські землі припадає 193 319,97 га (64,5 % від загальної площі), ліси та інші лісовкриті землі – 76 249,94 га (25,44 %), забудовані землі – 15 190,03 га (5,01 %), водно-болотні ресурси – 9 325,43 га (3,11 %) та відкриті землі без рослинного покриву – 1 073,42 га (1,14 %) [1].

Сільськогосподарські землі нерівномірно розподілено в межах району. Ці землі в адміністратив-

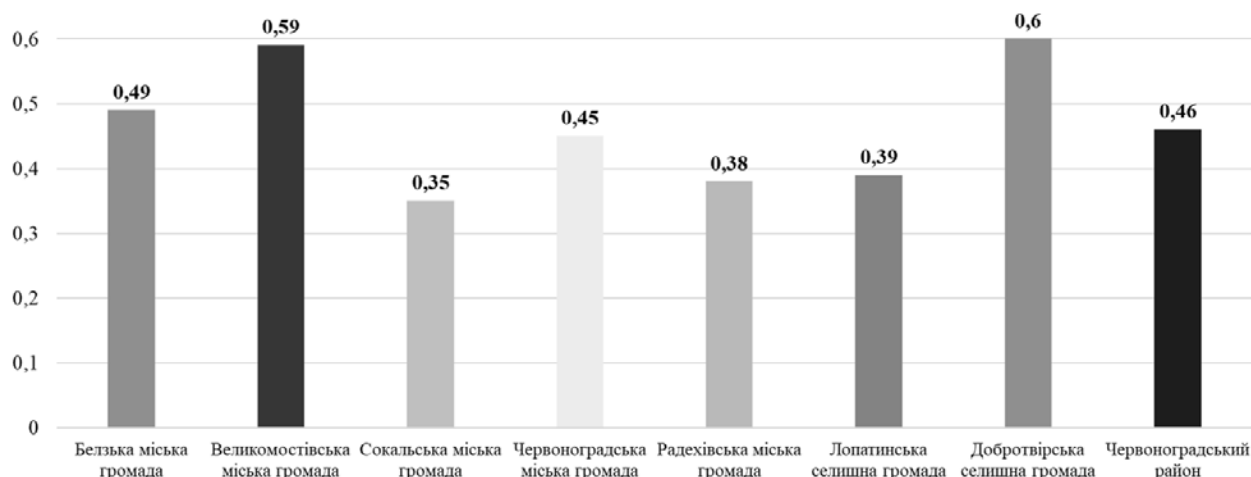


Рис. 1. Екологічна стабільності земель у громадах Червоноградського району

но-територіальних утвореннях домінують у північно-східній, північній і західній частинах району. Інша ситуація властива для південної, північно-західної і частково центральної частин району, де частка розораності є значною, однак великі площі займають угіддя, які безпосередньо стабілізують екологічний стан земельних ресурсів. Мова йде про ліси та інші лісовкриті території. При цьому зустрічаються території, в яких лісистість займає понад 50 % від площі [1].

Більшість забудованих земель властиві для адміністративних центрів громад, головню Червонограда, Сокаля, Радехова, Добровора. Водно-болотні ресурси по території району розміщені нерівномірно. Головні ареали цих ресурсів пов'язані з долинами річок Західний Буг і Стир та їх допливів, які протікають з південного-сходу на північний-захід. Значні ареали заболочених земель хаотично поширені в межах району, головню у його південно-східній, центральній і північно-західній частинах, тобто місця розташування заплав річок [1]. Частка інших категорій земель, до яких відносять землі без рослинного покриву, природно-заповідного фонду, історико-культурного, рекреаційного та оздоровчого призначення займають лише 1,14 %.

У Червоноградському районі виділяють такі чинники антропогенного впливу на земельні ресурси і ґрунти: вплив гірничодобувної промисловості; проведення меліоративних робіт; просідання і затоплення земель; використання кар'єрів під сміттєзвалища; значна розораність земель; порушення ґрунтів внаслідок неправильного обробітку; розвиток ерозійних процесів.

Сучасний екологічний стан земельних ресурсів у Червоноградському районі відносно інших районів Львівщини нерідко перебуває у кризовому і незадовільному стані, чому сприяють вище перелічені

чинники. Нераціональне і неконтрольоване використання земельних ресурсів, а також підвищення рівня антропогенного навантаження на них спричинюють значні зміни їх стану. Саме сукупність таких чинників спричиняють погіршення геоecологічної ситуації в цілому, зокрема забруднення й виснаження земель і ґрунтів; порушення земель внаслідок ерозії, розвиток несприятливих природних процесів (просідання, зсуви, повені, підтоплення) та втрата різноманіття рослинного і тваринного світу.

У процесі екологічного оцінювання стану земельних ресурсів району розраховано коефіцієнти екологічної стабільності та отримано базу екологічної інформації. Загалом, у районі спостерігаємо слабо стабільну ситуацію (0,46 ум. б.). Це території Сокальської (0,35), Радехівської (0,38), Лопатинської (0,39), Червоноградської (0,45) і Белзької (0,49) громад. Вищі середньо стабільні показники відзначаємо в межах Великомостівської (0,59) та Добровірівської (0,60) громади (рис. 1).

Всього маємо 25 адміністративно-територіальних одиниць району, які є екологічно нестабільними (до 0,33 ум. б.), а коефіцієнт екологічної стабільності змінюється в межах від 0,33 до 0,097 ум. б. (рис. 2).

Екологічно нестабільні землі розташовані у північній, північно-східній і центральній частинах (колишній Сокальський район), а також на сході району (колишній Радехівський район). Найкращі значення цього коефіцієнта маємо в межах Сушнівської і Кривецької (по 0,33 ум. б.) сільських рад, а найгірші – у міських радах Сокаля (0,15) та Червонограда (0,10).

Деяко кращий екологічний стан властивий до слабо стабільних територій, яких у районі є 26 адміністративно-територіальних утворень. Екологічно слабо стабільні території розташовані у північній і північно-східній частинах району, незначні площі відзначимо у південно-східній, західній і південній



Рис. 2. Екологічна стабільність земель Червоноградського району

частинах району. Найвищі значення є у Волицькій (0,49 ум. б.), Хмільнівській (0,49), Тудорковицькій (0,48), Дмитрівській (0,48) сільських радах. Найнижчі значення є в межах Тартаківської (0,35 ум. б.), Хоробрівської (0,35), Кустинської (0,35) сільських рад, а також Лопатинської селищної ради (0,35).

Кращий стан властивий для групи середньо стабільних територій, до яких належать 17 адміністративно-територіальних одиниць району. Ці території розташовані на півдні Червоноградського району, головну у Сілецькій (0,66 ум. б.), Двірцівській (0,66) і Корчинській (0,65) сільських радах (див. рис. 2).

Екологічно стабільними залишаються лише дев'ять адміністративно-територіальних одиниць району, які розміщені у західних, східних і південних адміністративних утвореннях, зокрема у Нивицькій (0,79 ум. б.), Полоничнівській (0,72), Незнанівській (0,71), Нововитківській (0,77), Яструбичівській (0,75) і Хлівчанській (0,71) сільських радах.

На основі коефіцієнтів екологічної стабільності окремих адміністративно-територіальних одиниць Червоноградського району, робимо висновок, що більшість територій є екологічно нестабільними і слабо стабільними. Однак дев'ять адміністративно-територіальних утворень в межах району відносяться до екологічно стабільних.

Коефіцієнт антропогенного навантаження визначає ступінь впливу діяльності людини на стан при-

родного середовища, у тім числі й на земельні ресурси. Цей коефіцієнт для Червоноградського району становить 3,24 ум. б. і є підвищеним. Загалом він коливається в межах від 1,80 до 4,67 ум. б.

Слід відзначити, що більшість громад району за цим коефіцієнтом мають підвищений рівень. Це території Белзької (3,27 ум. б.), Сокальської (3,48), Червоноградської (3,48), Радехівської (3,4) і Лопатинської (3,47) громад (рис. 3). Для Великомоствівської (2,98 ум. б.) і Добротвірської (2,6) громад властивий середній рівень впливу на земельні ресурси.

До територій з високим рівнем антропогенного навантаження належать землі міських рад Червонограда (4,67 ум. б.), Сокаля (4,39), Радехова (4,11) і Добротвірської селищної ради (4,50). Підвищене антропогенне навантаження спостерігаємо в межах більшості (53) адміністративно-територіальних одиниць. Території із підвищеним рівнем антропогенного навантаження спостерігаємо по усій території Червоноградського району, однак головна їхня маса тягнє до північної, північно-східної і східної частин, а менша – у південній і південно-західній частинах району (рис. 4). Найвищі показники є в межах Завидченської (3,86 ум. б.), Пиратинської (3,85) і Барилівської (3,84) сільських рад.

Середній коефіцієнт антропогенного навантаження на земельні ресурси відзначаємо у 20 адмі-

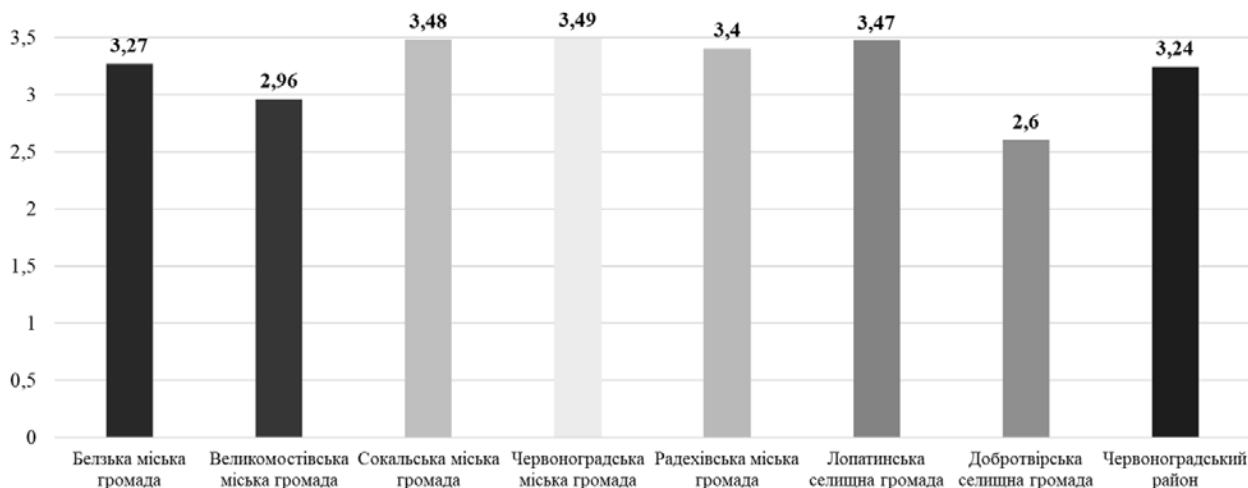


Рис. 3. Рівень антропогенного навантаження на земельні ресурси у громадах Червоноградського району

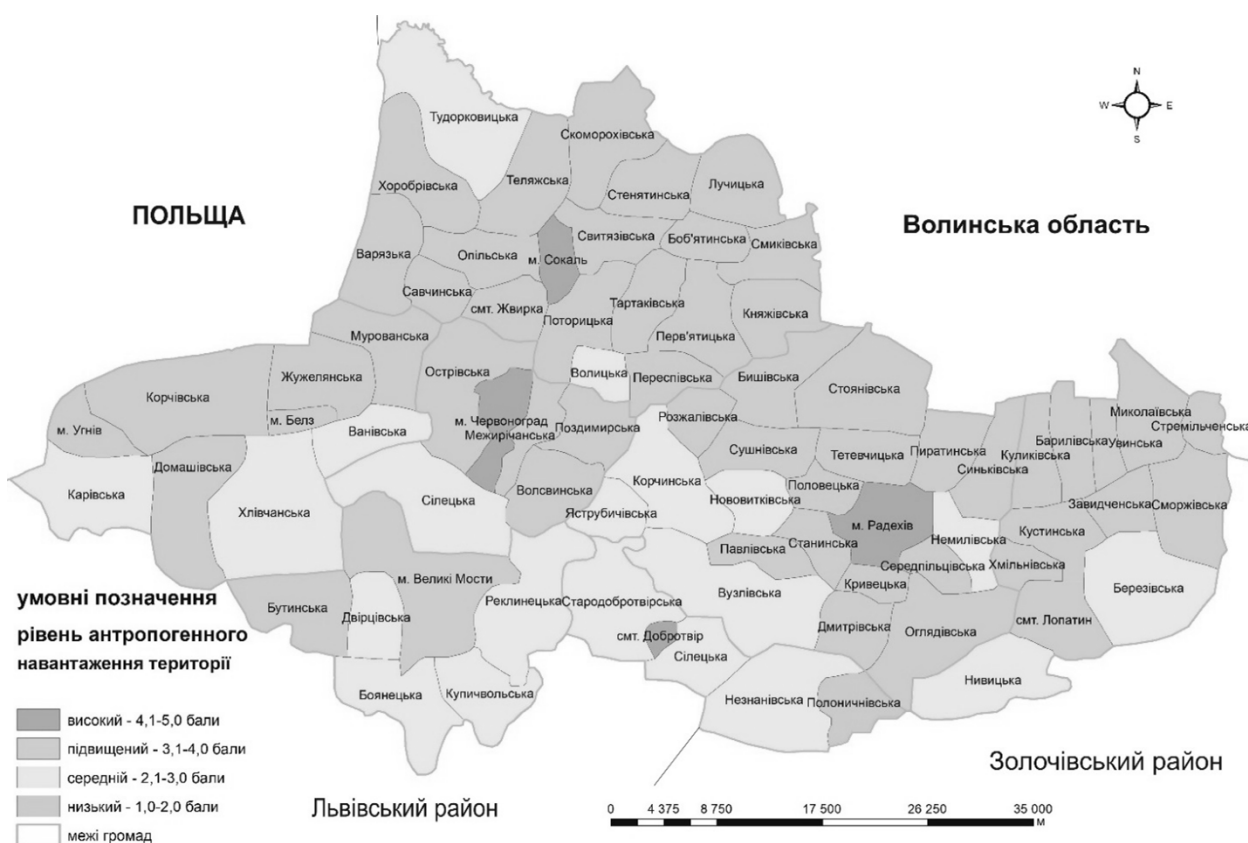


Рис. 4. Рівень антропогенного навантаження на земельні ресурси Червоноградського району

ністративно-територіальних одиницях району. Середній рівень спостерігаємо головню в межах мало-поліських ландшафтів, у Вузьківській (3,09 ум. б.), Корчинській (3,08), Реклинецькій (3,08), Домашівській (3,07), Боянецькій (3,07) та інших сільських радах. Низький, а тому найкращий коефіцієнт антропогенного навантаження є лише в межах Полоничнівської (1,80 ум. б.).

Висновки. Червоноградський район володіє сприятливими умовами для раціонального та високо-ефективного землекористування і в майбутньому стати центром промислового і сільськогосподарського виробництва.

1. Аналіз структури земельного фонду показав, що сільськогосподарські землі займають 64,5 % площі району, ліси та інші лісовкриті землі –

25,44 %, забудовані землі – 5,01 %, водно-болотні ресурси – 3,11 % та відкриті землі без рослинного покриву – 1,14 %.

2. За показниками екологічної стабільності переважають екологічно нестабільні і середньо стабільні земельні угіддя, які розташовані у північній, північно-східній і центральній частинах району. Загалом для району властиві слабо стабільні землі. Рівень антропогенного навантаження в цілому по районі варто визначити як підвищений, а серед адміністративних утворень більшості територій також властивий підвищений рівень впливу.

3. Для території району властиві такі чинники антропогенного впливу на землі і ґрунти: гірничо-

добувне навантаження; проведення меліоративних робіт; просідання, затоплення, підтоплення і вторинне заболочення земель; значна розораність сільськогосподарських угідь; неправильний обробіток і порушення ґрунтів і як результат, розвиток ерозійних процесів.

4. Пропонуємо такі заходи щодо покращення екологічного стану земель: зменшення екстенсивного використання земель; збереження площ лісів і багаторічних насаджень; використання земельних ділянок за їхнім цільовим призначенням; припинення видобування корисних копалин у незаконно утворених кар'єрах та проведення рекультивациі порушених земель.

Література

1. Войтків П. С., Волос Ю. Я. Сучасний стан сільськогосподарського землекористування у Червоноградському районі Львівської області. *Шості Сумські наукові географічні читання*: зб. матер. Всеукр. наук. конф. Суми, 2021. С. 51–58.
2. Войтків П. С., Гурський Р. Р. Сучасний стан землекористування у Великомоствській територіальній громаді Львівської області. *Горизонти ґрунтознавства*: зб. матер. наук. конф. студ. і аспір. Львів, 2021. Вип. 2. С. 43–49.
3. Войтків П. С., Іванов Є. А. Екологічне оцінювання стану земельних ресурсів у районі Кам'янки-Бузької. *Concepts for the Development of Society's Scientific Potential: 2nd International Scientific and Practical Conference. Scientific Collection "InterConf"*, 109. Prague, Czech Republic, 2022. P. 267–277. DOI: <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.05.2022.034>.
4. Войтків П. С., Іванов Є. А., Телегуз О. Г. Оцінювання ступеня порушення рівноваги в агроландшафтах Червоноградського району Львівської області. *Theory and Practice of Science: KeyAspects: 7th International Scientific and Practical Conference. Scientific Collection "InterConf"*, 28 (137). Rome, Italy, 2022. P. 206–215. DOI: <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.12.2022.021>.
5. Войтків П. С., Кравців С. С., Кобелька М. В. Екологічна оцінка стану земельних ресурсів на прикладі Радехівського району Львівської області. *Конструктивна географія і картографія: стан, проблеми, перспективи*: матер. міжнарод. наук.-практ. онлайн-конф. Львів: Простір-М, 2020. С. 123–126.
6. Войтків П. С., Кравців С. С., Михалець В. В. Оцінка сумарної екологічної ситуації земельних ресурсів адміністративно-територіальних одиниць (на прикладі Кам'янка-Бузького району Львівської області). *Соціально-економічні проблеми сучасного періоду України*: зб. наук. праць. 2019. Вип. 2 (136). С. 30–35. DOI: <https://doi.org/10.36818/2071-4653-2019-2-6>.
7. Геоєкологія Львівської області: монографія / Ю. Андрейчук, Л. Безручко, В. Біланюк та ін. / за заг. ред. Є. Іванова. Львів: Простір-М, 2021. 606 с.
8. Маринич О. М., Шищенко П. Г. Фізична географія України. Київ: Т-во "Знання", 2003. 479 с.
9. Мартин А. Г. Осипчук С. О., Чумаченко О. М. Природно-сільськогосподарське районування України: монографія. Київ: ЦП "Компринт", 2015. 328 с.
10. Постанова Верховної Ради України № 807-IX від 17 липня 2020 р. "Про утворення та ліквідацію районів". *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*. 2020. № 33. ст. 235. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/807-20#Text>.
11. Природні ресурси Львівщини / Матолич Б. М., Ковальчук І. П., Іванов Є. А. та ін. Львів: ПП Лукашук В. С., 2009. 120 с.
12. Рідей Н. М., Шофолов Д. Л. Екологічна стандартизація для забезпечення сталого землекористування та охорони земель. *Людина і довкілля. Проблеми неоекології*. 2009. Вип. 1 (12). С. 41–50.
13. Управління земельними ресурсами: регулювання земельних відносин: навч. посібн. / Сохнич А. Я., Горлачук В. В., Наход А. В. та ін. / за ред. А. Я. Сохнич. Львів: ПП "Ареал", 2008. 255 с.
14. Червоноградський район. *Вікіпедія*: відкрита інтернет-енциклопедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Червоноградський_район.
15. Форми 6-зем. Фондові матеріали Головного управління Держгеокадастру у Львівській області по земельних ресурсах. Львів: ГУ Держгеокадастр у Львів. обл., 2023.

ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ

УДК 634.54:581.54

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.1.28>

ДОСЛІДЖЕННЯ ЖИТТЄВОСТІ НАСАДЖЕНЬ УРБОЕКОСИСТЕМ (НА ПРИКЛАДІ М. УМАНЬ)

Василенко О.В., Балабак О.А., Балабак А.В., Гурський І.М., Шевченко Н.О.

Уманський національний університет садівництва

вул. Інститутська, 1, 20300, м. Умань

vsolga05@gmail.com, o.a.balabak@ukr.net,

A.V.Balabak@ukr.net, gurskyivet@gmail.com, shevchenkonata24@gmail.com

У ході проведених досліджень у місті Умань була оцінена життєвість міських насаджень (дерев роду *Tilia* L., які є типовими для озеленення міських урбоєкосистем). Екосистемні послуги, які надають такі міські дерева, часто обмежуються низькою їх життєвістю. Особливо вразливі дерева комунікаційно-стрічкових ландшафтів міста. Такі рослини часто мають високий рівень смертності та коротку середню тривалість життя порівняно з деревами, що ростуть у природних умовах. Найбільший відсоток дерев, що ростуть в комунікаційно-стрічкових ландшафтах м. Умань (вздовж основних автодоріг міста), відповідає 2–3 балам. В більшості ці дерева є ослабленими та не можуть виконувати на високому рівні свої екологічні і декоративні функції. До дерев у відмінному стані (1 бал) віднесено в середньому 23,2 % від всіх досліджуваних дерев, це переважно молодші рослини з високими показниками ширини стовбура та площі асиміляційного апарату.

Крім того, була вивчена життєвість дерев після радикального обрізування. Низький рівень життєвого стану більшості досліджуваних дерев після такої обрізки свідчить про малу ефективність застосованого методу обрізування. Серед контрольних рослин (не обрізаних) не виявлено всохлих рослин, в той час як 3,9 % радикально обрізаних рослин загинули. Найбільша кількість обрізаних та необрізаних дерев знаходиться в категорії «пошкоджене (ослаблене)» (2 бали) та «сильно пошкоджені» (3 бали) – відповідно в середньому 36,9 та 37,5 %. Дерев, стан яких можна віднести до четвертого балу життєвості (дерево, що відмирає – крона зруйнована, густина менше 15–20 % більше 70 % гілок, у тому числі верхньої половини сухі або усихаючі) серед контрольних екземплярів було майже вдвічі менше. Отже, радикальне обрізування негативно вплинуло на життєвий стан дерев, у них з'явився сухостій і збільшилась кількість відмираючих рослин. *Ключові слова:* урбоєкосистема, міські насадження, життєвість, радикальне обрізування.

Study of vitality of urbo-ecosystem plants (on the example of Uman city). Vasylenko O., Balabak O., Balabak A., Hurskyi I., Shevchenko N.

The viability of urban plantings (trees of the *Tilia* L. genus, which are typical for greening urban ecosystems) was assessed during the conducted research in the city of Uman. The ecosystem services provided by such urban trees are often limited by their low viability. Trees in communication-strip landscapes of the city are particularly vulnerable. Such plants often exhibit high mortality rates and a shorter average lifespan compared to trees growing in natural conditions. The majority of trees growing in the communication-strip landscapes of Uman (along the main roads of the city) correspond to grades 2–3. In most cases, these trees are weakened and cannot perform their ecological and decorative functions at a high level. Trees in excellent condition (grade 1) constitute an average of 23.2% of all examined trees, primarily consisting of younger plants with high trunk diameter and assimilation area.

Furthermore, the viability of trees after radical pruning was investigated. The low vitality level of the majority of examined trees following such pruning indicated the limited effectiveness of the applied pruning method. Among the control plants (unpruned), no withered plants were found, whereas 3.9% of radically pruned plants perished. The highest number of pruned and unpruned trees fell into the category of "damaged (weakened)" (grade 2) and "severely damaged" (grade 3), averaging 36.9% and 37.5%, respectively. Trees classified with a viability score of four (dying tree – canopy destroyed, density less than 15–20%, more than 70% of branches, including the upper half, dry or withering) among the control specimens were nearly half as many. Therefore, radical pruning negatively affected the vitality of the trees, leading to drought stress and an increased number of dying plants. *Key words:* urboecosystem, urban plantations, vitality, radical pruning.

Постановка проблеми. Озеленення міст активно пропагується як рішення з міського планування для зменшення погіршення стану навколишнього середовища, спричиненого урбанізацією, підвищення стійкості міст, пом'якшення змін клімату та адаптації до них, а також для покращення здоров'я та добробуту людей [1, 2]. Міське озеленення забезпечує більшість локальних екосистемних послуг, а саме, фільтрацію

повітря від забруднюючих газів і шкідливих часток, регулювання мікроклімату шляхом затінення та транспіраційного охолодження (що особливо важливо в умовах зміни клімату) для мешканців міст [3]. Однак дані екосистемні послуги, які надають міські дерева, часто обмежуються низькою їх життєздатністю [4].

Актуальність дослідження. Велика кількість взаємодіючих факторів може впливати на швидкість

росту та життєздатність міських дерев, включаючи забруднення ґрунту та повітря, надлишок тепла, сильні вітри та затінення оточуючими будівлями, а також, методика обрізування.

Обрізка є основною діяльністю по догляду за деревами в містах. Вона проводиться для зменшення ризику вітролому, забезпечення видимості доріг, зменшення взаємодії та пошкодження інфраструктури, і не менш важливо, з естетичних міркувань. Однак доведено, що обрізка підвищує сприйнятливості дерев до хвороб і потенційно може вплинути на їх здатність надавати екосистемні послуги [5–7].

Вимоги до обрізки змінюються протягом життєвого циклу міського дерева. Існують також видові відмінності в потребах обрізки, та більші і старші дерева, як правило, потребують інтенсивнішої обрізки. Це вважається корисною та необхідною діяльністю, однак погана техніка може призвести до агресивного зменшення крони, а шкідливі зрізи, такі як обрізання гілок можуть спричинити поранення [8]. Фактично, очікувана тривалість життя міських дерев може бути скорочена шкідливими методами обрізки, які можуть зробити дерева сприйнятливими до хвороб і пошкоджень комахами. Тому, аналіз життєвості міських дерев з врахуванням антропогенних чинників та інтенсивності обрізування є актуальним завданням сучасних урбоекологічних досліджень.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Результати, висвітлені в даній науковій статті, випливають із проведеної наукової роботи, яка виконувалась в межах досліджень кафедри екології та безпеки життєдіяльності Уманського національного університету садівництва за комплексною темою: «Розробка методологічних підходів і практичного механізму екологічно-збалансованого природокористування», державний номер реєстрації – 0108U009772.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз екологічної стійкості та життєвості представників найпоширеніших родів деревних рослин, що використовуються в озелененні урбанізованих територій, висвітлений у працях [9–11], дозволяє зробити висновок, що особливо вразливі дерева комунікаційно-стрічкових ландшафтів міста. Такі рослини часто мають високий рівень смертності та коротку середню тривалість життя порівняно з деревами, що ростуть у природних умовах [12, 13].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. В даній статті проаналізована життєвість міських насаджень (дерев роду *Tilia* L., які є типовими для озеленення міських урбоекосистем в Україні), які є частиною комунікаційно-стрічкових ландшафтів міста і які періодично піддаються радикальній обрізці.

Новизна. На основі проведених власних досліджень вперше був вивчений вплив радикального обрізування на життєвість дерев, які використовую-

ються для озеленення доріг і які найбільше потерпають від забруднення середовища.

Методологічне або загальнонаукове значення. Для вирішення поставлених завдань були обстежені міські насадження вздовж центральних автодоріг міста Умань. Доведено, що наслідки забруднення середовища та надто інтенсивна обрізка в комплексі впливають на життєвість міських дерев. Представлені дослідження можна використовувати при розробці концепції формування системи зелених насаджень міста, а також для екологічного оцінювання результатів діяльності служби, що займається міським озелененням.

Викладення основного матеріалу. Дослідження життєвості міських насаджень проводили протягом 2022 та 2023 років. Оцінювання здійснювали за методикою В. А. Алексєєва – за 5-ти бальною шкалою. Дерева, ріст яких можна охарактеризувати як добрий, без ознак пригнічення, а стан листової поверхні, повноцінний, здоровий, оцінювались в 1 бал. Дерева, що характеризувалися загальним добрим станом та за ростовими показниками, що відповідають нормам та мають приблизно 20–25 % ушкодженої листової поверхні отримували 2 бали. Ослаблені дерева, з часткою ушкодженої поверхні листів 50 % оцінювались у 3 бали. Пригнічені, з ознаками хвороб дерева, з ушкодженням листям на рівні 75–80 % листової поверхні – 4 бали. Дерева, з повністю ушкодженими та всохлими листками, – 5 балів [14].

Для центральної частини України дерева роду *Tilia* L. є типовими для озеленення міських урбоекосистем. В системі озеленення м. Умань велику роль відіграють насадження розташовані вздовж автодоріг, а саме, у захисних смугах поміж проїжджою частиною та тротуарами. Для проведення досліджень нами було обрано 6 центральних вулиць міста з різною інтенсивністю автомобільного руху (рис. 1).

Така інтенсивність автомобільного трафіку призводить до викидів забруднюючих речовин, таких як оксиди азоту, сірки та інші шкідливі речовини, що призводить до забруднення повітря, яке, у свою чергу, може негативно впливати на життєвість дерев.

Насадження комунікаційно-стрічкових ландшафтів м. Умань представлені переважно видами *Tilia cordata* та *Tilia platiphyllos*. У середньому вік досліджуваних дерев становить 25–30 років. Дерева віком до 45–50 років майже не зустрічаються. Рослини двадцятип'ятирічного віку складають більшу половину від досліджуваних екземплярів. Періодичні поодинокі посадки нових дерев часто не результативні – дерева всихають і гинуть, бувають зламаними, за ними мало доглядають.

Аналізуючи результати досліджень життєвості міських насаджень (рис. 2), можна зробити висновок, що найбільший відсоток дерев, що ростуть в комунікаційно-стрічкових ландшафтах м. Умань (вздовж основних автодоріг міста), відповідає 2–3 балам. В більшості ці дерева є ослабленими

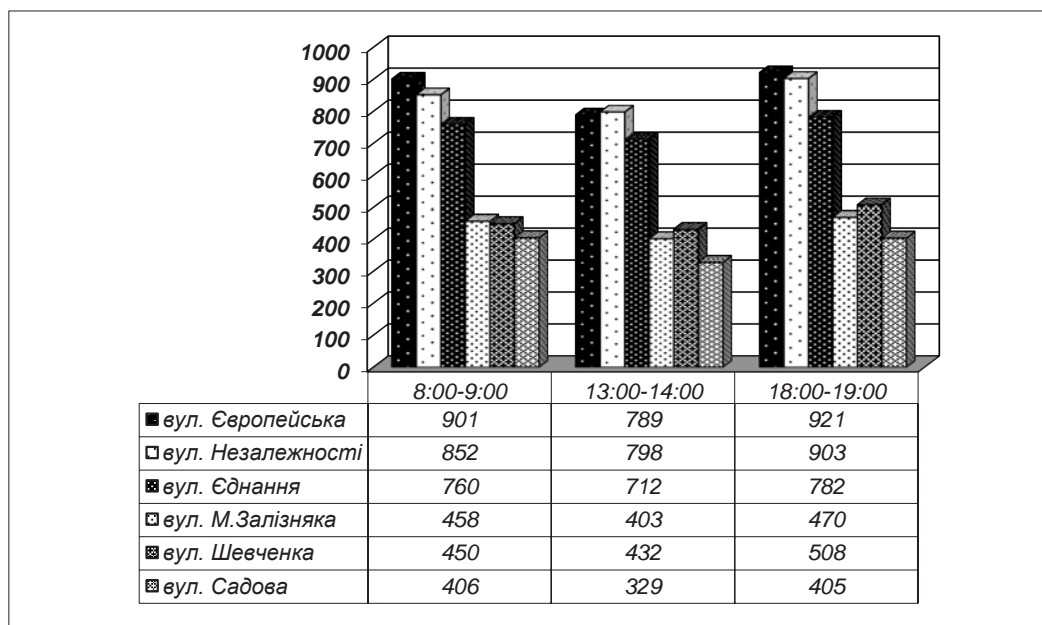
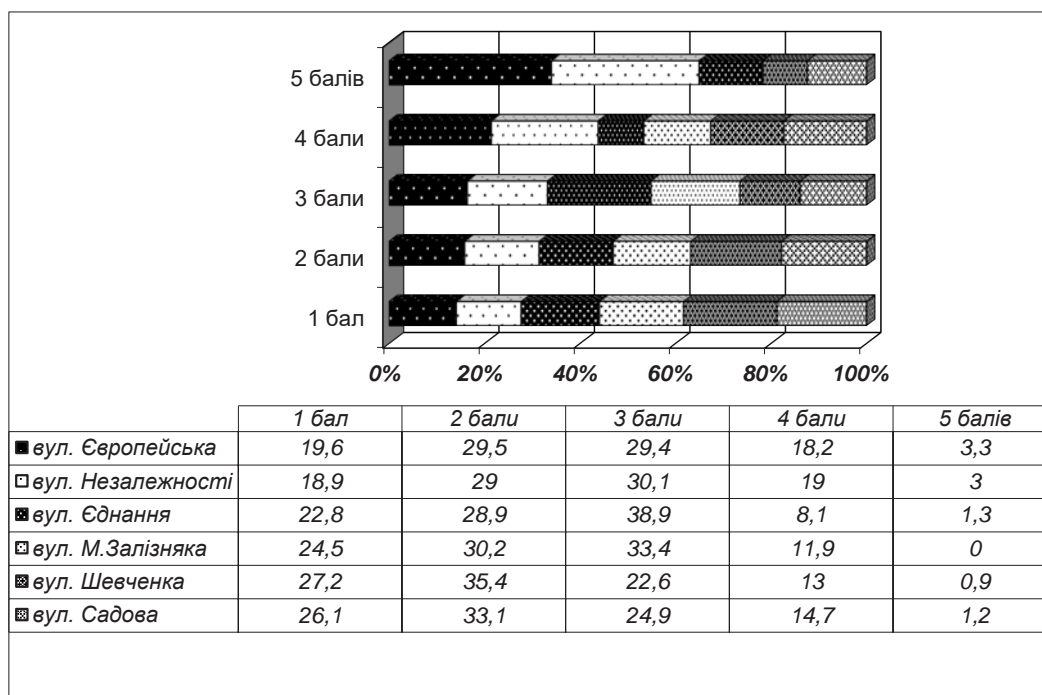


Рис. 1. Інтенсивність автомобільного руху досліджуваними вулицями м. Умань, авт./год

Рис. 2. Життєвість міських дерев роду *Tilia L.*, що ростуть на основних вулицях м. Умань

та не можуть виконувати на високому рівні свої екологічні і декоративні функції. До дерев у відмінному стані (1 бал) віднесено в середньому 23,2 % від всіх досліджуваних дерев, це переважно молодші рослини з високими показниками ширини стовбура та площі асиміляційного апарату.

В 2023 році було проведено чергове радикальне обрізування досліджуваних дерев на основних вулицях міста (рис. 3).

Радикальна обрізка міських дерев передбачає зрізування всіх гілок крони та, іноді, верхньої частини стовбура. Дерево, яке втрачає понад 50 % крони вважається пошкодженим до ступеня припинення росту [15].

Життєвий стан контрольних та дослідних рослин порівнювали через півроку після обрізки (на початку осені). Низький рівень життєвого стану більшості досліджуваних дерев свідчить про малу ефективність застосованого методу обрізування (рис. 4).



Рис. 3. Деревні насадження в м. Умань після радикального весняного обрізування (А – вул. Єднання (після обрізки); Б – вул. Садова (початок відростання пагонів))

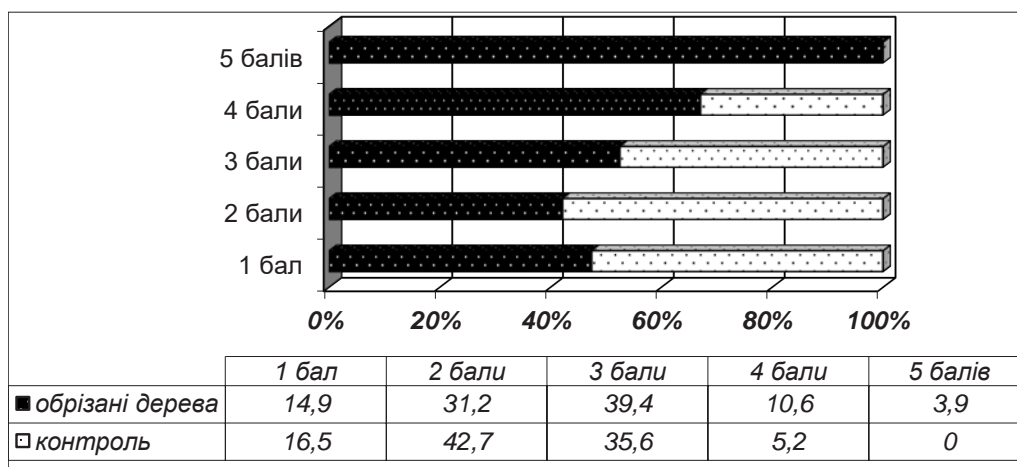


Рис. 4. Вплив обрізування на життєвий стан дерев роду *Tilia L.*

Це може бути пов'язане з відсутністю експертної оцінки стану дерев перед обрізкою та нечіткістю дій щодо подальшої їхньої експлуатації. Більшість дерев не потребувало такого радикального обрізування, коли залишається лише стовбур. Для того, щоб уникнути настільки травматичного впливу на рослини, достатньо було б використати середній або слабкий тип обрізування.

Серед контрольних рослин не виявлено всохлих рослин, в той час як 3,9 % радикально обрізаних рослин загинули. Найбільша кількість обрізаних та необрізаних дерев знаходиться в категорії «пошкоджене (ослаблене)» (2 бали) та «сильно пошкоджені» (3 бали) – відповідно в середньому 36,9 та 37,5 %. Дерев, стан яких можна віднести до четвертого балу

життєвості (дерево, що відмирає – крона зруйнована, густина менше 15–20 % більше 70 % гілок, у тому числі верхньої половини сухі або усихаючі) серед контрольних екземплярів було майже вдвічі менше.

Отже, радикальне обрізування негативно вплинуло на життєвий стан дерев, у них з'явився сухостій і збільшилась кількість відмираючих рослин.

Головні висновки. Проведене дослідження дало можливість розглянути та проаналізувати життєвість міських дерев роду *Tilia L.*, що ростуть вздовж основних автодоріг м. Умань. Аналізуючи результати досліджень життєвості міських насаджень, можна зробити висновок, що найбільший відсоток дерев, що ростуть в комунаційно-стрічкових ландшафтах м. Умань, відповідає 2–3 балам. В більшості ці дерева є ослабленими. До

дерев у відмінному стані (1 бал) віднесено в середньому 23,2 % від всіх досліджуваних дерев.

Радикальне обрізування, проведено в зимовий період 2023 року, негативно вплинуло на життєвий стан дерев, у них з'явився сухостій і збільшилась кількість відмираючих рослин. 3,9 % радикально обрізаних рослин загинули. Найбільша кількість обрізаних та необрізаних дерев знаходиться в категорії «пошкоджене (ослаблене)» (2 бали) та «сильно пошкоджені» (3 бали) – відповідно в середньому 36,9 та 37,5 %.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати досліджень, викладені в даній статті, дозволяють зробити висновок про низький рівень життєвого стану більшості досліджуваних дерев. Представлені дослідження можна використувати при розробці концепції формування системи зелених насаджень міста і з метою обґрунтування практичних рекомендацій, які можуть бути використанні при реалізації локальної екологічної політики у м. Умань.

Література

1. Andersson-Sköld Y., Thorsson S., Rayner D., Lindberg F., Janhäll S., Jonsson A. An integrated method for assessing climate-related risks and adaptation alternatives in urban areas. *Climate Risk Manage.* 2015. 7. P. 31–50.
2. Roy S., Byrne J., Pickering C. A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones. *Urban Forestry Urban Greening.* 2012. 11 (4). P. 351–363.
3. Mullaney J., Lucke T., Trueman S. A review of benefits and challenges in growing street trees in paved urban environments. *Landsc Urban Plan.* 2015. 134. P. 157–166.
4. May P., Livesley S., Shears I. Managing and monitoring tree health and soil water status during extreme drought in Melbourne. *Victoria Arboric Urban For.* 2013. 39(3). P. 136–145.
5. Fini A., Frangi P., Faoro M., Piatti R., Amoroso G., Ferrini F. Effects of different pruning methods on an urban tree species: A four-year-experiment scaling down from the whole tree to the chloroplasts. *Urban Forestry & Urban Greening.* 2015. Volume 14, Issue 3. P. 664–674.
6. Speak Andrew Francis, Salbitano Fabio. The impact of pruning and mortality on urban tree canopy volume. *Forest Ecology and Management.* 2023. Volume 79. P. 127–140.
7. Матковська С. І., Світельський М. М., Ішук О. В. Екологічна роль глибокої омолоджувальної обрізки представників роду *Populus* в зелених насадженнях міста Житомир. *Науковий вісник НЛТУ України.* 2018. т. 28, № 8. С. 83–86.
8. Maurin Vincent, Des Rochers Annie. Physiological and growth responses to pruning season and intensity of hybrid poplar. *Forest Ecology and Management.* 2013. Volume 304. P. 399–406.
9. Cuiping W., Zhiming L. Urban air quality in streets and road planting patterns. *Advanced Materials Research.* 2012. Vol. 374–377. P. 1132–1135.
10. Glibovytska N.I. Urboecosystem ecological status assessment by the morphological parameters of *Picea abies* L. (on the example of Ivano-Frankivsk city). *Biologichni systemy.* 2022. 14. P. 166–171.
11. Johnstone D., Moore G., Tausz M. The measurement of plant vitality in landscape trees. *Arboricultural Journal.* 2013. Vol.35. P. 18–27.
12. Roman L., Scatena F. Street tree survival rates: meta-analysis of previous studies and application to a field survey in Philadelphia, PA, USA. *Urban For Urban Green.* 2011. 10(4). P. 269–274.
13. Ordóñez C., Duinker P. Ecological integrity in urban forests. *Urban Ecosystems.* 2012. Vol.15. P.863–877.
14. Малюга В. М. Оціночний показник нормальності росту захисних насаджень та їхньої біологічної стійкості. *Науковий вісник Нац. аграрн. ун-ту. Лісівництво.* 2001. Вип. 39. С. 201–209.
15. Осіпов М. Ю., Величко Ю. А., Масловата С. А., Паливода Н. Л. Топінг як явище в Українських реаліях: очевидні помилки під час його виконання та їх шкідливі наслідки для зелених насаджень. *Науковий вісник НЛТУ України.* 2020. 30(5). С. 9–14. <https://doi.org/10.36930/40300501>

УДК 582.916.31.630

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.1.29>

ТАКСОНОМІЧНИЙ СКЛАД І ВІТАЛІТЕТ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН В УМОВАХ УРБАНІЗОВАНОГО СЕРЕДОВИЩА (НА ПРИКЛАДІ КИЄВА)

Горєлов О.М.

Національний ботанічний сад імені М.М. Гришка Національної академії наук України
вул. Садово-ботанічна, 1, 01014, м. Київ
forestgorelov@gmail.com

Зелені насадження міста є невід'ємним компонентом урбоєкосистеми. Вплив на них екологічних чинників в значній мірі визначається техногенним забрудненням середовища. Ефективне функціонування та довговічність міських насаджень можливо при відповідності біолого-екологічних властивостей рослин умовам місцезростань. Існуюча система моніторингу стану атмосферного повітря у Києві дозволяє визначити склад і концентрацію основних поллютантів, зонувати територію міста за рівнем техногенного забруднення. Метою досліджень є встановлення таксономічного складу та життєвості (віталітету) деревних рослин в умовах різних рівнів забруднення атмосферного повітря, визначення відповідності між цими показниками. Польові спостереження проводилися в місцях поряд зі стаціонарними пунктами контролю якості повітря, для яких був визначений індекс забруднення атмосфери. Інтегральний показник життєвості визначався згідно розробленою нами методики, яка ґрунтується на комплексі морфологічних, репродуктивних та фенологічних ознак. Аналіз отриманих результатів показує чітку обернену залежність між рівнем забруднення та станом рослин – зростання рівня забруднення знижує частку рослин з високим та відповідно збільшує процентний склад рослин з низьким віталітетом. Чіткої відповідності між таксономічним складом та рівнем забруднення не виявлено. Встановлено перелік видів деревних рослин, які є перспективними об'єктами біоіндикаційних досліджень. Дослідження показали дуже обмежений асортимент шпилькових. За умов низького та помірного рівнів забруднення збагачення таксономічного складу цих рослин у міських насадженнях дозволить повніше використати їх екологічний, естетичний і фітосанітарний потенціал. *Ключові слова:* міське середовище, техногенне забруднення, моніторинг, деревні рослини, таксономічний склад, віталітет, біоіндикаційні дослідження.

Taxonomic composition and vitality of woody plants in the conditions of the urbanized environment (on the example of Kyiv). Horielov O.

Woody plants of the city are an important component of the urban ecosystem. The influence of environmental factors on them is largely determined by technogenic pollution of the environment. Effective functioning and longevity of urban plantings is possible if the biological and ecological properties of plants match the conditions of local growth. The existing system of monitoring the state of the atmospheric air in Kyiv allows to determine the composition and concentration of the main pollutants, to zone the territory of the city according to the level of technogenic pollution. The purpose of the research is to establish the taxonomic composition and vitality of woody plants under conditions of different levels of atmospheric air pollution, to determine the correspondence between these indicators. Field observations were conducted in places near stationary air quality control points, for which the air pollution index was determined. The integral indicator of vitality was determined according to the methodology developed by us, which is based on a complex of morphological, reproductive and phenological signs. The analysis of the obtained results shows a clear inverse relationship between the level of pollution and the condition of the plants - an increase in the level of pollution reduces the proportion of plants with high and, accordingly, increases the percentage of plants with low vitality. A clear correlation between the taxonomic composition and the level of pollution was not found. A list of woody plant species, which are promising objects of bioindicative research, has been established. Research has shown a very limited assortment of studs. Under conditions of low and moderate levels of pollution, the enrichment of the taxonomic composition of these plants in urban plantations will make it possible to fully use their ecological, aesthetic and phytosanitary potential. *Key words:* urban environment, technogenic pollution, woody plants, monitoring, taxonomic composition, vitality, bioindicative research.

Постановка проблеми. Зелені насадження є невід'ємним компонентом міського середовища. Навряд чи сучасне місто може бути комфортним для проживання без достатнього насичення рослинами. Крім суто екологічних функцій (збереження та збагачення біорізноманіття урбоєкосистем, поглинання шкідливих домішок, осадження пилу, стабілізація клімату, насичення повітря фітонцидами та корисними іонами, зменшення шумового навантаження, зниження рівня шкідливого ультрафіолетового випромінювання тощо), міські зелені насадження мають велике соціальне значення. Вони є зонами

рекреації, фізичного та психологічного відновлення (що особливо актуально в умовах військового стану), естетичного задоволення та виховання, сприяють поверненню та збереженню популярності Києва як одного з найзеленіших міст Європи.

Актуальність дослідження. Моніторинг стану зелених насаджень міста є однією з пріоритетних задач сучасної урбаністики. Крім суто практичних завдань (підтримка належного фітосанітарного стану насаджень, використання традиційних і впровадження новітніх технологій створення та догляду, розширення та поліпшення асортименту тощо), все

більшій актуальності набувають наукові основи міського озеленення. До останніх, зокрема, відносяться моніторинг та аналіз екологічного стану міського середовища, зонування території в залежності від специфіки та рівня техногенного навантаження, оптимізація таксономічної структури насаджень, розробка та впровадження технологій біоіндикаційних досліджень. Отримання та впровадження результатів таких досліджень дозволить значно підвищити екологічну, економічну та соціальну ефективність зелених насаджень міста.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими і практичними завданнями. Стаття підготовлена за результатами розділу «Вивчення еколого-морфологічних особливостей деревних рослин найпоширеніших видів та культиварів в умовах урбанізованого середовища (на прикладі м. Києва)» відомчої теми «Еколого-біологічні основи збагачення, відновлення та збереження колекційних, міських і паркових культур фітоценозів в Україні в умовах кліматичних та антропогенних змін», яка виконувалася у відділі дендрології Національного ботанічного саду імені М.М. Гришка НАН України», номер держреєстрації 0115U000708.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Функціонування зелених насаджень міста як важливої складової міської екосистеми завжди є предметом досліджень урбоекології [9, 13]. Актуальними напрямками таких досліджень є вивчення та моніторинг екологічних чинників міського середовища, їх вплив на урбоекосистему та зелені насадження як її вагомий компонент, оптимізація видового складу рослин у місті. Вивченню окремих родів деревних рослин в умовах міського середовища присвячена низка робіт [1, 6 та ін.]. Біоіндикаційні дослідження дозволяють виявити маркерні морфологічні, анатомічні та фізіологічні ознаки деревних рослин, які можуть слугувати показниками техногенного навантаження [2, 10]. Видовий склад, просторова та онтогенетична структура, фітосанітарний стан, особливості мікроклімату зелених насаджень схилів Києва була предметом досліджень Н.М. Черномаз [14]. Зокрема, у цій роботі території схилів розглядаються як значний резерв міста, використання якого дозволило б значно збільшити площі зелених насаджень, підвищити їх екологічний, соціальний та меліоративний ефект.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Незважаючи на досить вагомий перелік досліджень насаджень міста, низка питань не втрачає своєї актуальності. Так, подальшого вивчення потребує визначення рівнів та специфіки забруднень міського середовища, розробка комплексної оцінки стану окремих видів деревних рослин, вибору об'єктів біоіндикаційних досліджень, що було метою наших досліджень.

Мета даної роботи – встановлення таксономічного складу та оцінка життєвості деревних рослин

в умовах різних рівнів забруднення атмосферного повітря мегаполісу на прикладі м. Києва.

Наукова новизна. Вперше в умовах різних рівнів антропогенного забруднення Києва визначено таксономічний склад та отримано інтегральну оцінку життєвого стану деревних рослин за комплексом морфологічних, репродуктивних та фенологічних ознак, визначено перспективні види для біоіндикаційних досліджень.

Матеріали та методи досліджень. Об'єктом досліджень були деревні рослини за умов різних рівнів антропогенного навантаження Києва як модельної екосистеми мегаполісу. Для фіксації складу та концентрації поллютантів і розрахунку індексу забруднення атмосфери (ІЗА) використано дані Центральної геофізичної обсерваторії (ЦГО) [12]. Стан деревних рослин визначали за розробленою нами комплексною оцінкою життєвості [3]. Матеріали польових спостережень зібрано шляхом маршрутною зйомки, об'єкти досліджень знаходилися не далі як 300 м від стаціонарних постів ЦГО. Назви рослин наведено за [6–8]. Обробку отриманих результатів проводили за допомогою програми Excel.

Виклад основного матеріалу. За даними Центральної геофізичної обсерваторії [12] на 16 стаціонарних постах, схема розміщення яких представлена на рис. 1, визначалися концентрації 20 основних поллютантів атмосферного повітря, по яким розраховувався індекс забруднення. Встановлено, що основними техногенними забруднювачами Києва є діоксид сірки, оксид вуглецю і діоксид азоту. З специфічних домішок фіксувались сірководень, фенол, фтористий водень, хлористий водень, аміак, формальдегід, 8 важких металів та ін. Їх склад та концентрація визначалися в залежності від викидів шкідливих речовин в атмосферу підприємствами та автотранспортом, які розташовані в зоні поста спостережень. Оцінка стану забруднення атмосферного повітря проводилась шляхом порівняння з відповідними середньодобовими гранично допустимими концентраціями (ГДКс.д.) речовин у повітрі населених міст.

Для оцінки ступеня забруднення повітряного басейну в останні роки використовується санітарно-гігієнічний показник – сумарний індекс забруднення атмосфери (ІЗА). Цей індекс з застосовується для порівняльної оцінки забрудненості окремих районів міста, окремо взятих міст з встановленням їх пріоритетності за рівнем забруднення і тенденцій забрудненості. ІЗА є відносний показник, величина якого залежить від концентрації речовини в аналізованій точці, його середньодобової ГДКс.д., кількості речовин, що забруднюють атмосферу, та класу його токсичності. Він розраховується на основі даних стаціонарних спостережень з урахуванням всієї номенклатури шкідливих речовин і визначаються як сумарна величина від по співвідношень фактичної концентрації забруднювача [12].



Рис. 1. Розміщення стаціонарних постів спостереження за забрудненням атмосферного повітря м. Києва

В залежності від значень цього індексу виділяють такі категорії:

- $IЗА < 5$ відповідає низькому рівню забруднення атмосфери;
- $5 < IЗА < 7$ – підвищеному рівню забруднення;
- $7 < IЗА < 14$ – високому;
- $IЗА > 14$ – дуже високому.

Значення $IЗА$ за вегетаційний період спостережень наведено у табл. 1. Низький рівень ($IЗА 3,9 \pm 0,4$) фіксувався лише на пості №5 (пр. Науки, 37), підвищений на пості №4 (вул. Лазо, 2). Високий рівень характерний для більшості постів спостережень. Найзабрудненішими виявилися території в районі постів №№ 7 (пл. Бессарабська) та 20 (пл. Деміївська), на яких в $IЗА$ був близьким до дуже високого, а в окремі місяці відповідав цьому рівню забруднення атмосфери. Наведені дані в цілому вказують на високий рівень забруднення повітряного середовища Києва протягом періоду спостережень та є характерним для більш тривалого терміну за минулі роки.

Якісний аналіз поліютантів показує, що основними серед них є діоксин азоту (5,2–6,7 ГДКс.д.), формальдегіду (5,1–6,5 ГДКс.д.), оксиду азоту (до 2,0 ГДКс.д.), фтористого водню (до 1,4 ГДКс.д.), тобто ті речовини, які відносяться до особливо небезпечного 2 та 3 класів токсичності, притаманні викидам промислових підприємств і автотранспорту.

Ці забруднювачі мають значний фітотоксичний ефект, а самі рослини, особливо багаторічні, є пер-

спективним об'єктом біоіндикаційних досліджень. Велика площа поверхні контакту рослини з оточуючим середовищем, інтенсивний газобмін з атмосферним повітрям, здатність накопичувати значні об'єми токсичних речовин, чіткий прояв морфологічних, фізіологічних та біохімічних реакцій як на дію окремих, так і комплекс поліютантів, дозволяє отримати важливу інтегральну оцінку якості довкілля. Крім того, оцінка стану зелених насаджень дає змогу оптимізувати таксономічний склад дендрофлори міста з урахуванням локальних умов, підвищити екологічний, декоративний, соціальний та економічний ефект зелених насаджень міста.

Існуючі шкали життєвості деревних рослин не завжди дозволяють отримати комплексну оцінку, оскільки враховують лише окремі (як правило, морфологічні) параметри або потребують залучення лабораторних методів, що неможливо робити при безпосередньому обстеженні рослин. Оскільки у польових умовах багато критеріїв життєвості рослин визначаються візуально, важливо мати такий набір показників, які б легко діагностувалися окомірно (або, принаймні, не потребували кропітких лабораторних досліджень) та були найбільш інформативними.

Стан та параметри надземної частини, мабуть, найчастіше використовується для оцінки життєвості деревних рослин [2]. Морфоструктурні характеристики цілої рослини (габітус, ступінь розвитку пагонової та листкової системи, стан скелетних гілок та

Таблиця 1

Значення інтегрального індексу забруднення атмосфери на стаціонарних постах спостережень Кісва

| Місяць | Номери стаціонарних постів спостережень | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|---|----------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 11 | 15 | 17 | 20 | 21 |
| Квітень | 9,5 | 9,0 | 6,8 | 4,8 | 2,1 | 7,8 | 12,5 | 8,9 | 9,0 | 9,2 | 6,0 | 10,0 | 10,4 | 8,0 |
| Травень | 11,2 | 11,1 | 7,3 | 5,2 | 3,4 | 7,8 | 12,6 | 9,4 | 9,8 | 11,8 | 7,3 | 10,7 | 11,9 | 9,9 |
| Червень | 12,0 | 12,0 | 10,1 | 6,1 | 3,9 | 7,7 | 13,5 | 12,0 | 10,8 | 13,4 | 8,2 | 12,1 | 13,8 | 12,0 |
| Липень | 9,9 | 10,1 | 8,0 | 5,5 | 3,8 | 9,8 | 12,3 | 8,2 | 10,1 | 11,1 | 5,6 | 12,0 | 13,5 | 10,0 |
| Серпень | 12,7 | 13,8 | 12,5 | 7,5 | 5,0 | 13,9 | 16,0 | 12,5 | 13,0 | 14,0 | 8,1 | 13,9 | 15,7 | 13,9 |
| Вересень | 13,8 | 14,2 | 12,0 | 7,6 | 5,1 | 13,9 | 16,1 | 13,0 | 13,5 | 14,1 | 9,0 | 13,8 | 17,0 | 13,9 |
| Жовтень | 9,9 | 10,4 | 8,3 | 5,9 | 3,9 | 9,7 | 12,5 | 10,0 | 10,5 | 11,8 | 8,5 | 12,7 | 14,4 | 12,3 |
| Середні значення | 11,9±0,6 | 11,5±0,7 | 9,3±0,7 | 6,1±0,4 | 3,9±0,4 | 10,1±1,0 | 13,4±0,6 | 10,6±0,7 | 11,0±0,7 | 12,2±0,7 | 7,5±0,5 | 12,2±0,6 | 13,8±0,8 | 11,4±0,8 |

стовбура як каркасної основи рослини) дають важливу інформацію про її віталітет. Деградація просторової структури, яка проявляється у зниженні пагоноутворюючої здатності, відмиранні окремих скелетних гілок або цілих частин крони, погіршенні стану стовбурної частини, які відносяться до конструктивного модуля, є вагомим критерієм життєвості за відносно тривалий проміжок часу. Поточну життєвість за морфологічними параметрами доцільно визначати за станом конструктивного модуля, який включає листову систему та пагони поточного приросту.

Важливим показником віталітету рослин є їх репродуктивна здатність. Так, за прийнятим у геоботаніці визначенням життєвості в залежності від цього показника рослини класифікують за окремими категоріями [4]. Відповідні шкали з бальною оцінкою репродуктивної здатності застосовуються і при визначенні успішності інтродукції рослин. Досить зручною є шкала В.Г. Каппера в модифікації О.А. Калініченка, яка ґрунтується на візуальному визначенні рясності плодоношення [11]. Для рослин, які не досягли репродуктивного віку або розмножуються лише вегетативно (наприклад, *Populus bolleana* Lauche), віталітет визначається виключно за морфологічними та фенологічними ознаками.

Своєчасність і тривалість фенофаз, повнота проходження річного циклу розвитку є важливими діагностичними показниками поточної життєвості рослини, які закріплені генетично та регулюється зовнішніми умовами, є суттєвим критерієм адаптаційної здатності на рівні цілісного організму.

Загальний стан життєвості рослини в цілому досить легко візуально оцінити за трьома ступенями – високим, середнім та низьким [3]. Але таке визначення не дозволяє отримати деталізовану кількісну оцінку, не враховує комплексність прояву деяких важливих діагностичних ознак, що дуже знижує її прогностичне значення та утруднює статистичний аналіз. З цією метою доцільно розділити кожний ступінь життєвості на дві градації за визначенням класифікаційних ознак та ступенем їх прояву. Ми пропонуємо наступну інтегральну шкалу оцінки

життєвості деревних рослин за комплексом морфологічних, репродуктивних та фенологічних ознак:

6 балів – відхилень у розвитку та стані надземної частини не виявлено; рослина повністю та своєчасно проходить річний цикл розвитку, зберігаючи нормальний приріст пагонів та розвиток листової системи, має високу репродуктивну здатність (рясність цвітіння та/або утворення насіння до 100%);

5 балів – суттєвих відхилень у розвитку та стані фундаментального і конструктивного модуля не виявлено; рослина повністю та своєчасно проходить річний цикл розвитку, річний приріст окремих пагонів, облиствіння та рясність цвітіння та/або утворення насіння знижується несуттєво (до чверті);

4 бали – рослина своєчасно проходить річний цикл розвитку; річний приріст пагонів, облиствіння крони, рясність цвітіння та/або утворення насіння знижується до половини;

3 бали – рослина проходить річний цикл розвитку, але настання та тривалість окремих фенофаз має відхилення від норми; облиствіння крони, річний приріст пагонів, рясність цвітіння та/або утворення насіння знижується до чверті; спостерігається всихання окремих пагонів та поодиноких скелетних гілок;

2 бали – рослина не повністю проходить річний цикл розвитку з суттєвим відхиленням від норми настання та тривалості окремих фенофаз; приріст пагонів не перевищує чверті від норми, спостерігається всихання до половини скелетних гілок та окремі пошкодження стовбура; цвітіння та/або утворення насіння слабке або лише поодинокі;

1 бал – рослина не повністю проходить річний цикл розвитку з суттєвим відхиленням від норми настання та тривалості окремих фенофаз; життєздатними залишаються лише окремі пагони з мінімальним приростом або без нього, більше половини скелетних гілок всихають, мають місце значні пошкодження стовбура; цвітіння та плодоношення відсутнє.

Ураження хворобами, механічні та пошкодження, негативний вплив екстремальних погодних чинників знижують життєвість рослини незалежно від її онтогенетичного стану, і за ступенем прояву цих ознак життєвість рослин може оцінюватися низьким балом.

Для визначення видового складу та стану деревних рослин згідно наведеної класифікації, нами були проведені маршрутні спостереження безпосередньо біля місць (не далі як за 300 м) розміщення постів. Результати обстежень наведено у таблицях 2–5.

Таблиця 2

Видовий склад, життєвість та кількість обстежених деревних рослин в умовах низького рівня забруднення

| Вид | Життєвість, бали | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|----|----|---|---|---|
| | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| <i>Acer negundo</i> L. | 16 | 7 | | | | |
| <i>Acer platanoides</i> L. | | 3 | 1 | | | |
| <i>Acer saccharum</i> Marsh. | | | 1 | | | |
| <i>Aesculus hippocastanum</i> L. | 49 | 25 | | | | |
| <i>Armeniaca vulgaris</i> Mill. | | 1 | 2 | 1 | | |
| <i>Betula pendula</i> Roeth. | | 2 | 1 | 1 | | |
| <i>Cerasus vulgaris</i> Mill. | | | 5 | | | |
| <i>Forsythia</i> sp. | | 3 | | | | |
| <i>Fraxinus excelsior</i> L. | 5 | 5 | | | | |
| <i>Juglans regia</i> L. | | | 4 | 2 | | |
| <i>Malus domestica</i> L. | | | 16 | 4 | | |
| <i>Morus alba</i> L. | 2 | 1 | | | | |
| <i>Philadelphus coronarius</i> L. | 1 | | | | | |
| <i>Populus alba</i> L. | 1 | | | | | |
| <i>Populus nigrica</i> L. | 2 | 2 | 1 | | | |
| <i>Populus pyramidalis</i> Roz. | 1 | 1 | 3 | | | |
| <i>Pyrus communis</i> L. | | 2 | 2 | | | |
| <i>Prunus</i> sp. | | | 6 | 4 | | |
| <i>Quercus robur</i> L. | 2 | | | | | |
| <i>Robinia pseudoacacia</i> L. | | | 2 | | | |
| <i>Rosa canina</i> L. | 4 | | | | | |
| <i>Sambucus nigra</i> L. | 6 | 9 | | | | |
| <i>Spirea</i> sp. | | 4 | | | | |
| <i>Syringa vulgaris</i> L. | | 5 | | | | |
| <i>Thuja occidentalis</i> L. | | 2 | | | | |
| <i>Tilia cordata</i> Mill. | 5 | 5 | | | | |
| <i>Ulmus glabra</i> Hubs. | | 4 | | | | |

Діаграма на рис. 2 дозволяє наглядно оцінити процентний склад різних категорій життєвості рослин в залежності від рівня забруднення атмосферного повітря.

Таблиця 3

Видовий склад, життєвість та кількість обстежених деревних рослин в умовах підвищеного рівня забруднення

| Вид | Життєвість, бали | | | | | |
|---------------------------------------|------------------|----|----|---|----|---|
| | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| <i>Acer platanoides</i> L. | 3 | 3 | 4 | 2 | | |
| <i>Acer saccharum</i> Marsh. | | 5 | 10 | 6 | 2 | |
| <i>Armeniaca vulgaris</i> Mill. | | 1 | 2 | 1 | | |
| <i>Betula pendula</i> Roth. | | 5 | 2 | | 1 | |
| <i>Catalpa bignonioides</i> Walt. | | | 4 | 6 | | |
| <i>Fraxinus excelsior</i> | 5 | 2 | | | | |
| <i>Juglans regia</i> L. | 7 | 8 | 2 | 2 | | |
| <i>Ligustrum</i> sp. | | | 45 | 5 | 17 | 3 |
| <i>Malus</i> sp. | | | 4 | 2 | | |
| <i>Picea abies</i> Karst. | 1 | 5 | 5 | 2 | 9 | |
| <i>Populus nigra</i> L. | | 1 | 1 | | | |
| <i>Populus pyramidalis</i> Roz. | | 4 | 6 | 6 | 2 | |
| <i>Pyrus communis</i> L. | | 1 | 1 | | | |
| <i>Quercus robur</i> L. | | | | 1 | | |
| <i>Quercus rubra</i> | | 1 | | | | |
| <i>Robinia pseudoacacia</i> L. | | | 5 | 5 | | |
| <i>Rosa canina</i> L. | | 1 | 2 | | | |
| <i>Salix alba</i> 'Vittelina pendula' | | 4 | | | | |
| <i>Sorbus aucuparia</i> L. | | 2 | | | | |
| <i>Spirea</i> sp. | | 5 | 5 | 4 | | |
| <i>Symphoricarpos</i> sp. | 3 | | 5 | 1 | | |
| <i>Syringa vulgaris</i> L. | | 2 | 3 | | | |
| <i>Tilia cordata</i> Mill. | 8 | 15 | 15 | 9 | 6 | |
| <i>Thuja occidentalis</i> L. | | 3 | 4 | 1 | | |
| <i>Ulmus glabra</i> L. | | 9 | 6 | 1 | | |

Аналіз цих даних показує чітку залежність між рівнем забруднення та станом рослин. Так, за низького забруднення високий рівень життєвості (5–6 балів) мають 75,8% рослин, помірний рівень (3–4 бали) 24,2%, рослин з низькою життєвістю не спостерігався. В умовах підвищеного забруднення частка рослин з високим рівнем життєвості знижується до 31,7%, у той час як зростає кількість рослин помірної (56,6%) та низького рівня життєвості (11,7%). При високому рівні забруднення частка рослин з високим віталітетом становить лише 28,8%, з помірним зростає до 58,2% та низьким до 8,7%. В умовах дуже високого забруднення рослин з життєвістю 6 балів не спостерігалося, життєвістю 5 балів 22,6%, рослини помірної життєвості (3–4 бали) становили 59%, а частка рослин низької життєвості (1–2 бали) зростає до 18,4%.

Таблиця 4

**Видовий склад, життєвість та кількість
обстежених деревних рослин
в умовах високого рівня забруднення**

| Вид | Життєвість, бали | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|----|----|----|---|---|
| | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| <i>Acer negundo</i> L. | | 9 | 7 | 35 | 6 | |
| <i>Acer platanoides</i> L. | 1 | 5 | 9 | 14 | | |
| <i>Acer saccharum</i> Marsh. | | 6 | 27 | 11 | 4 | 6 |
| <i>Aesculus hippocastanum</i> L. | 1 | 17 | 16 | 10 | 3 | 1 |
| <i>Armeniaca vulgaris</i> Mill. | | | 9 | 5 | 2 | |
| <i>Betula pendula</i> Roeth. | | 14 | 9 | 1 | 4 | 2 |
| <i>Buxus sempervirens</i> L. | 2 | 12 | | | | |
| <i>Catalpa bignonioides</i> Walt. | | | | | 1 | |
| <i>Cerasus vulgaris</i> Mill. | | 14 | 13 | 30 | 7 | |
| <i>Cotinus coggigria</i> Scop. | 2 | | | | | |
| <i>Crataegus monogyna</i> L. | | | 3 | 3 | | |
| <i>Deutzia</i> sp. | | 1 | | | | |
| <i>Eleagnus angustifolia</i> L. | | | 3 | 2 | 1 | |
| <i>Forsythia</i> sp. | | 2 | 1 | | | |
| <i>Fraxinus excelsior</i> L. | 1 | 6 | 2 | 3 | | |
| <i>Hibiscus</i> sp. | 1 | | | | | |
| <i>Juglans regia</i> L. | 2 | 18 | 2 | 2 | | |
| <i>Juniperus sabina</i> L. | 2 | 12 | 2 | | | |
| <i>Ligustrum</i> sp. | | 11 | 19 | 9 | 9 | |
| <i>Malus domestica</i> L. | | | 5 | 3 | 2 | |
| <i>Morus alba</i> L. | | 2 | | | | |
| <i>Philadelphus coronarius</i> L. | | | 4 | 2 | 2 | |
| <i>Picea abies</i> Karst. | | 2 | 8 | | | |
| <i>Picea pungens</i> Engelm. | | | | | 1 | |
| <i>Pinus silvestris</i> L. | | 1 | 2 | 2 | | |
| <i>Populus alba</i> L. | | 1 | 1 | 2 | | |
| <i>Populus nigrica</i> L. | | 1 | 1 | | | |
| <i>Populus pyramidalis</i> Roz. | | 8 | 25 | 27 | 2 | 3 |
| <i>Prunus</i> sp. | | 1 | 4 | | | |
| <i>Pyrus communis</i> L. | | 1 | 1 | | | |
| <i>Quercus robur</i> L. | | | 3 | 3 | | |
| <i>Robinia pseudoacacia</i> L. | | 4 | 21 | 15 | 1 | |
| <i>Robinia viscosa</i> Vent. | | | 4 | 1 | | |
| <i>Rosa canina</i> L. | 2 | 2 | 1 | 2 | | |
| <i>Simphoricarpus</i> sp. | | 5 | | | | |
| <i>Sorbus aucuparia</i> L. | | 1 | 1 | | | |
| <i>Spirea</i> sp. | 3 | 19 | 13 | 8 | | |
| <i>Syringa vulgaris</i> L. | | 11 | 29 | 12 | | |
| <i>Thuja occidentalis</i> L. | | 21 | 5 | | | 1 |
| <i>Tilia cordata</i> Mill. | 14 | 16 | 15 | 23 | 7 | 2 |
| <i>Ulmus glabra</i> | | 1 | 3 | | | |

Таблиця 5

**Видовий склад, життєвість та кількість
обстежених деревних рослин
в умовах дуже високого рівня забруднення**

| Вид | Життєвість, бали | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|---|----|----|----|----|
| | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| <i>Acer negundo</i> L. | | 3 | | 2 | | |
| <i>Acer platanoides</i> L. | | | 4 | | | |
| <i>Acer saccharum</i> Marsh. | | | 5 | 8 | | |
| <i>Aesculus hippocastanum</i> L. | | 2 | 3 | 6 | | 4 |
| <i>Armeniaca vulgaris</i> Mill. | | | 3 | 6 | | |
| <i>Betula pendula</i> Roth. | | 1 | 10 | 4 | | |
| <i>Catalpa bignonioides</i> Walt. | | 4 | | | | |
| <i>Juglans regia</i> L. | | 3 | 1 | | | |
| <i>Juniperus sabina</i> L. | | 2 | 2 | 10 | | 10 |
| <i>Forsythia</i> sp. | | 8 | | | | |
| <i>Malus domestica</i> L. | | | | 7 | 2 | |
| <i>Morus alba</i> L. | | 2 | | | | |
| <i>Picea abies</i> Karst. | | | 3 | 2 | 2 | |
| <i>Populus pyramidalis</i> Roz. | | 2 | 9 | 10 | 10 | |
| <i>Populus simonii</i> L. | | 1 | 1 | 7 | 1 | |
| <i>Quercus robur</i> L. | | 1 | | | | |
| <i>Quercus rubra</i> L. | | 6 | 4 | | | |
| <i>Robinia pseudoacacia</i> L. | | 3 | 1 | | | |
| <i>Salix alba</i> L. | | | 1 | | | |
| <i>Spirea</i> sp. | | 4 | 4 | 1 | | |
| <i>Syringa vulgaris</i> L. | | 2 | 3 | 5 | | |
| <i>Thuja occidentalis</i> L. | | 4 | 2 | | 2 | |
| <i>Tilia cordata</i> Mill. | | | 3 | 11 | 8 | 4 |

Аналіз таксономічного складу не виявив чіткої залежності між флористичним різноманіттям та рівнем забруднення, оскільки асортимент зелених насаджень міста доволіно традиційно визначається організаціями Київзеленбуду без урахування стійкості рослин. Досить високу частоту трапляння на всіх пунктах спостереження мають тополя пірамідальна, клен звичайний, гіркокаштан звичайний, липа серцелиста, робінія псевдоакація та клен американський. Широке розповсюдження та залежність життєвості цих рослин від рівня забруднення роблять їх перспективними як індикаторні види для контролю стану міського середовища. Особливо важливими при подальших моніторингових дослідженнях ми вважаємо більш детальне вивчення морфологічних, фенологічних та еколого-фізіологічних особливостей рослин цих видів при різних рівнях забруднення.

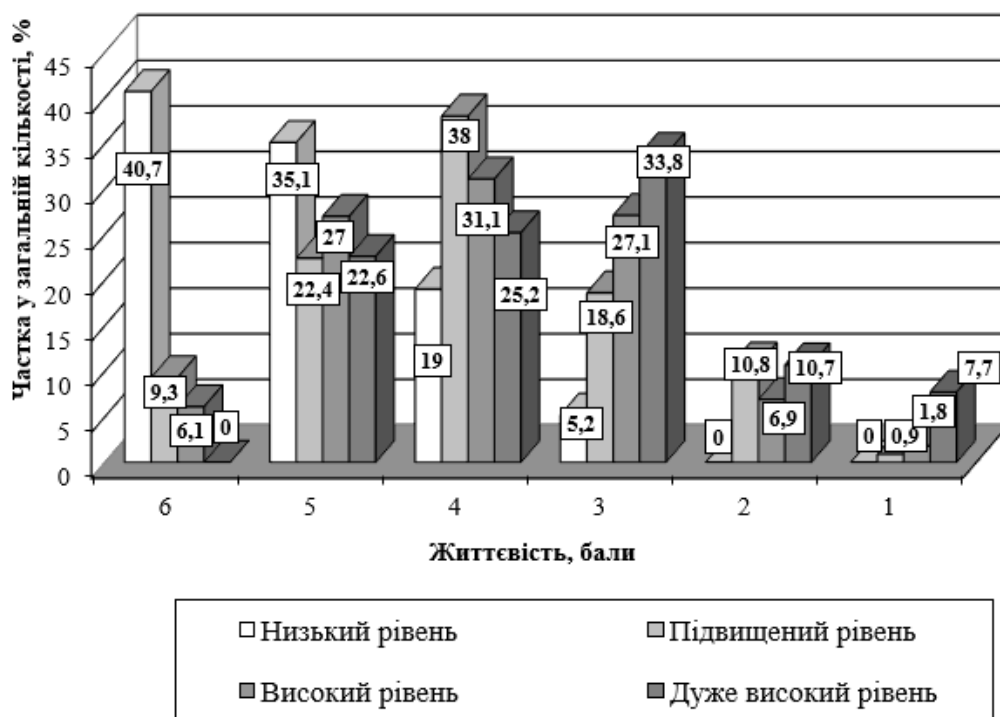


Рис. 2. Розподіл деревних рослин за життєвістю в залежності від рівня забруднення атмосферного повітря у пунктах спостереження

Слід зазначити обмежений видовий склад та порівняно малу кількість шпилькових. Ми пов'язуємо це з порівняно низькою їх стійкістю, недостатнім знанням екологічних особливостей та увагою при доборі асортименту (принаймні для тих видів, які наразі використовуються у міських насадженнях). Пошук та впровадження стійких видів та форм цих рослин, урахування локальних екологічних умов їх вирощування, своєчасний та постійний догляд за ними дозволять збагатити таксономічний склад насаджень міста цими декоративними рослинами.

Основні висновки. Діюча система контролю стану атмосферного повітря у Києві дозволяє зонувати територію міста за рівнями забруднення, виявити особливості складу та динаміки надходження поллютантів в оточуюче середовище міста. Нами розроблено та апробовано інтегральну шкалу оцінки життєвості деревних рослин за морфологіч-

ними, репродуктивними та фенологічними ознаками. На пробних площах визначено таксономічний та віталітетний стан деревних рослин за умов різних рівнів забруднення атмосферного повітря. Якщо існуючий видовий склад зелених насаджень не залежить від цих екологічних чинників, то віталітет має таку чітку залежність – збільшення рівня забруднення суттєво знижує життєвість рослин. Визначено перелік видів деревних рослин Києва, які за поширенням та біолого-екологічними особливостями є перспективними для біоіндикаційних досліджень міської екосистеми. На пробних площах виявлено лише три види голонасінних (ялини звичайна та колюча, ялівець козачий). За умов низького та помірного рівнів забруднення збагачення таксономічного складу шпилькових рослин у міських насадженнях дозволить повніше використати їх екологічний, естетичний і рекреаційний потенціал.

Література

1. Денисюк Н.В. Середовищетвірна ефективність зелених насаджень загального користування міста Рівне: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16. Рівне, 2021. 327 с.
2. Федоровський В.Д., Терлига Н.С., Юхименко Ю.С. та ін. Видовий склад та життєвий стан деревно-чагарникової рослинності парків та скверів м. Кривий Ріг. *Інтродукція рослин*. 2013. 3. С. 73–79.
3. Бойко Т.О. Фітосанітарний стан зелених насаджень м. Херсон. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2020. 30(4). С. 67–72.
4. Данильчук Н.М., Юхименко Ю.С., Бойко Л.І. Рід Асер у зелених насадженнях Кривого Рогу. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2022. 32 (4). С. 27–32.
5. Бессонова В.П., Чонгова А.С. Морфометричні показники деревних рослин в індикації забруднення довкілля. *Екологічні науки*. №1(46). 2023. С.1027–108.
6. Іванченко О.Є., Бессонова В.П. Індикація життєвого стану деревних рослин парків м. Дніпропетровськ за морфофізіологічними показниками. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія*. 2016. 24 (1). С. 109–118.

7. Черномаз Н.М. Дендроценози схилів Києва (екологічні умови, сучасний стан та шляхи оптимізації). дис. ... канд. біол. наук: 03.00.16. Київ, 2019. 234 с.
8. Офіційний сайт Центральної геофізичної обсерваторії. <http://cgo-sreznevskiy.kiev.ua/>.
9. Горєлов О.М., Горєлов О.О. Життєвість деревних рослин (визначення, критерії та оцінка). *Науковий вісник Львівського університету*, 2017, вип.76. С. 105–111.
10. Дендрофлора України. Дикорослі й культивовані дерева і кущі. Голонасінні. Довідник. /Кохно М.А., Гордієнко В.І., Захаренко Г.С. та ін. За ред. М.А. Кохна, С.І Кузнецова. Київ, Вища школа, 2001. 207 с.
11. Дендрофлора України. Дикорослі й культивовані дерева і кущі. Покритонасінні. Частина I. Довідник /Кохно М.А., Пархоменко Л.І., Зарубенко А.У. та ін. За ред. М.А. Кохна. Київ. Фітосоціоцентр. 2002. 448 с.
12. Дендрофлора України. Дикорослі й культивовані дерева і кущі. Покритонасінні. Частина II. Довідник /Кохно М.А., Трофименко Н.М., Пархоменко Л.І та ін. За ред. М.А. Кохна. Київ. Фітосоціоцентр. 2005. 716 с.
13. Григора І.М., В.А. Соломаха. Основи фітоценології. Київ, Фітосоціоцентр, 2000. 240 с.
14. Калініченко О.А. Декоративна дендрологія /Навч. посібник. Київ. Вища школа. 2003. 199 с.

УДК 595.786:591.53(477.42)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.1.30>

ПОПЕРЕДНІ РЕЗУЛЬТАТИ ВИВЧЕННЯ ФАУНИ НОСТУОІДЕА (LEPIDOPTERA) УРБОЕКОСИСТЕМИ М. ЖИТОМИР

Ковтун Т.І.

Поліський національний університет
Старий Бульвар, 7, 10008, м. Житомир
igkov@ukr.net

Важливим компонентом ентомоценозу урбоєкосистеми Житомира є представники надродини Noctuoidea (Lepidoptera). Збір матеріалів проводили протягом польових сезонів 2017–2022 років на території м. Житомир. В результаті зборів зафіксовано 1325 екземплярів Noctuoidea, що належать до 3 родин, 17 підродин та 86 видів. Проведено аналіз таксономічної структури досліджуваного ентомокомплексу. Встановлено, що до родини Noctuidae належить 77 (88,4%) виявлених видів. Найбільш чисельними є підродини Xyleninae (22 види), Hadeninae (20 видів) та Noctuinae (15 видів). До родини Erebidae належить 8 видів, які є представниками 5 підродин. Найбільш чисельною є підродина Erebininae (4 види). 1 вид є представником родини Nolidae: *Pseudoips prasinana*. Встановлено, що, в середньому, протягом польового сезону фіксувалось 265 екземплярів метеликів, з яких 257 (96,9%) належать до родини Noctuidae; 7,8 (2,9%) – з родини Erebidae та 0,2 (0,1%) – з родини Nolidae. Досліджено, що 27 видів (31,4%) належать до шкідників сільськогосподарських культур. Ще 10 видів (11,6%) є небезпечними шкідниками, що дають спалахи масового розмноження. Отже, шкідниками культурних рослин є 43% виявлених видів. З'ясовано, що 24 види (27,8%) є звичайними, які поширені повсюдно, зокрема, на сільськогосподарських угіддях та в населених пунктах. Ще 19 видів (22,1%) також є звичайними, але зустрічаються спорадично на території України. В досліджуваній ентомофауні виявлено 6 видів (7,0%), які зустрічаються дуже локально та в невеликих кількостях. Аналіз розподілу виявлених видів Noctuoidea урбоєкосистеми м. Житомир за типами розвитку показав, що 64 види є моновольтинними, 18 видів – бівольтинними та 4 види – полівольтинними. Отримані попередні результати дослідження свідчать про те, що фауна Noctuoidea (Lepidoptera) урбоєкосистеми м. Житомир є достатньо різноманітною та збалансованою. В міських екосистемах створюються сприятливі умови для розвитку видів-шкідників сільськогосподарських культур. Це потребує подальших досліджень з метою розробки заходів для додаткового моніторингу цієї групи совкоподібних метеликів. *Ключові слова:* бівольтинні види, міські насадження, моновольтинні види, таксономічна структура, шкідники сільськогосподарських культур.

Preliminary results of fauna Noctuoidea (Lepidoptera) study of Zhytomyr's urban ecosystem. Kovtun T.

An important component of entomocenosis of Zhytomyr's urban ecosystem is representatives of Noctuoidea (Lepidoptera) superfamily. Materials were collected during the 2017–2022 field seasons on the territory of Zhytomyr. As a result of the collection, 1325 Noctuoidea specimens belonging to 3 families, 17 subfamilies and 86 species were recorded. An analysis of the taxonomic structure of the investigated entomocomplex was carried out. It was established that 77 (88.4%) of the identified species belong to the Noctuidae family. The most numerous are the subfamilies Xyleninae (22 species), Hadeninae (20 species) and Noctuinae (15 species). The Erebidae family includes 8 species, which are representatives of 5 subfamilies. The most numerous is the Erebininae subfamily (4 species). The one species is a representative of the Nolidae family: *Pseudoips prasinana*. It was found that, on average, during the field season, 265 specimens of butterflies were recorded, of which 257 (96.9%) belong to the Noctuidae family; 7.8 (2.9%) – from the Erebidae family and 0.2 (0.1%) – from the Nolidae family. It was investigated that 27 species (31.4%) belong to pests of agricultural crops. Another 10 species (11.6%) are dangerous pests that cause outbreaks of mass reproduction. Thereby, 43% of the detected species are pests of cultivated plants. It was found that 24 species (27.8%) are common, which are widespread everywhere, in particular, on agricultural lands and in settlements. Another 19 species (22.1%) are also common, but occur sporadically on the territory of Ukraine. In the studied entomofauna, 6 species (7.0%) were found, which are found very locally and in small quantities. The analysis of the distribution of the identified species of Noctuoidea in the urban ecosystem of Zhytomyr by types of development showed that 64 species are monovoltine, 18 species are bivoltine, and 4 species are polyvoltine. The obtained preliminary results of the study indicate that the fauna of Noctuoidea (Lepidoptera) of the Zhytomyr urban ecosystem is quite diverse and balanced. In urban ecosystems, favorable conditions are created for the development of pest species of agricultural crops. This requires further research with the aim of developing measures for additional monitoring of this group of Noctuoidea (Lepidoptera). *Key words:* bivoltinous species, urban stands, monovoltine species, taxonomic structure, pests of agricultural crops.

Постановка проблеми. В міських екосистемах створюються специфічні умови, що різко відрізняються від умов природних біогеоценозів. В умовах міста зелені насадження зрідка являють собою великі масиви, зазвичай вони ізольовані. В міських насадженнях, як правило, переважає обмежена кількість видів рослин, що різко звужує коло трофічних зв'язків фітофагів. Кормові рослини забруднені транспортними та промисловими викидами. Крім того, на совкоподібних, що ведуть нічний та сутін-

ковий спосіб життя, значний вплив має цілодобове освітлення, яке призводить до змін у поведінці та умовах виникнення діапаузи. Суттєвим також є факт більш високої температури повітря в умовах міста. Совкоподібні лускокрилі (Lepidoptera, Noctuoidea) є істотним компонентом ентомоценозу, що впливає на стабільність та ефективність функціонування міських екосистем.

Актуальність дослідження. Міське середовище являє собою достатньо пластичну та динамічну

систему. В зв'язку із цим, совкоподібні метелики існують в умовах постійної зміни характеру та інтенсивності антропогенного тиску. Систематичне вивчення фауни ноктуїд дозволяє вчасно виявляти фактори ризику для даної групи комах, що виникають в умовах урбоценозів. Тому проведення подібних досліджень є надзвичайно актуальним.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Локальні дослідження ноктуїдофауни міських екосистем та виявлення чинників, які впливають на зменшення їх видового різноманіття та загальної чисельності, дозволяють розробити науково обґрунтовані заходи захисту даної групи комах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основою ефективного функціонування совкоподібних урбоценозах стан міських зелених насаджень [1]. Оцінка впливу екологічних та антропогенних факторів на такі насадження є предметом вивчення багатьох авторів [2, 3]. В свою чергу, міські насадження змінюють деякі параметри урбанізованого середовища, зокрема, температурний режим територій [4]. Дослідження стану ноктуїдофауни в умовах урбоценозів необхідно розпочинати із загального огляду екології міської ентомофауни протягом останнього періоду [5]. Велика кількість робіт присвячена аналізу таких особливостей урбоценозів, що мають вплив на функціонування угруповань лускокрилих, як просторова структура [6, 7, 8, 9]; фрагментація середовища [10, 11]; тепловий режим територій [12]; світлове забруднення [13]; рекреаційний тиск [14]. Аналіз таких досліджень дозволяє зробити висновок, що найбільш суттєвим фактором, який впливає на стан фауни ноктуїд у міських умовах, є цілодобове освітлення, наслідки впливу якого вивчені недостатньо. Важливим напрямом є дослідження біорізноманіття метеликів в умовах урбоценозів [15, 16, 17]. Адже, екологічні умови, що характеризують міське середовище, можуть суттєво вплинути на видовий склад міських спільнот совкоподібних. Крім того, відзначається, що процеси, на яких ґрунтуються моделі біорізноманіття, маловивчені. Значна кількість досліджень фауни лускокрилих в урбоценозах присвячена вивченню можливості їх застосування

як біоіндикаторів стану навколишнього середовища [18, 19, 20]. Еколого-фауністичні обстеження ентомокомплексів урбоценозів міст України нечисельні та фрагментарні. Серед останніх варто відмітити дослідження стану окремих таксонів комах міста Харків, зокрема, Cimicomorpha (Heteroptera) [21], Pentatomomorpha (Hemiptera) [22], Carabidae (Coleoptera) [23]. Аналіз видового складу та екології комах-філофагів листяних порід Харкова наведено в роботі Кардаш Є.С. [24]. Зокрема, відмічається зниження кількості родів та видів Noctuoidea, виявлених в період 2017–2020 років, в порівнянні зі списком, сформованим у 1960-ті роки. Вивченню фауни Noctuidae урбоценозів м. Чернівці присвячено декілька робіт [25, 26].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Метою дослідження є вивчення фауни Noctuoidea (Lepidoptera) урбоценозів м. Житомир. Задля досягнення поставленої мети слід вирішити наступні завдання: 1) встановлення видового складу Noctuoidea; 2) аналіз співвідношення основних таксономічних груп совкоподібних; 3) вивчення характеру поширення виявлених видів та представленості видів-шкідників; 4) виявлення співвідношення бівольтинних та моновольтинних видів досліджуваного ентомоценозу.

Новизна. Проведено фауністичний аналіз комплексу ноктуїд урбоценозу м. Житомир. Виявлені особливості деяких показників екологічної структури досліджуваної групи комах.

Методологічне або загальнонаукове значення. Отримані результати дозволяють доповнити відомості щодо фауни Noctuoidea міських екосистем в умовах України, динаміки показників їх біорізноманіття, особливостей формування екологічної структури таких ентомокомплексів.

Матеріали та методи дослідження. Збори проводили протягом польових сезонів 2017–2022 років на території м. Житомир. Район зборів розташований в південно-східній частині міста. Його географічні координати: 50°25'38.97"N 25°68'57.50"E (рис. 1).

В даному районі розташовані одноповерхові житлові будинки, оточені присадибними ділянками,

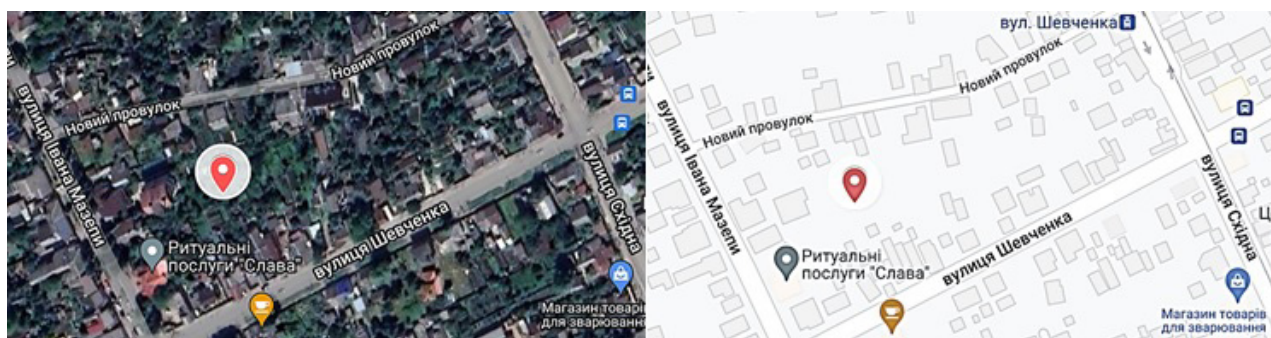


Рис. 1. Карта-схема району зборів Noctuoidea на території м. Житомир

садами та городами. Характер рослинності достатньо різноманітний. Основні види деревних рослин: липа дрібнолиста (*Tilia cordata* Mill.), дуб звичайний (*Quercus robur* L.), туя західна (*Thuja occidentalis* L.), груша звичайна (*Pyrus communis* L.), яблуна звичайна (*Malus domestica* Roth.), вишня звичайна (*Prunus cerasus* L.), слива звичайна (*Prunus domestica* L.). Серед чагарників поширені такі види: дерен справжній (*Cornus mas* L.), малина звичайна (*Rubus idaeus* L.), калина звичайна (*Viburnum opulus* L.), бузок звичайний (*Syringa vulgaris* L.), форзиція європейська (*Forsythia europaea* Geg. et Bald.). Трав'яні рослини представлені як сільськогосподарськими культурами (томат (*Solanum lycopersicum* L.), огірок звичайний (*Cucumis sativus* L.), квасоля звичайна (*Phaseolus vulgaris* L.), горох посівний (*Pisum sativum* L.), капуста городня (*Brassica oleracea* L.) тощо), так і декоративними видами (хризантеми (*Chrysanthemum* L.), троянди (*Rosa* L.), жоржини (*Dahlia*) тощо). Серед бур'янів поширені: пирій повзучий (*Elymus repens* L.), кульбаба звичайна (*Taraxacum officinale* Wigg.), подорожник великий (*Plantago major* L.), грицики звичайні (*Capsella bursa-pastoris* L.), галінсога дрібноквіткова (*Galinsoga parviflora* Cav.), щиріця звичайна (*Amaranthus retroflexus* L.) тощо. Збір матеріалів проводили за загальноприйнятими методиками за допомогою світлової пастки. Збори проводили двічі на місяць протягом польового сезону. Визначення метеликів, проводили, використовуючи 13-ти томне видання Noctuidae Europaeae, 1990–2011. Розподіл

виявлених видів за характером поширення, встановлення видів-шкідників сільськогосподарських культур та співвідношення моно- та бівольтинних видів здійснювали за даними Ключко З.Ф. [27].

Викладення основного матеріалу. Протягом польових сезонів 2017–2020 років зібрано 1325 екземплярів Noctuoidea, які належать до 3 родин, 17 підродин та 86 видів (табл. 1).

Найбільш чисельною є родина Noctuidae. До неї належить 77 виявлених видів, або 88,4% від загальної їх кількості. Чверть видів (25,2%) даної родини належить до підродини Xyleninae. Також чисельними є підродини Hadeninae та Noctuinae, представники яких складають відповідно 22,9% та 17,2% виявлених видів. Родина Erebidae представлена 8 видами, що належать до 5 підродин, найбільш чисельною з яких є підродина Erebinae (4,6% від загальної кількості виявлених видів). В досліджуваній фауні виявлено 1 вид з родини Nolidae (Човнярка букова *Pseudoips prasinana* (Linnaeus, 1758)), що належить до підродини Chloephorinae.

Встановлено, що, в середньому, протягом польового сезону фіксувалось 265 екземплярів метеликів, з яких 257 (96,9%) належать до родини Noctuidae; 7,8 (2,9%) – з родини Erebidae та 0,2 (0,1%) – з родини Nolidae. Під час проведення досліджень нічних метеликів в містах Північної Європи (Галле (Німеччина), Лунд та Кальмар (Швеція)) протягом одного польового сезону виявляли, в середньому, 75,5 екземплярів, з яких 59,6 особин (78,9%) з родини Noctuidae, 14,3 особини (18,9%) з родини Erebidae та 1,6 (2,2%) – з родини Nolidae [12].

На наступному етапі роботи аналізували характер поширеності виявлених видів на території України та представленість видів-шкідників культурних рослин у досліджуваній ноctuїдофауні (рис. 2).

Виявлено, що 27 видів (31,4%) є шкідниками культурних рослин. Характерними представниками цієї групи є Совка двокрапкова (*Xestia baja* ([Denis et Schiffermüller], 1775), Совка стрічкова велика (*Noctua pronuba* (L., 1758)), Нічниця рання садова (*Orthosia cerasi* (Fabricius, 1775)), Совка смугаста бліда (*Mythimna pallens* (L., 1758)), Совка садова буро-сіра (*Lacanobia contigua* (Denis & Schiffermüller, 1775)).

Ще 10 видів (11,6%) належать до небезпечних шкідників, що дають спалахи масового розмноження. Зокрема, це Совка озима (*Agrotis segetum* (Denis & Schiffermüller, 1775)), Совка с-чорне (*Xestia c-nigrum* (L., 1758)), Совка конюшинова (*Anarta trifolii* (Hufnagel, 1766)), Совка городня (*Lacanobia oleracea* (L., 1758)), Совка капустяна (*Mamestra brassicae* (L., 1758)), Совка гамма (*Autographa gamma* (L., 1758)), Совка бавовникова (*Helicoverpa armigera* (Hübner, 1808)). Отже, частка видів-шкідників сільськогосподарських культур в досліджуваній ентомофауні становить 43%. Разом з тим, у фауні України шкідливі види совок складають 22% від загального видового складу [27].

Таблиця 1

Таксономічна структура Noctuoidea урбоєкосистеми м. Житомир

| № | Підродина | Кількість видів | % |
|----------------------------------|---|-----------------|------|
| Родина Noctuidae Latreille, 1809 | | | |
| 1 | Xyleninae Guenee, 1852 | 22 | 25,2 |
| 2 | Hadeninae Guenee, 1837 | 20 | 22,9 |
| 3 | Noctuinae Latreille, 1809 | 15 | 17,2 |
| 4 | Plusiinae Boisduval, 1828 | 7 | 8,1 |
| 5 | Acronictinae Harris, 1841 | 5 | 5,8 |
| 6 | Bryophilinae Guenee, 1852 | 2 | 2,2 |
| 7 | Amphipyryinae Guenee, 1838 | 2 | 2,2 |
| 8 | Heliothinae Boisduval, 1829 | 2 | 2,2 |
| 9 | Pantheinae Smith, 1898 | 1 | 1,2 |
| 10 | Acontiinae Guenee, 1841 | 1 | 1,2 |
| 11 | Eriopinae Herrich-Schäffer, 1851 | 1 | 1,2 |
| Родина Erebidae Leach, 1815 | | | |
| 12 | Erebinae Leach, 1815 | 4 | 4,6 |
| 13 | Hypeninae Herrich-Schäffer, [1851] | 1 | 1,2 |
| 14 | Scoliopteryginae Herrich-Schäffer, [1852] | 1 | 1,2 |
| 15 | Arctiinae Leach, 1815 | 1 | 1,2 |
| 16 | Boletobiinae Guenee, [1858] | 1 | 1,2 |
| Родина Nolidae Hampson, 1894 | | | |
| 17 | Chloephorinae Stainton, 1859 | 1 | 1,2 |
| Всього | | 86 | 100 |

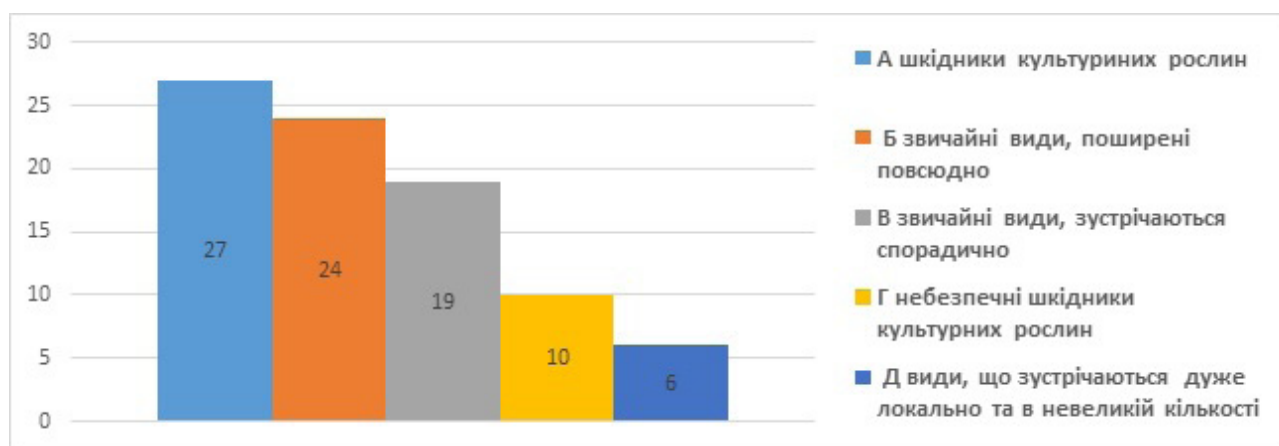


Рис. 2. Характер поширення досліджуваних видів Noctuoidea та представленість видів-шкідників культурних рослин

За характером поширеності 24 види (27,8%) належать до звичайних, що поширені повсюдно, зокрема, на сільськогосподарських угіддях та в населених пунктах. Типові види цієї групи: Совка наземна червонобура (*Hoplodrina blanda* (Denis & Schiffermüller, 1775)), Совка злакова шашкова (*Oligia latruncula* (Denis & Schiffermüller, 1775)), Совка малинова (*Euplexia lucipara* (L., 1758)), Металовидка золота (*Diachrysis chrysis* (L., 1758)), Абростоля бура (*Abrostola triplasia* (L., 1758)), Ведмедиця бура (*Phragmatobia fuliginosa* (L., 1758)). 19 видів (22,1%) є звичайними видами, але зустрічаються спорадично на території України. До цієї групи віднесено такі види, як Совка трикутна (*Xestia triangulum* (Hufnagel, 1766)), Совка широкоплеча (*Egira conspicillaris* (L., 1758)), Совка зубчаста (*Hada plebeja* (L., 1761)), Совка злакова світло-бура (*Oligia strigilis* (L., 1758)), Совка порфірова (*Mniotype satura* ([Denis et Schiffermüller], 1775)), Стрільниця зайчик (*Acronicta leporina* (L., 1758)), Стрічка вербова (*Catocala electa* (Vieweg, 1790)). Також виявлено 6 видів (7,0%), які зустрічаються дуже локально та в невеликих кількостях (наприклад, Совка світла (*Amphipoea lucens* (Freyer, 1845)), Абростоля ластівнева (*Abrostola asclepiadis* ([Denis et Schiffermüller], 1775)), Крифія жовтувата (*Cryphia algae* (Fabricius, 1775))).

Важливою характеристикою угруповання совкоподібних урбоекосистеми м. Житомир є розподіл виявлених видів за типами розвитку (рис. 3). До групи моновольтинних належать 64 види досліджуваного ентомоценозу. Бівольтинними виявились 18 встановлених видів. До полівольтинних ми відносили види, що дають два-три покоління протягом вегетаційного періоду. Таких видів в досліджуваній фауні виявлено 4: Ведмедиця бура (*Phragmatobia fuliginosa* (L., 1758)), Металовидка крапля (*Macdunnoughia confusa* (Stephens, 1850)), *Autographa gamma*, *Helicoverpa armigera*.

Головні висновки. Отже, проведені дослідження дозволяють зробити наступні висновки. Таксономічна структура Noctuoidea урбоекосистеми м. Житомир

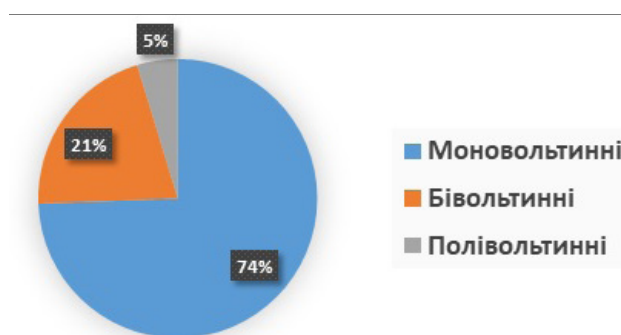


Рис. 3. Розподіл виявлених видів Noctuoidea урбоекосистеми м. Житомир за типами розвитку

є достатньо збалансованою, адже співвідношення виявлених підродин, в цілому, відповідає такому співвідношенню у фауні України [27]. Разом з тим, середня кількість екземплярів метеликів, що фіксувалась протягом одного польового сезону в м. Житомир, значно переважає їх кількість, встановлену під час проведення досліджень в містах Північної Європи. Також в ноctуїдофауні досліджуваного району виявлено суттєве перевищення кількості представників Noctuidae над представниками інших родин. Це може свідчити про значно вищий рівень антропогенного навантаження на урбоценоз Житомира в порівнянні з урбоекосистемами міст Північної Європи. Адже, на думку багатьох авторів [1, 9, 15, 17], зростання антропогенного тиску на урбоекосистему призводить до збільшення чисельності окремих видів комах при загальному зменшенні видового різноманіття. Водночас, виявлена кількість видів (86) становить 12,8% від фауни Noctuoidea України [27] та може вважатись суттєвою. Найбільш вірогідно, що основною причиною такого видового різноманіття є широка кормова база, сформована в досліджуваному районі. За характером поширення більшість виявлених видів належать до звичайних, що зустрічаються на території України повсюдно або

спорадично. Частка видів-шкідників культурних рослин в досліджуваній ентомофауні майже вдвічі переважає частку таких видів у фауні совкоподібних України. Це свідчить про те, що в урбоекосистемі Житомира створюються сприятливі умови для розвитку видів-шкідників. Частка бівольтинних та полівольтинних видів в досліджуваному ентомоценозі незначна.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані результати можуть бути використані при проведенні подальших локальних досліджень фауни Nostuoidea в урбоценозах України та під час розробки заходів з додаткового моніторингу видів-шкідників сільськогосподарських культур, що розвиваються в умовах міських екосистем.

Література

1. Klauzhitser B. Ecology of the urban fauna. Moscow: Mir, 1990. 246 p.
2. Левон Ф. М. Зелені насадження в антропогенно трансформованому середовищі: монографія. К.: ННЦ ІАЕ, 2008. 364 с.
3. Мешкова В. Л. Зміна клімату та міські насадження. *Лісовий вісник*. 2017. № 11–12. С. 10–13.
4. Масальський В. П., Кузнєцов С. І. Вплив паркових насаджень на температурний режим урбанізованого середовища. *Науковий вісник НЛТУ України*. Львів, 2018. Вип. 28 (7). С. 49–52.
5. Brown B. V. After “the call”: a review of urban insect ecology trends from 2000–2017. *Zoosymposia*, 2018. Vol. 12(1). P. 4–17.
6. Corcos D., Cerretti P., Caruso V., Mei M., Falco M., Marini L. Impact of urbanization on predator and parasitoid insects at multiple spatial scales. *PLoS ONE*, 2019. Vol.14(4): e0214068. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214068>.
7. Fattorini S. Insects and the city: what island biogeography tells us about insect conservation in urban areas. *Web Ecology*, 2016. Vol. 16. P. 41–45.
8. Merckx T, Van Dyck H. Urbanization-driven homogenization is more pronounced and happens at wider spatial scales in nocturnal and mobile flying insects. *Glob. Ecol. Biogeogr.*, 2019. Vol. 28. P. 1440–1455. DOI:10.1111/geb.12969
9. Beninde J, Veith M, Hochkirch A. Biodiversity in cities needs space: a meta-analysis of factors determining intra-urban biodiversity variation. *Ecol. Lett.*, 2015. Vol. 18. P. 581–592. DOI:10.1111/ele.12427
10. Gibb H., Hochuli D. F. Habitat fragmentation in an urban environment: large and small fragments support different arthropod assemblages. *Biological conservation*, 2002. Vol.106 (1). P. 91–100.
11. Franzén M, Betzholtz P-E. Species traits predict island occupancy in noctuid moths. *J. Insect Conserv.*, 2012. Vol. 16. P. 155–163. DOI: 10.1007/s10841-011- 9401-z.
12. Franzén M, Betzholtz P-E, Pettersson LB, Forsman A. Urban moth communities suggest that life in the city favours thermophilic multi-dimensional generalists. *Proc. R. Soc. B.*, 2020. Vol. 287: 20193014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2019.3014>
13. Macgregor CJ, Pocock MJO, Fox R, Evans DM. Pollination by nocturnal Lepidoptera, and the effects of light pollution: a review. *Ecol. Entomol.*, 2015. Vol. 40. P. 187–198. DOI:10.1111/een.12174.
14. Кириленко В. А. Вплив рекреації на фауну членистоногих. *Екол. основи оптиміз. режиму охорони і використ. природно-заповідн. фонду*: Тез. доп. міжнар. наук. - практ. конф., присвяч. 25-річчю Карпат. біосферн. заповідн. (11-15 жовтня, 1993, Рахів). Рахів, 1993. С. 92–94.
15. Park K. J., Blackmore L. M., Lintott P., Bunnefeld N., Fuentes-Montemayor E., Minderman J., & Goulson D. Moth species richness, abundance and diversity in fragmented urban woodlands: implications for conservation and management strategies. *Biodiversity and Conservation*, 2014. Vol. 23. P. 2875–2901. DOI:10.1007/s10531-014-0753-z.
16. Aagaard K, Berggren K, Hebert PDN, Sones J, McClenaghan B, Ekrem T. Investigating suburban micromoth diversity using DNA barcoding of malaise trap samples. *Urban Ecosyst.*, 2017. Vol. 20. P. 353–361. DOI:10.1007/s11252-016-0597-2.
17. Aguilera G, Ekroos J, Persson AS, Pettersson LB, Öckinger E. Intensive management reduces butterfly diversity over time in urban green spaces. *Urban Ecosyst.*, 2019. Vol. 22. P. 335–344. DOI:10.1007/s11252-018-0818-y.
18. Злотін О. З., Бойчук Ю. Д. Ентомобіоіндикація стану навколишнього середовища в системі комплексного екологічного моніторингу. *Актуальні питання охорони навколишнього середовища*: 36. наук. праць. Харків: ХДПУ, 1995. Вип. 1. С. 57–60.
19. Wojciciechowski W., Minoranskij W. A., Kocot G. Aphids (Aphidinea) as bioindicators of the environmental condition within the zone of emission of the zinc-smelting works “Miasteczko Slaskie”. *Acta biol. Siles*, 1991. С. 75–83.
20. Зайцева І. А. Дендробіонтні філофаги *Tilia L.* у насадженнях м. Дніпро: весняна фенологічна група. *Питання біоіндикації та екології*, 2018. Вип. 23 (1). С. 146–168.
21. Fedya I. A., Markina T. Y. Ecological and faunistic review of the true bugs of infraorder Cimicomorpha (Heteroptera) of urban cenoses of Kharkiv city (Ukraine). *Zoodiversity*, 2020. Vol. 54(2). P. 133–146.
22. Fedya I. A., Markina T. Y., Putchkov A. V. Ecological and faunistic survey of the true bugs of the infraorder Pentatomomorpha (Hemiptera) in the urban cenoses of Kharkiv City (Ukraine). *Biosystems Diversity*, 2018. Vol. 26(4). P. 263–268.
23. Ніколенко Н. Ю. Еколого-фауністичний огляд карабідофауни (Coleoptera, Carabidae) урбоценозів м. Харкова. *Біологія та валеологія*, 2018. Вип. 20. С. 48–54.
24. Кардаш Є.С. Видовий склад та екологія комах-філофагів листяних порід урбоценозів м. Харкова: дис. ...доктора філософії: 091. Харків, 2021. 182 с.
25. Скільський І.В., Мелешук Л.І., Ташук М.В. Тварини з Червоної книги України на заповідних територіях м. Чернівці. *Регіональні аспекти флористичних і фауністичних досліджень*. Мат. другої міжнар. наук. - практ. конф. (24-25 квітня 2015 р., смт Путила). Чернівці: Друк Арт, 2015. С. 271–280.
26. Череватов О.В., Хлус Л.М. Фауна Nostuidae заплави Прута в околицях м. Чернівці. *Наук. вісн. Чернівецького ун-ту. Сер. Біол.* Чернівці, 2007. Вип. 343. С. 274–282.
27. Ключко З. Ф. Совки України. К.: В. Раєвського, 2006. 248 с.

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ІНТРОДУКЦІЇ СУБТРОПІЧНИХ ПЛОДОВИХ КУЛЬТУР У ПРИДНІПРОВСЬКИХ КРАЯХ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Красовський В.В.^{1,3}, Козлов А.В.², Черняк Т.В.^{1,3},
Дяченко-Богун М.М.³, Шкура Т.В.³, Григоренко А.В.⁴

¹Хорольський ботанічний сад

вул. Кременчуцька 1/79, оф. 46, 37800, м. Хорол

²Опорний заклад «Хорольський заклад загальної середньої освіти І–ІІІ ступенів № 1 Хорольської міської ради Лубенського району Полтавської області»
вул. Незалежності, 110/3, 37800, м. Хорол

³Полтавський національний педагогічний університет імені В.Г. Короленка
вул. Остроградського, 2, 36000, м. Полтава

³Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ

horolbotsad@gmail.com, av_kozlov@ukr.net,
ecos.poltava2015@gmail.com, shctanya@ukr.net, alla_gr@ukr.net

Наведено вдосконалену схему фізико-географічного районування України, де Лівобережний Лісостеп представлений Лівобережнодніпровським краєм, а Правобережний – Подільсько-Придніпровським.

Посилаючись на літературні джерела, представлено клімат обох Придніпровських лісостепових країв як такий, що відповідає помірно-континентальній області помірного кліматичного поясу. Показники сумарної сонячної радіації в літній період на Правобережжі лісостепу зростають із заходу на південний схід і становлять від 1600 до 1900 МДж/км². На Лівобережжі показник змінюється з півночі на південь і становить 1700–1800 МДж/км². Альbedo діяльної поверхні на Правобережжі становить 24–21 %, на Лівобережжі цей показник є дещо вищим 26–22 %. Ізолінії показників фотосинтетично активної радіації (вегетаційний період з температурою +5°C і вище) зберігають широтне простягання. За рахунок розташування Подільсько-Придніпровського краю південніше за Лівобережнодніпровський, показники першого є вищими і становлять відповідно 1700–1900 і 1600–1800 МДж/км². Абсолютний мінімум температури повітря в лісостеповій зоні України становив -38°C. Такі показники фіксувалися як на Правобережжі, так і на Лівобережжі. Розподіл ізотерм абсолютних мінімальних температур є наслідком надходження холодного повітря з півночі і сходу, тому Лівобережжя є прохолоднішим. Абсолютний максимум температур, зафіксований в лісостеповій зоні України +38°C, фіксувався в обох Придніпровських лісостепових краях. Розподіл ізотерм абсолютних максимальних температур є наслідком надходження теплого повітря з південного заходу чи південного сходу, тому на Правобережжі – спекотніше. Сума активної температури повітря (середньодобова температура повітря вище +10°C) має близькі значення як на Правобережжі, так і Лівобережжі, і становлять від 2500–2900°C з тривалістю періоду активної вегетації 160–170 днів. Винятком є крайня південна область Подільсько-Придніпровського краю, де сума активних температур зростає до 3200°C, а тривалість періоду активної вегетації збільшується на 10 днів.

Загалом природні умови обох Придніпровських країв є сприятливими для розвитку рослинництва, ведення садівництва, включаючи інтродуковані субтропічні плодови культури. Однак, незначну перевагу має Правобережжя за рахунок більшої сумарної сонячної радіації, суми сніва та більш м'якої зими, більшого зволоження і кращої якості ґрунтів. *Ключові слова:* край Лісостепу України, екологічні фактори, інтродукція, субтропічні плодови культури.

Environmental aspects of the introduction of subtropical fruit crops in the Dnirovian regions of the Forest Steppe of Ukraine.
Krasovsky V., Kozlov A., Cherniak T., Dyachenko-Bogun M., Shkura T., Hryhorenko A.

An improved scheme of physical and geographical zoning of Ukraine is presented, where the Left Bank Forest Steppe is represented by the Left Bank Dnipro Territory, and the Right Bank by Podilsko-Prydniprovsky Territory.

Referring to literary sources, the climate of both Dnieper forest-steppe regions is presented as corresponding to the temperate-continent region of the temperate climate zone. Indicators of total solar radiation in the summer period on the Right Bank of the forest-steppe increase from west to southeast and range from 1600 to 1900 MJ/km². On the Left Bank, the indicator changes from north to south and is 1700–1800 MJ/km². The albedo of the active surface on the Right Bank is 24–21%, on the Left Bank this indicator is slightly higher at 26–22%. Isolines of indicators of photosynthetically active radiation (vegetation period with a temperature of +5°C and above) retain their latitudinal extension. Due to the location of the Podilsk-Prydniprovsky Krai to the south of the Livoberezhnodniprovsky Krai, the indicators of the former are higher and amount to 1700–1900 and 1600–1800 MJ/km², respectively. The absolute minimum air temperature in the forest-steppe zone of Ukraine was -38°C. Such indicators were recorded both on the Right Bank and on the Left Bank. The distribution of isotherms of absolute minimum temperatures is a consequence of the arrival of cold air from the north and east, so the Left Bank is cooler. The absolute maximum temperature recorded in the forest-steppe zone of Ukraine +38°C was recorded in both Dnieper forest-steppe regions. The distribution of isotherms of absolute maximum temperatures is a consequence of the arrival of warm air from the southwest or southeast, so it is hotter on the Right Bank. The sum of the active air temperature (average daily air temperature above +10°C) has close values both on the Right Bank and on the Left Bank, ranging from 2500–2900°C with the duration of the active

vegetation period of 160–170 days. An exception is the extreme southern region of the Podilsk-Dnieper region, where the sum of active temperatures rises to 3200°C, and the duration of the period of active vegetation increases by 10 days.

In general, the natural conditions of both Dnieper regions are favorable for the development of crop production, horticulture, including introduced subtropical fruit crops. However, the Right Bank has a slight advantage due to greater total solar radiation, the amount of sunshine and a milder winter, greater moisture and better soil quality. *Key words*: edges of the Forest Steppe of Ukraine, ecological factors, introduction, subtropical fruit crops.

Постановка проблеми. Обґрунтування, яке триває протягом кількох десятиліть, окремого наукового напрямку інтродукційної діяльності в Україні, а саме інтродукція субтропічних плодкових культур в зоні Лісостепу. У процесі інтродукції, завдяки виявленню найстійкіших до лімітуючих екологічних чинників середовища видів, у певній мірі змінюється склад садових культур, що відповідає сучасній ксерофітизації клімату цієї фізико-географічної природної зони.

Варто зазначити, що інтродукція субтропічних плодкових культур у Лісостеп України, як напрям науково-практичної діяльності людини, нині триває і надалі залишатиметься потужним засобом покращення життєвого простору у регіоні завдяки формуванню екосоціального середовища, екологізації садівництва та забезпечення населення місцевими плодами та ягодами високої споживчої якості з лікувально-профілактичними властивостями.

Національний ботанічний сад імені М. М. Гришка НАН України є одним з визначних центрів інтродукції субтропічних плодкових культур відкритого ґрунту у Правобережному Лісостепу, а у Лівобережному – Хорольський ботанічний сад, як новостворений пункт.

В цілому Лісостеп займає 34 % території України. Кліматичні умови зони – відмінні. В західній частині зима м'якша, сніговий покрив затримується на два–чотири місяці. У східній частині клімат континентальний, зима холодніша. На заході літо тепле, достатньо вологе [1]. У такому форматі буде доцільним порівняти інтродукційні можливості субтропічних плодкових культур обох країв, навівши загальну комплексну оцінку екологічних факторів, адже інтродукційний процес має базуватися на обрахованих екологічних показниках.

Актуальність дослідження. Інтродукція субтропічних плодкових культур сприяє уведенню нових господарсько-цінних плодкових видів у регіони обробітку Лісостепу, формуванню стійкості екосистем.

Мета дослідження. Метою досліджень є виявлення як спільних, так і відмінних екологічних факторів Правобережного Лісостепу України та –Лівобережного, де розташований Хорольський ботанічний сад.

При виконанні досліджень використовували наявні літературні джерела з картографічним матеріалом.

Виклад основного матеріалу. У праці «Фізико-географічне районування Української СРР», авторами якої є В.П. Попов, О.М. Маринич та А.І. Ланько,

обґрунтовано фізико-географічний поділ території України на зони, провінції і області. Саме там вперше Лісостеп України був розділений на 4 фізико-географічні провінції: Західноукраїнську, Дністровсько-Придніпровську, Лівобережно-Дніпровську і Середньоруську [1]. Згодом схема фізико-географічного районування була вдосконалена. Західноукраїнська провінція була визначена як зона широколистяних лісів. Провінції стали називати краями. Змінилися і назви самих провінцій: Дністровсько-Придніпровська провінція стає Подільсько-Придніпровським, а Середньоруська – Східноукраїнським краєм [2, 3, 4].

Фізико-географічні краї виділяють за ступенем континентальності, що істотно позначається на розвитку геохімічних і біологічних процесів та зумовлює певні внутрішньозональні відмінності ландшафтів довготно-кліматичного характеру. Це істотно впливає на розвиток біоти, вирощування сільськогосподарських культур [3].

Центральну частину території України займають два найбільші Придніпровські краї лісостепової зони, які є суміжними і мають певні спільні і відмінні природні умови. Лівобережний Лісостеп представлений Лівобережнодніпровським краєм, а Правобережний Лісостеп – Подільсько-Придніпровським (рис. 1) [5].

Лівобережнодніпровський лісостеповий край в адміністративному відношенні охоплює південно-східну частину Київської і Чернігівської областей, західну – Сумської, північно-західну – Харківської і більшу частину (крім півдня) – Полтавської. Натомість, Подільсько-Придніпровський край включає південний захід Київської, південь Житомирської, схід Хмельницької, всю Вінницьку і Черкаську, північні райони Одеської, Миколаївської і Кіровоградської областей [5, 6, 7].

Межа між Придніпровськими краями проходить по Дніпру, має діагональний напрям з північного заходу на південний схід. Крайня південна точка Подільсько-Придніпровського лісостепового краю сягає паралелі 47° пн. ш., а крайня північна – широти Києва, тобто 50°30' пн. ш. Західна межа проходить по західному схилу Українського кристалічного щита. Лівобережнодніпровський край розташований північніше. Його крайня південна точка розташована поблизу 49° пн. ш., а північна досягає 51°20' пн. ш. Східною межею є відроги Середньоросійської височини [3, 5].

Південна межа обох лісостепових країв визначена за ізолінією коефіцієнта зволоження 0,6, що збігається з лінією розмежування чорноземів типо-



Рис. 1. Лісостепова зона на карті фізико-географічного районування України (з позначенням Придніпровських країв та Хорольського ботанічного саду)

вих і чорноземів звичайних, а північна – південною межею поширення дерново-підзолистих ґрунтів [3].

Отже, південна окраїна Лівобережного Лісостепу розташована майже на 250 км північніше за південну окраїну лісостепового краю Правобережної України.

Лівобережний Лісостеп охоплює значну частину Придніпровської низовини, в основі якої лежить Дніпровсько-Донецька западина, а Правобережний Лісостеп – центральну і південні частини Подільсько-Придніпровської височини, що сформувалися в межах Українського кристалічного щита. Пересічні висоти Подільсько-Придніпровського лісостепового краю становлять 200–300 м, а Лівобережнодніпровського – від 120 до 150 м. В межах Придніпровської низовини виділяється її підвищена частина – Полтавська рівнина [3].

Клімат обох Придніпровських лісостепових країв відповідає помірно-континентальній області помірного кліматичного поясу [3, 5].

Подільсько-Придніпровський край отримує опадів 550–400 мм, причому 75 % цієї кількості припадає на теплий період року, спостерігається зливовий характер їх випадання, коефіцієнт зволоження 2,0–1,4. Радіаційний баланс у краї становить 1750–1900 МДж/м². Сумарна сонячна радіація

змінюється з північного заходу на південний схід від 3700 до 4400 МДж/м². Сума активної середньої добової температури повітря +10°C і вище становить 2500–3200°C. Ізотерми липня коливаються від +18 до +20°C, січня від -6 до -5°C [3, 5, 8].

Порівняно з височинним лісостеповим Правобережжям Лівобережнодніпровський край характеризується більш континентальним кліматом. Річні суми опадів змінюються від 550 мм на півночі до 430 мм на півдні, коефіцієнт зволоження змінюється від 1,9 на півночі і до 1,3 – на півдні. Радіаційний баланс 1700–1800 МДж/м². При річній сумі сонячної радіації в 4340–4609 МДж/м² теплозабезпеченість вегетаційного періоду характеризується сумою температур 2600–2800°C за період зі стійкою температурою вище +10°C. Ізотерми липня коливаються від +19 до +20°C, січня від -7 до -6°C [3, 5, 8].

Показники сумарної сонячної радіації в літній період на Правобережжі лісостепу зростають із заходу на південний схід і становлять від 1600 до 1900 МДж/км². На лівобережжі показник змінюється з півночі на південь і становить 1700–1800 МДж/км². Альbedo діяльної поверхні на Правобережжі становить 24–21 %, на Лівобережжі цей показник є дещо вищим 26–22 % [5, 9].

Сумарна сонячна радіація впливає на стан земної поверхні й нижніх шарів атмосфери. Її надходження зумовлюється тривалістю дня, хмарністю і прозорістю атмосфери, висотою Сонця [5].

За період 2000–2014 рр. відмічалось збільшення кліматичних ресурсів сонячної радіації, підвищилась річна сума сумарної та прямої сонячної радіації відносно кліматологічної стандартної норми 1961–1990 рр. Відмічено зростання тривалості сонячного сьйва [9].

Одним із важливих радіаційних чинників, що впливає на дозрівання субтропічних плодкових культур, є тривалість сонячного сьйва. Аналіз характеру ізоліній та тривалість сонячного сьйва в окремих пунктах свідчать про зонально-провінційний характер цього явища. Так, тривалість сонячного сьйва в грудні в лісостеповій зоні становить до 45 год. У січні–лютому спостерігається збільшення сонячного сьйва, а в березні його тривалість різко зростає до 125–155 год. У квітні–травні через зменшення хмарності його показники сягають 250–260 год. Деяке збільшення тривалості сонячного сьйва спостерігається в червні, а найбільші його показники припадають на липень: у зоні лісостепу – 240–300 год. У серпні уже зменшується день, тому тривалість сонячного сьйва також зменшується на 20–40 год. У вересні кількість сонцесяйних годин для центральної частини України становить 180–240 год. У жовтні–листопаді помітно збільшується хмарність, тому тривалість годин із сонцем природно зменшується. У річному виразі найменша кількість годин сонячного сьйва у Лісостепу України припадає на західну частину Подільсько-Придніпровського краю та північно-східну частину Лівобережнодніпровського: 1900–1800 год. Тривалість сонячного сьйва приблизно однакова для обох Придніпровських лісостепових країв і складає від 1800 до 2100 годин на рік. У розрізі областей, що входять до складу лісостепової зони, найбільшу кількість годин сонячного сьйва з показником понад 2000 годин отримують Одеська, Миколаївська, Вінницька і Черкаська області на Правобережжі та більша частина Полтавської області на південь від лінії Полтава–Миргород–Лубни. Ізолінія показника сонячного сьйва зі значенням 2000 годин на рік на Лівобережжі заходить значно північніше, ніж на Правобережжі [5, 10].

Кількість ясних днів за рік, згідно даних Національного атласу України, суттєво не відрізняється в межах лісостепової зони. На більшій її території даний показник в середньому складає 30 днів. На півдні Подільсько-Придніпровського краю він перевищує 40 днів, а на півночі – менше 30 днів. На Лівобережжі найвища кількість ясних днів, з показником у 40 днів, спостерігається в центральній частині краю. Середній показник похмурих днів за рік на більшій частині лісостепової зони становить 120–130 днів. На крайньому півдні Правобережжя середня кількість похмурих днів є значно нижча

і складає 100–110 днів, а на півночі вища – 130–140 днів. Лівобережжя в середньому має вищі показники похмурих днів – 130–140 на рік на більшій території, лише в центральній частині краю середньорічний показник становить 120–130 днів [5].

Ізолінії показників фотосинтетично активної радіації (вегетаційний період з температурою +5°C і вище) зберігають широтне простягання. За рахунок розташування Подільсько-Придніпровського краю південніше за Лівобережнодніпровський, показники першого є вищими і становлять відповідно 1700–1900 і 1600–1800 МДж/км² [5].

Близькими до широтного простягання є ізотерми середньорічних температур, які на Правобережжі становлять +7 – +9°C, на Лівобережжі – +7 – +8°C [5, 8].

Абсолютний мінімум температури повітря в лісостеповій зоні України становив -38°C. Такі показники фіксувалися як на Правобережжі, так і на Лівобережжі. Розподіл ізотерм абсолютних мінімальних температур є наслідком надходження холодного повітря з півночі і сходу, тому Лівобережжя є прохолоднішим [5].

Абсолютний максимум температур зафіксований в лісостеповій зоні України +38°C, фіксувався в обох Придніпровських лісостепових краях. Розподіл ізотерм абсолютних максимальних температур є наслідком надходження теплого повітря з південного заходу чи південного сходу, тому Правобережжя є спекотнішим [5].

За рахунок більших показників сонячного сьйва Лівобережнодніпровський край краще прогривається. Ізотерми температур ґрунту в липні +23°C на півночі, +26°C на півдні Лівобережжя і +22°C на півночі, +25°C на півдні Правобережжя. У січні ізотерми температур ґрунту Лівобережнодніпровського краю на півночі становлять -9°C, на півдні – -7°C, Подільсько-Придніпровського відповідно -7°C – -5°C [5].

Сума активної температури повітря (середньодобова температура повітря вище +10°C) має близькі значення як на Правобережжі, так і Лівобережжі та становлять від 2500–2900°C з тривалістю періоду активної вегетації 160–170 днів. Винятком є крайня південна область Подільсько-Придніпровського краю, де сума активних температур зростає до 3200°C, а тривалість періоду активної вегетації збільшується на 10 днів. Сума ефективної температури повітря (сума середньої добової температури вище +5°C) і сума середньодобової температури повітря вище 0°C мають подібний розподіл. Для лісостепової зони України перший показник становить 1900–2200°C, другий 3000–3400°C. На півдні Подільсько-Придніпровського краю 2400°C і 3600°C відповідно. Тривалість вегетаційного періоду з кількістю днів із середньодобовою температурою повітря +5°C і вище для Придніпровських країв лісостепової зони не є однаковою. На Лівобережжі – 200–210 днів, на Правобережжі – 210–220 днів [3].

Максимум опадів в Лісостепу України, як і в цілому на території усієї держави, випадає в теплий період року. Протягом теплового періоду року (квітень–жовтень) Правобережжя отримує від 450 до 325 мм опадів, а Лівобережжя – 400–325 мм. Однак, в порівнянні з Лівобережнодніпровським краєм, Подільсько-Придніпровський має менші показники кількості випадання опадів в холодний період (листопад–березень) – 175–200 мм на відміну від першого – 200–225 мм. Кількість опадів за період активної вегетації (середньодобова температура повітря вище +10°C) більша на Правобережжі лісостепової зони і становить 380–310 мм, на Лівобережжі – 320–270 мм [5, 11].

З показниками зимових температур і кількістю опадів пов'язана середня кількість днів зі сніговим покривом. Для Правобережжя на 2007 р. вона складала 90 днів на півночі і 50 – на півдні. Лівобережжя лісостепової зони за рахунок більш північного розташування має показники у 100–80 днів [5].

Більшу кількість днів з відносною вологістю повітря, що перевищує 80 % (120–100 днів), зафіксовано в Лівобережнодніпровському краї. Для Подільсько-Придніпровського краю – 120–80 днів. Відносна вологість повітря менша за 30 % може бути від 30 до 10 днів на Лівобережжі і 30–20 днів – на Правобережжі [5].

Зміна річної температури повітря за багаторічною тенденцією має вищі показники на Лівобережжі лісостепової зони. За останні 100 років температура тут зросла більше ніж на 1°C. Для Правобережжя характерні менші темпи зростання температур за відповідний період, які на 2007 р. були в межах 0,8–0,4°C [5]. Помітних змін у показниках річної кількості опадів за багаторічною тенденцією не виявлено. Для усієї лісостепової зони вони близькі до норми [11].

Середня дата перших заморозків у повітрі восени для Лісостепу України припадає на 10 жовтня: в північно-східній частині Лівобережнодніпровського краю це 30 вересня–5 жовтня, а у південній частині Подільсько-Придніпровського краю – 15–20 жовтня. Останній заморозок у повітрі навесні в лісостеповій зоні України, в середньому, буває в межах 15–20 квітня. В північно-східній частині Лівобережнодніпровського лісостепового краю – пізніше за 25 квітня, на півдні Подільсько-Придніпровського краю – 10 квітня. Навесні з півдня, вздовж русла Дніпра, в Придніпровські райони лісостепової зони заходить тепле повітря, яке відсуває середню дату заморозків на Лівобережжі до 15 квітня [5].

Середня тривалість періоду без морозів у повітрі на більшій території лісостепової зони складає 160–180 днів. В північно-східній частині Лівобережнодніпровського краю – менше 160 днів, у південній частині Правобережжя і Лівобережжя – більше 180 днів [5].

Перші заморозки на поверхні ґрунту раніше спостерігаються на північному сході

Лівобережнодніпровського краю, приблизно 25 вересня, а на більшій території Лівобережжя – між 25 вересня і 1 жовтня. На Правобережжі, і Придніпровській низовинній області Лівобережжя, що тягнеться вздовж Дніпра, середні дати перших заморозків на поверхні ґрунту спостерігаються між 1 і 5 жовтня [5].

Середні дати останніх заморозків на поверхні ґрунту для лісостепової зони, визначені на основі багаторічних спостережень – це 25 квітня – 5 травня. Ізолінії з датою останніх заморозків 1 травня проходять вздовж правого берега Дніпра і по лінії Полтава-Чернігів, показуючи, що заморозки на більшій частині Полтавської області закінчуються раніше, ніж на прилеглих територіях. На Правобережжі останні заморозки після 1 травня рідко спостерігаються в межах річки Дністра і Південного Бугу. Середня тривалість безморозного періоду на поверхні ґрунту 150 днів. На північному сході Лівобережнодніпровського краю тривалість безморозного періоду зменшується до 140 днів [5].

Запаси продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту під зябом навесні у першій декаді квітня є вищими на Лівобережжі за рахунок як більшої кількості опадів, що випадають холодного періоду року, так і тривалішого періоду збереження снігового покриву. Показник змінюється з півночі на південь від понад 200 до 140 мм. Для Правобережжя у цьому ж напрямку він зменшується з 200 до 150 мм. Восени, у першій декаді листопада, запаси продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту під озимою пшеницею на більшій території лісостепової зони України коливаються від 140 до 80 мм. Винятком є північно-західна частина Подільсько-Придніпровського лісостепового краю, де запаси вологи досягають значень в 180 мм [5].

Більша частина Правобережного і Лівобережного Лісостепу належить до недостатньо-вологої, теплої агрокліматичної зони. Північно-західне Правобережжя, що вище лінії Вінниця–Київ належить до вологої, помірно-теплої агрокліматичної зони [5].

Загальна рівнинність Лівобережнодніпровського краю зумовлює слабку його дренажність і незначну густоту річкової сітки (0,15 км/км²) в межах Придніпровської низовини, яка в межах Полтавської рівнини значно вища (0,5 км/км²). Завдяки неглибокому заляганням засоленних ґрунтових вод трапляються солонцюваті ґрунти з солончаковою рослинністю. Має місце значна остепеність. Подільсько-Придніпровський край має більшу густоту річкової мережі, яка зменшується з північного заходу на південний схід і коливається від 0,7 до 0,1 км/км² [3, 7].

Поверхневі і підземні води, їх кількість і якість є одним із факторів, що впливають на вирощування рослин. Середнє значення мінералізації поверхневих вод в Придніпровських краях Лісостепу України суттєво не відрізняється і станом на 1990–2000 рр. становила 500–1000 мг/дм³, а середнє значення жор-

сткості 5–10 мг-екв/дм³ [5]. Загалом якість води у річках лісостепу характеризується як добра за станом, та досить чиста за ступенем забрудненості [12].

Глибина залягання перших від поверхні водоносних горизонтів в лісостеповій зоні коливається від 5 до 10 м. Подільсько-Придніпровський край сформувався в межах області гідрогеологічного масиву Українського щита, а Лівобережнодніпровський розташований в межах Дніпровського і Донецького артезіанських басейнів, тому останній має більші запаси підземних вод, які можна використовувати для зрошення під час посух. Підземні води мають гідрокарбонатний аніонний склад [5, 12].

Ґрунти чорноземи опідзолені і сірі лісові характерні для обох Придніпровських країв, однак низинний рельєф Лівобережного Лісостепу зумовлює значне поширення лучно-чорноземних ґрунтів. Площі під сірими лісовими ґрунтами, які відносяться до сильно- і середньо кислих з рН до 5,0 на Правобережжі, особливо в західній частині краю, у відсотковому відношенні є більшими, ніж на Лівобережжі лісостепової зони [3, 5, 13].

Чорноземи типові малогумусні, середньогумусні та сильно реградовані відносяться до особливо цінних ґрунтів. Вони мають високі показники внутрішньої енергії гумусу. До прикладу, у Полтавській області вони становлять 8,1–10,0 · 10⁸ ккал/га в 30 см шарі і 18,16–22,95 · 10⁸ ккал/га в гумусовому профілі, високу стійкість до забруднення і міграції забруднювачів, низьку здатність до самоочищення, нейтральний або близький до нейтрального показник рН (5,6–7,0). В структурі деградованих ґрунтів Правобережного лісостепу 80 % займають змиті ґрунти. На Лівобережжі в структурі деградованих ґрунтів переважають теж змиті ґрунти із часткою 51 %, ґрунти з легким механічним складом 26 %, решту – перезволожені, засолені і солонцюваті [5, 13].

Природна радіоактивність території притаманна Подільсько-Придніпровському краю, Лівобережнодніпровський край відноситься до територій зі слабким радіоактивним фоном [5].

Переважаючим типом природної рослинності Подільсько-Придніпровського краю є широколисті дубові ліси з домішками граба, клена, липи та інших видів, натомість Лівобережнодніпровський край представлений сосново-дубовими і дубовими лісами, в долинах річок – лучна і болотна рослинність. Сучасний рослинний покрив представлений на Лівобережжі лучними степами та остепненими луками та агрофітоценозами на їх місці. На Правобережжі лучні стеги та остепнені луки і агрофітоценози на їх місці поєднуються з агрофітоценозами на місці світлих дубових лісів, агрофітоценозами на місці букових, дубових, дубово-грабових лісів та дубовими і грабовими лісами [3, 5].

Домінуючими ландшафтами Лівобережжя є лучно-степові низинно-рівнинні і височинні ландшафти, в поєднанні з лучно-степовими низовинними, нато-

мість на Правобережжі переважають ландшафти лісостепові височинні розчленовані, лучно-степові височинні розчленовані та терасові. В річкових долинах обох Придніпровських лісостепових країв поширені заплавні і лісостепові борові ландшафти [3, 5].

Природно-територіальні комплекси Подільсько-Придніпровського краю сформувалися в умовах переважання підвищеного рельєфу, на лесах, що перекривають кристалічні породи Українського щита, достатнього зволоження і розвитку зсувних процесів, а Лівобережнодніпровського краю – в умовах низинного рельєфу, на лесоподібних суглинках, що перекривають осадові породи Дніпровсько-Донецької западини, достатнього зволоження, але більш континентального клімату і розвитку процесів заболочування прируслових долин [6, 7].

Хорольський ботанічний сад, як пункт інтродукції субтропічних плодових культур, розташований в південній частині Північнополтавської височинної області Лівобережнодніпровського лісостепового краю, для якого характерні мало розчленовані лучно-степові межиріччя з чорноземами мало- і середньо гумусними, яружно-балкові і заплавні місцевості, западини з болотами і солончаками [3]. Південну частину фізико-географічної області займає Ромоданівсько-Миргородський фізико-географічний район [5]. Розташоване м. Хорол на Полтавщині. Ця місцевість має певні кліматичні переваги, які не є типовими для основної території Лівобережнодніпровського краю: більша кількість годин сонячного сяйва на рік (2000), сумарна сонячна радіація за літній період (1800°C), сума позитивних температур повітря за теплий період (3200°C), сума активної температури (2800°C), тривалість безморозного періоду, яка пов'язана з більш пізніми заморозками (середня дата 10 жовтня), і більш ранніми строками останніх заморозків (середня дата 15 квітня) [5].

Головні висновки. Загалом, природні умови обох Придніпровських країв є сприятливими для розвитку рослинництва, ведення садівництва, включаючи інтродуковані субтропічні плодові культури. Однак, незначну перевагу має Правобережжя за рахунок більшої кількості сумарної сонячної радіації, суми активних температур, більшої кількості годин сонячного сяйва, більш м'якої зими, більшого зволоження і кращої якості ґрунтів.

Враховуючи чималу кількість опублікованих праць з інтродукції субтропічних плодових культур в Лісостепу України, варто впровадити у практику, оформлюючи результати досліджень, вказувати не лише природну зону, а і її край. Це дасть незаперечну перевагу та ефективність під час пошуку необхідної інформації науковцям, адже збільшення обсягу джерел та їх різноманітність ускладнює пошук.

Перспективи подальших досліджень у цьому напрямку. Перспективою подальших наукових досліджень є збір сучасних метеопказників по Хорольському ботанічному саду за даними місцевих метеостанцій з метою аналізу їх динаміки.

Література

1. Шищенко П. Г. Лісостепова фізико-географічна зона *Географічна енциклопедія України* : у 3 т. / за ред. О. М. Маринича та ін. Київ : «Українська радянська енциклопедія» ім. М. П. Бажана, 1990. Т. 2. С. 283–284.
2. Маринич О. М., Пархоменко Г. О., Петренко О. М. Шищенко П. Г. Удосконалена схема фізико-географічного районування України. *Укр. географ. журнал*. 2003. № 1. С. 16–21.
3. Маринич О. М., Шищенко П. Г. Фізична географія України : підручник. Вид. 3-тє, стер. Київ : Т-во «Знання», КОО, 2006. 479 с.
4. Маринич О. М., Шищенко П. Г. Фізико-географічне районування. *Географічна енциклопедія України* : у 3 т. / за ред. О. М. Маринич та ін. Київ : «Українська радянська енциклопедія» ім. М. П. Бажана, 1993. Т. 3. С. 340–343.
5. Національний атлас України. Київ : ДНВП «Картографія», 2007. 440 с.
6. Шищенко П. Г. Дністровсько-Придніпровська лісостепова провінція. *Географічна енциклопедія України* : у 3 т. / за ред. О. М. Маринич та ін. Київ : «Українська радянська енциклопедія» ім. М. П. Бажана, 1989. Т. 1. С. 345–346.
7. Шищенко П. Г. Лівобережно-Дніпровська лісостепова провінція. *Географічна енциклопедія України* : у 3 т. / за ред. О. М. Маринич та ін. Київ : «Українська радянська енциклопедія» ім. М. П. Бажана, 1990. Т. 2. С. 271.
8. Комплексний атлас України [Карті] / за ред. Л. М. Веклич ; Держ. ком. з природ рес. України, Держ. наук.-вироб. п-во «Картографія». Київ : Картографія, 2005. 98 с.
9. Рибченко Л. С., Савчук С. В. Потенціал геліоенергетичних кліматичних ресурсів сонячної радіації в Україні. *Український географічний журнал*. 2015. № 4. С. 16–23.
10. Рибченко Л. С., Савчук С. В. Коливання тривалості сонячного сьйва в Україні в сучасних умовах. *Глобальні та регіональні зміни клімату* : Міжнар. конф. (16–19 листопада). Київ, Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут. 2010.
11. Барабаш М. Б., Корж Т. В., Татарчук О. Г. Дослідження змін та коливань опадів на рубежі XX і XXI ст. в умовах потепління глобального клімату. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2004. Вип. 253. С. 92–102 URL : https://uhmi.org.ua/pub/np/253/8_Barabash.pdf.
12. Гідрохімія річок Лівобережного лісостепу України : навч. посіб. / Хільчевський В. К. та ін. ; за ред.. В. К. Хільчевського, В. А. Сташука. Київ : Ніка-Центр, 2014. 230 с.
13. Медведєв В. В., Пліско І. В., Бігун О. М. Діагностика, параметри і географія особливо цінних ґрунтів в Україні. *Вісник аграрної науки*. 2014. № 3. С. 11–17.

СУЧАСНИЙ СТАН СМАРАГДОВОЇ МЕРЕЖІ КИЇВЩИНИ

Бондар К.О., Волошина Н.О., Місецька Л.О., Місецький А.С., Шевченко В.Г.

Український державний університет імені Михайла Драгоманова

вул. Пирогова, 9, 02000, м. Київ

katerynaexpert@gmail.com

Сучасний стан Смарагдової мережі Київщини потребує особливої уваги, оскільки події останніх воєнних років, безумовно, мають негативний вплив на них. Військова окупація частини території Київської області та активні бойові дії, подальша деокупація території, міграційні процеси, зведення фортифікаційних споруд, зміна логістичних шляхів, активізація деяких галузей економіки (лісгосподарська діяльність) будуть мати віддалені наслідки для природних екосистем, в тому числі для об'єктів Смарагдової мережі Київщини. **Метою статті** є аналіз сучасного стану територій і об'єктів Смарагдової мережі м. Київ та Київської області, наслідки військових дій для природних екосистем на частині окупованої території області та перспективні шляхи відновлення природоохоронних територій. **Методологія дослідження базується** на системному підході, традиційними методами аналізу і синтезу нормативно-правової бази щодо природоохоронних заходів, а також пошук екологічно обґрунтованих шляхів для пом'якшення екологічних наслідків від військових дій. **Наукова новизна роботи** полягає в розробці цілісного та системного управління лісами на територіях забруднених вибухонебезпечними предметами задля підвищення безпеки лісгосподарського персоналу та представників інших служб, місцевого населення, а також для збереження цінних екологічних систем та відновлення уражених і зруйнованих територій і об'єктів ПЗФ. **Висновки.** Запропоновано, аналіз сучасного стану територій і об'єктів Смарагдової мережі м. Київ та Київської області, наслідки військових дій для природних екосистем на частині окупованої території області та перспективні шляхи відновлення природоохоронних територій. Розроблено методичний контент, системного підходу, традиційними методами аналізу і синтезу нормативно-правової бази щодо природоохоронних заходів, а також пошук екологічно обґрунтованих шляхів для пом'якшення екологічних наслідків від військових дій. *Ключові слова:* Смарагдова мережа, природні оселища, флора, фауна.

Current state of the emerald network of Kyiv. Bondar K., Voloshyna N., Misetska L., Misetskiy A., Shevchenko V.

The current state of the Emerald Network of the Kyiv region needs special attention, since the events of the last war years certainly have a negative impact on them. The military occupation of part of the territory of the Kyiv region and active hostilities, the further de-occupation of the territory, migration processes, the construction of fortifications, the change of logistics routes, the activation of some branches of the economy (forestry activities) will have far-reaching consequences for natural ecosystems, including the objects of Smaragdova networks of Kyiv region. **The purpose** of the article is to analyze the current state of the territories and objects of the Emerald Network in the city of Kyiv and the Kyiv region, the consequences of military actions for natural ecosystems in part of the occupied territory of the region, and promising ways to restore nature conservation areas. **The research methodology** is based on a systematic approach, traditional methods of analysis and synthesis of the legal framework for environmental protection measures, as well as the search for environmentally sound ways to mitigate the environmental consequences of military actions. **The scientific novelty** of the work consists in the development of a holistic and systematic management of forests in the territories contaminated by explosive objects in order to increase the safety of forestry personnel and representatives of other services, the local population, as well as to preserve valuable ecological systems and restore affected and destroyed territories and objects of PZF. **Conclusions.** An analysis of the current state of the territories and objects of the Emerald Network in Kyiv and the Kyiv region, the consequences of military actions for natural ecosystems in part of the occupied territory of the region, and promising ways to restore nature conservation areas is proposed. The methodical content, system approach, traditional methods of analysis and synthesis of the regulatory and legal framework regarding environmental protection measures, as well as the search for environmentally sound ways to mitigate the environmental consequences of military actions, have been developed. *Key words:* Emerald network, natural habitats, flora, fauna.

Постановка проблеми. Смарагдова мережа (Emerald Network) є одним із ключових інструментів для уніфікації природоохоронної діяльності в європейських державах, що не є членами Європейського Союзу (ЄС). Вона розробляється як частина імплементації Бернської конвенції про охорону дикої флори та фауни і природних середовищ існування в Європі (Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats) (1979), а також в рамках виконання вимог Угоди про асоціацію між Україною і Європейським Союзом (2014). За десятилітній

період на теренах України створено значну кількість об'єктів Смарагдової мережі, більша частина з яких включає об'єкти і території природно-заповідного фонду загальнодержавного значення, з визначеним охоронним статусом та з урахуванням критеріїв ASCI – Територіям Особливого Природоохоронного Інтересу (Areas of Special Conservation Interest, ASCI), що є необхідною умовою для включення перспективної території до мережі Emerald.

Від початку повномасштабного військового вторгнення агресора на територію України під загрозою

знищення опинилися 2,9 млн. га територій Смарагдової мережі, що включені до 160 об'єктів, які є частиною природоохоронної мережі Європи та охороняються в межах Законодавства ЄС та Ради Європи [1].

Новизна. Сучасний стан Смарагдової мережі Київщини потребує особливої уваги, оскільки події останніх воєнних років, безумовно, мають негативний вплив на них. Військова окупація частини території Київської області та активні бойові дії, подальша деокупація території, міграційні процеси, зведення фортифікаційних споруд, зміна логістичних шляхів, активізація деяких галузей економіки (лісгосподарська діяльність) будуть мати віддалені наслідки для природних екосистем, в тому числі для об'єктів Смарагдової мережі Київщини. Чинники такого впливу, їх ступінь, рівень загрози для компонентів біоценозів ще потрібно з'ясувати та проаналізувати віддалені наслідки.

Аналіз джерел та останніх досліджень. На початок 2023 р. фактична площа територій і об'єктів природно-заповідного фонду міста Києва становить 21 517,41 га, що складає 0,52 % від загальнодержавної площі територій та об'єктів ПЗФ та 25,8 % від загальної площі м. Києва. З них до об'єктів загальнодержавного значення за зайнятою площею належать 54,9 % та місцевого значення – 45,1 % від загальної площі природно-заповідного фонду м. Києва [2].

На території Київської області налічується 247 територій та об'єктів природно-заповідного фонду, загальною (фактичною) площею – 292,7 тис. га, що становить 10,41 % від адміністративної площі області. З них 25 об'єктів загальнодержавного значення, що займають площу 308 434,62 га та 222 місцевого значення – 36 139,15 га [3].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Вивчення стану об'єктів Смарагдової мережі Київщини носить фрагментарний характер і присвячено переважно дослідженню об'єктів і територій природно-заповідного фонду, які, в переважній більшості, включені до смарагдових об'єктів. Питання Смарагдових об'єктів Київщини досліджували Куземко А. та співавт. (2023), Вишенська І.Г. та співавт. (2023), Борисенко К.А. (2021), Полянська К.В. та співавт. (2017), Онищенко В.А. і Андрієнко Т.Л. (2012) та ін.

Метою статті є аналіз сучасного стану територій і об'єктів Смарагдової мережі м. Київ та Київської області, наслідки військових дій для природних екосистем на частині окупованої території області та перспективні шляхи відновлення природоохоронних територій.

Методологічне або загальнонаукове значення. Застосовували системний підхід, традиційні методи аналізу і синтезу, було проведено бібліографічний огляд сучасних міжнародних і вітчизняних джерел інформації, нормативно-правової бази щодо природоохоронних заходів, а також пошук екологічно

обґрунтованих шляхів для пом'якшення екологічних наслідків від військових дій. Визначення, терміни та концепції використано відповідно до міжнародної практики.

Виклад основного матеріалу. Київська область розташована в континентальному біорегіоні на межі лісової і лісостепової зон. За фізико-географічним районуванням територія належить до Київської височинної області Подільсько-Придніпровського лісостепового краю (плакорні урочища) та Північно-Придніпровської терасної низовинної області Лівобережно-Дніпровського лісостепового краю (решта території) [4].

За геоботанічним районуванням (Національний атлас України, 2008) Київщина належить до двох округів: Північного Правобережно-дніпровського округу грабово-дубових, дубових лісів, остепнених лук та лучних степів і Лівобережнодніпровського округу липово-дубових, соснових (на терасах) лісів, лук, галофітної та болотної рослинності. Обидва округи належать до Східноєвропейської лісостепової провінції Євразійської степової області.

В м. Київ та Київській області станом на 01.01.2024 р. налічують 16 об'єктів та 3 – пропонуються до включення до мережі Emerald, тобто занесено до «тіньового» списку: Rzhyshchiv gulches (UA0000566), Hirskiy Tikych river basin (UA0000385) і Left bank floodplain of the Dnieper river (UA0000474) [5].

Шість смарагдових об'єктів знаходяться територіально в межах Київської області : Irgin river valley (UA0000342), Holosiivskiy National Nature Park (UA0000043), Kyivske Reservoir (UA0000094), Kyivske Podesennia (UA0000233), Ponyzia Stuhny (UA0000175), Chornobylskiy Biosphere Reserve (UA0000046), решта – частково включені до сусідніх областей.

Смарагдові об'єкти в межах області представлені водними – 9 об'єктів та лісовими і лучними екосистемами – 7. Більшість природних біотопів міста Києва представлені широколистяними і мішаними лісовими масивами [6].

За даними програми Emerald Network Viewer <https://emerald.eea.europa.eu/> загальну характеристику об'єктів Смарагдової мережі Київської області наведено у табл. 1.

Об'єкти Смарагдової мережі що займають 13,8 % площі області з перспективою до її розширення до показника 19 % [1].

Найбільший за площею смарагдовий об'єкт Chornobylskiy Biosphere Reserve (UA0000046) займає площу 227 381,00 га, більшу частину якого займають природні оселища типів G1.A1: Ліси Quercus – Fraxinus – Carpinus betulus на евтрофних і мезотрофних ґрунтах (800 га), E3.4: Мокрі або вологі евтрофні і мезотрофні луки (8000 га), D5.2: Зарості крупних осок переважно без застою води (2000 га). Тут реєструють 25 типів біотопів під охороною Резолюції 4 Бернської конвенції.

Характеристика об'єктів Смарагдової мережі Київської області

| Код об'єкту мережі | Назва об'єкту мережі | Площа, га | Кількість об'єктів охорони (види, оселища), шт | | | | | | | | | |
|--------------------|---|------------|--|-------|--------|-------------|----------|---------|------|---------|-------------|--|
| | | | Оселища | птахи | Ссавці | безхребетні | Рептилії | амфібії | риби | Рослини | Всі таксони | |
| UA0000094 | Kyivske Reservoir | 54 422,00 | 12 | 38 | 2 | 9 | - | 2 | 21 | 4 | 88 | |
| UA0000320 | Teteriv river valley | 51 710,29 | - | 2 | 1 | - | 1 | 2 | 1 | 2 | 9 | |
| UA0000342 | Irpın river valley | 15 038,97 | - | 1 | 2 | 4 | 2 | 2 | 5 | - | 16 | |
| UA0000043 | Holosiivskiy National Nature Park | 11 080,00 | 22 | 30 | 2 | 15 | 4 | 2 | 2 | 13 | 90 | |
| UA0000111 | Kanivske Reservoir | 67 264,00 | 19 | 99 | 4 | 11 | 3 | 2 | 21 | 10 | 169 | |
| UA0000161 | Unava | 13 331,00 | 7 | 26 | 2 | 5 | 1 | 1 | 3 | 2 | 47 | |
| UA0000175 | Ponyzia Stuhny | 6 830,00 | 10 | 34 | 3 | 22 | 1 | 2 | 9 | 5 | 86 | |
| UA0000337 | Divychky | 19 036,47 | - | 4 | - | 6 | 1 | 1 | 13 | 9 | 34 | |
| UA0000272 | Ros river valley | 90 800,07 | 24 | 3 | - | 3 | 1 | 1 | 6 | 9 | 47 | |
| UA0000338 | Pryirpinnya and Chernychyi Forest | 6 094,74 | - | 4 | 5 | 4 | 2 | 2 | - | 27 | 44 | |
| UA0000046 | Chornobylskiy Biosphere Reserve | 227 381,00 | 25 | 56 | 7 | 24 | 1 | 2 | 21 | 8 | 144 | |
| UA0000233 | Kyivske Podesennia | 20 621,00 | 23 | 28 | - | 1 | - | 1 | 19 | 3 | 75 | |
| UA0000351 | Tulyntsi – Makedony | 832,60 | 3 | - | - | 1 | - | - | - | 8 | 12 | |
| UA0000385 | Hirskiy Tikych river basin | 61 757,34 | 17 | 16 | - | 6 | 1 | 2 | 2 | 5 | 49 | |
| UA0000566 | Rzhyschiv gulches | 27 688,85 | 5 | 2 | 1 | 3 | 1 | 2 | - | 1 | 15 | |
| UA0000474 | Left bank floodplain of the Dnieper river | | | | | | | | | | | |

В Holosiivskiy National Nature Park (UA0000043) переважають біотоми типів G3.4232: Сарматські ліси степової зони з *Pinus sylvestris* (2300 га), G1.A1: Ліси *Quercus* – *Fraxinus* – *Carpinus betulus* на евтрофних і мезотрофних ґрунтах (800 га) та G1.7: Термофільні листопадні ліси (500 га).

Найбільший за площею водний смарагдовий об'єкт Київщини – Kyivske Reservoir (UA0000094) займає площу 54 422,00 га. Найбільші площі в ньому представлені типом C1.33: Вкорінена занурена рослинність евтрофних водойм. (100 га)

Серед водних об'єктів найвищі показники цінних для збереження біотопів представлено в об'єкті Ros river valley (UA0000272) – 24 та Kyivske Podesennia (UA0000233) – 23.

Використовуючи дані онлайн-ресурсу GBIF, можна візуалізувати щільність цінних для збереження видів рослин і тварин на території Київщини. Сервіс візуалізує дані, що свідчать про наявність популяцій видів флори і фауни із переліків Резолюції 6 Бернської конвенції, занесених до Червоної книги України, регіонально рідкісних видів.

Наявність на території природних оселищ із Резолюції 4 Бернської конвенції та видів флори

і фауни, що занесені до Резолюції 6 Бернської конвенції дозволяє визначити відповідність оцінюваної ділянки критеріям ASCI – особливого природоохоронного інтересу, а відповідно є основою для створення Смарагдового об'єкту [7].

На рис. 1–8 візуалізовано представленість видів, що охороняється Резолюцією 6 Бернської конвенції в межах м. Київ та адміністративних районів Київської області. Найвищу щільність охоронюваних видів флори і фауни реєструють на ділянках, що включені до меж об'єктів та територій Смарагдової мережі. Висока щільність знахідок видів в межах м. Київ, на нашу думку, пояснюється значною вивченістю території та розташуванням смарагдових об'єктів в межах міста, де такі види знаходяться під охороною та забороняються господарська діяльність.

Також, відмічено високу представленість видів Бернської конвенції на території Вишгородського р-ну, що пов'язано з його географічним розташуванням поблизу річок, які виділено у два об'єкти Смарагдової мережі: Kyivske Reservoir (UA0000094) і Kyivske Podesennia (UA0000233). Подібну картину спостерігаємо в Обухівському районі

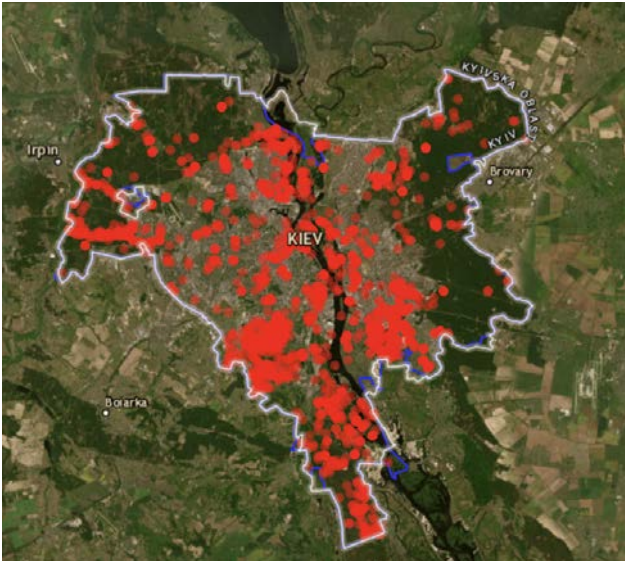


Рис. 1. Представленість видів Бернської конвенції на території м. Київ

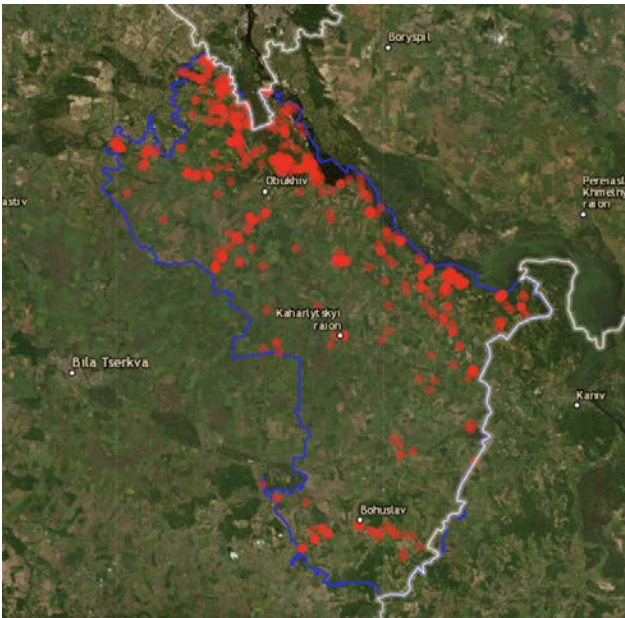


Рис. 2. Представленість видів Бернської конвенції на території Обухівського р-ну

уздовж об'єкту Kanivske Reservoir (UA0000111) і Фастівському – Unava (UA0000161) та Irpin river valley (UA0000342).

Особливу увагу привертають до себе проєктовані об'єкти Смарагдової мережі, зокрема, об'єкт «Ржищівські балки» – Rzhyschiv gulches (UA0000566), загальною площею 27 688,85 га, що розташований в межах Київської (Обухівський район) та Черкаської (Черкаський район) областей.

Основними загрозами для цінних природних територій є господарська діяльність, що впливає на видовий склад угруповань, показники видового

багатства та різноманітності угруповань, а також їх екологічні властивості.

У ході досліджень біорізноманіття у Ржищівській міській об'єднаній територіальній громаді встановлено 965 таксонів рослин, із яких 700 – аборигенні, а 264 – адвентивні. Зокрема, дослідниками були виявлені 68 нових для флори таксонів вищих судинних рослин, серед них 44 – аборигенні, 23 – адвентивні види, в тому числі види занесені до Червоної книги України. Проведений моніторинг лучно-степової рослинності [8].

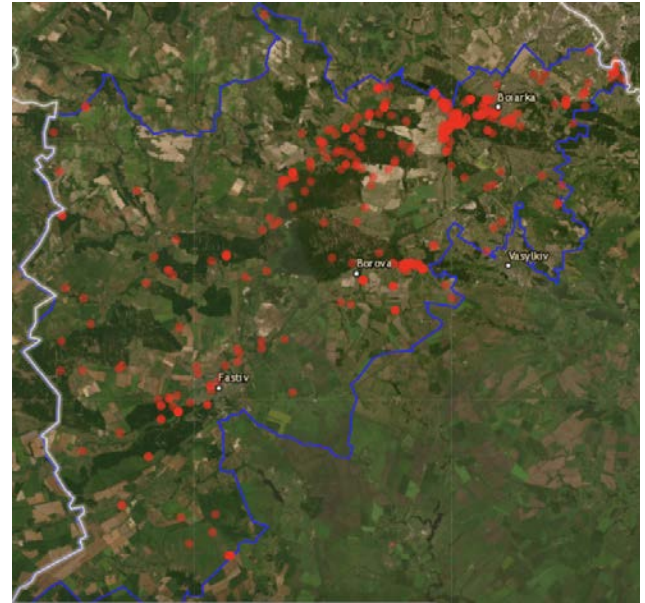


Рис. 3. Представленість видів Бернської конвенції на території Фастівського р-ну

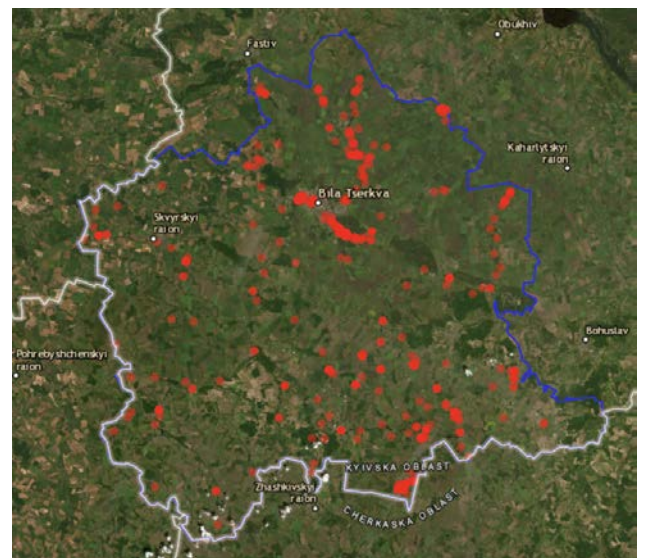


Рис. 4. Представленість видів Бернської конвенції на території Білоцерківський р-ну

Особливістю смарагдових об'єктів Київщини є значна різноманітність зайнятих ними територій відносно антропогенного тиску. Так, Chornobylskyi

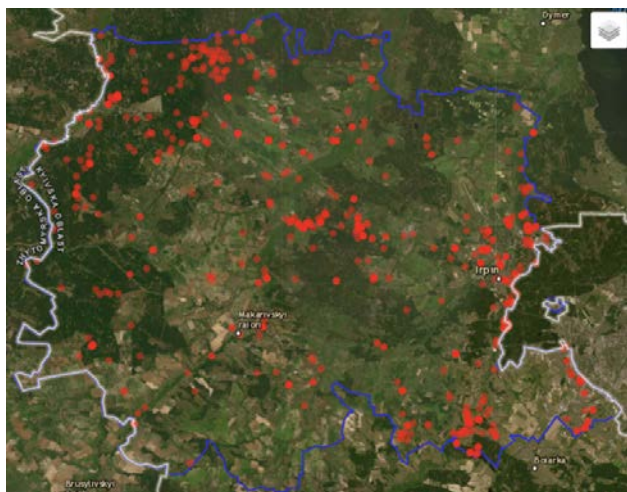


Рис. 5. Представленість видів Бернської конвенції на території Бучанського р-ну

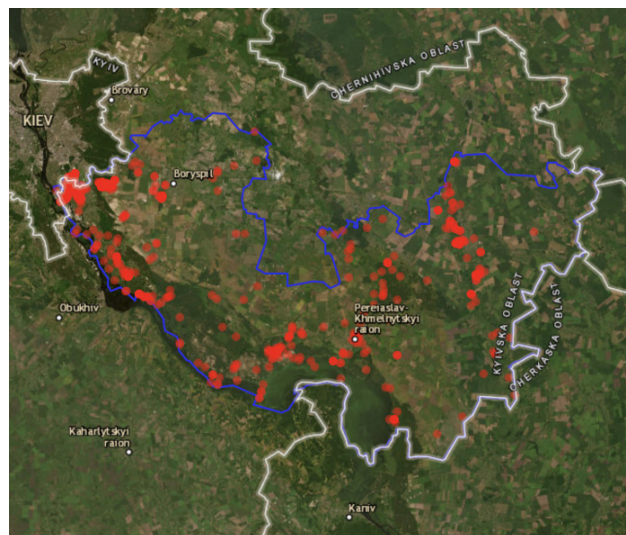


Рис. 7. Представленість видів Бернської конвенції на території Бориспільського р-ну

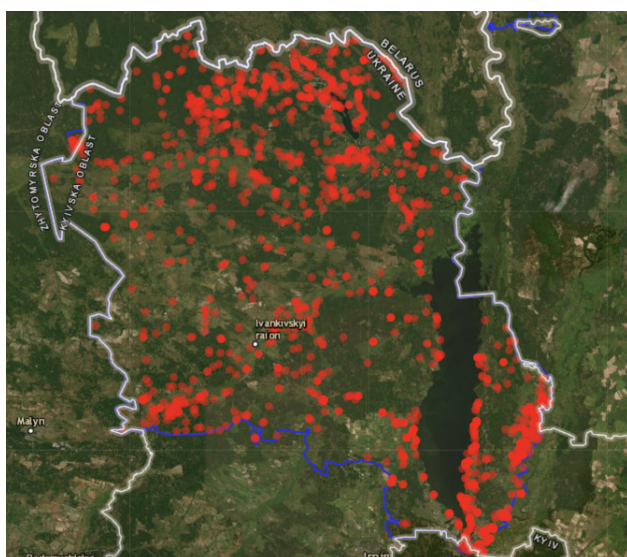


Рис. 6. Представленість видів Бернської конвенції на території Вишгородського р-ну

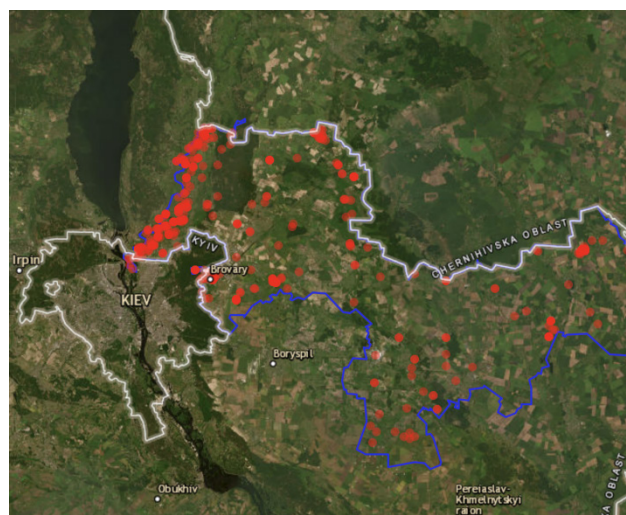


Рис. 8. Представленість видів Бернської конвенції на території Броварського р-ну

Biosphere Reserve (UA0000046) упродовж понад 30-ти років не відчував потужного антропогенного тиску порівняно з такими об'єктами як Київське Резервуар (UA0000094) або Holosiivskyi National Nature Park (UA0000043), які знаходяться в міській зоні та зазнають значних трансформацій. Збереження біотопів в межах таких об'єктів є важливим завданням для досягнення цілей екологічної стратегії м. Києва і збереження біологічного різноманіття [6].

Провівши аналіз об'єктів Смарагдової мережі Київської області, можна зробити висновок, що представленість лісових екосистем характерна для Київське Резервуар (UA0000094) – 14,5 % лісостості, Mizhrichynskyi Regional Landscape Park (UA0000047) – 20 % лісостості, Holosiivskyi National Nature Park (UA0000043) – 10% лісостості, Pryirpynna and Cherechy Forest (UA0000338) – 7 % лісостості,

Chornobylskyi Biosphere Reserve (UA0000046) – 30 % лісостості (рис. 8).

Лісова рослинність на території смарагдових об'єктів Київщини представлена флористично-багатими листяними лісами з представництвом дуба черешчатого, граба звичайного, липи серцелистої, ясеня звичайного, клена гостролистого, берези повислої та осики. Наявні також дубово-соснові ліси, в травостоях яких сполучаються бореальні та неморальні види. Значну роль грають вільшаник з домішкою берези повислої.

Представленість різноманітних ландшафтів зумовлює поєднання лісових масивів з ділянками сосново-дубових, дубово-грабових та моновидових соснових лісів. Наявні фрагменти старовікових дібров з переважанням ліщиново-яглицевих угруповань. Дубово-грабові ліси представлені, переважно,



Рис. 9. Аналіз об'єктів Смарагдової мережі Київської області за поширеністю лісових екосистем

крушиново-ліщиново-яглицевими ценозами характерними для Українського Полісся.

Ліси м. Києва належать до категорії рекреаційно-оздоровчих лісів та лісів природоохоронного, наукового, історико-культурного призначення [2]. У Київській області станом на 2023 р. функціонувало понад 20 постійних лісокористувачів, власників лісів, у користуванні яких є лісові ділянки [3].

Сьогодні в умовах повномасштабної війни на території України виникли безпрецедентні загрози для природоохоронних територій. Заданими Міністерства захисту довкілля і природних ресурсів України станом на кінець 2023 р. понад 20 % природоохоронних територій уражено війною, з них 812 об'єктів ПЗФ на площі 0,9 млн. га та 160 територій Смарагдової мережі на площі 2,9 млн. га, де пошкоджено цінні природні оселища, рослинні угруповання і місцезнаходження раритетних видів флори і фауни.

Частина Київщини знаходилася в окупації в лютому і березні 2022 року (Вишгородський, Броварський і Бучанський райони).

Найбільше пожеж з початку війни відбулося у березні – 67 % загальної площі пожеж, з яких 52 % – це пожежі на сільськогосподарських угіддях, а 11 % – лісові пожежі. В Житомирській, Київській, Харківській областях та Чорнобильській зоні відчуження небезпечні зони, де пошкоджені і потенційно забруднені боєприпасами, вибухонебезпечними предметами та пошкоджені рослинними пожежами території сягають 126–165 тис. га. На рис. 9. Представлено дані лісоуправління щодо просторового розташування пожеж, спричинених активними

бойовими діями в період з 24 лютого 2022 р. й до кінця червня [10].

Сьогодні ведеться активний пошук та апробація нових підходів щодо розробки цілісного та системного управління лісами на територіях забруднених вибухонебезпечними предметами задля підвищення безпеки лісгосподарського персоналу та представників інших служб, місцевого населення, а також для збереження цінних екологічних систем та відновлення уражених і зруйнованих територій і об'єктів ПЗФ. Крім того, доступ до окремих територій навіть через роки від початку війни та на деокупованих територіях є важкодоступним через створення фортифікаційних споруд, створених ліній оборони, особливо на прикордонних ділянках. Дієвими вважають підходи на основі дистанційного зондування Землі та веб-системи постійного моніторингу шкоди завданої від військових дій [9].

Найбільші лісові території Київщини де зосереджено найбільші площі зайняті об'єктами і територіями природно-заповідного фонду та Смарагдової мережі, були окуповані. Негативного прямого і опосередкованого впливу зазнали природні оселища раритетних рослин та популяції диких тварин. Серед мисливських видів тварин зараз на третьому році війни реєструють пік зростання чисельності популяції копитних, обумовлений відсутністю мисливського та рекреаційного пресу, контролю популяції з боку людини, що матиме віддалені наслідки для підтримуючої здатності природних екосистем, спалахами видоспецифічних епізоотій, проявами внутрішньовидової та міжвидової конкуренції тощо [10].

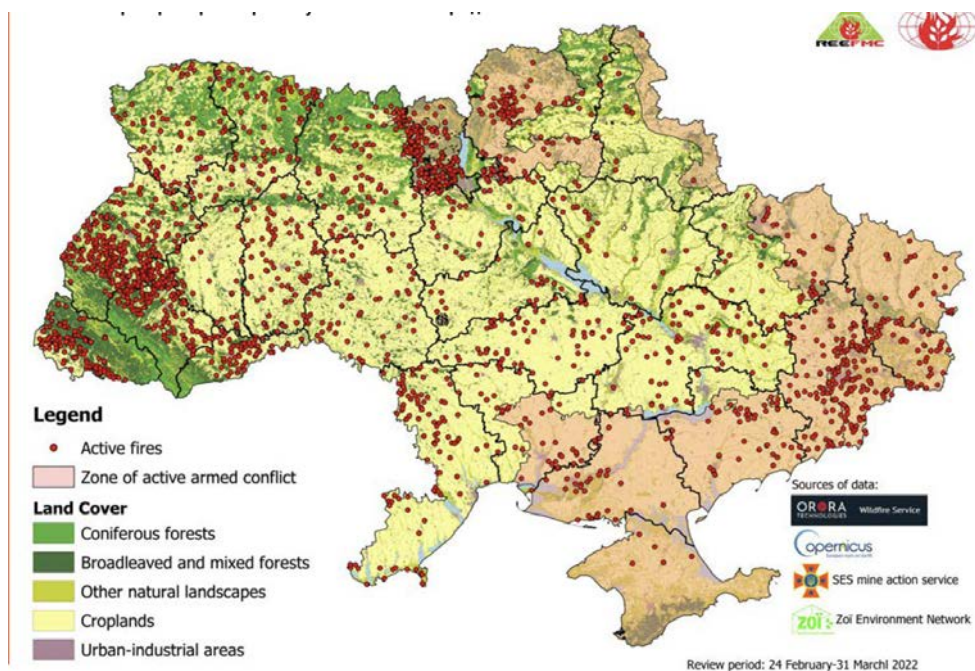


Рис. 10. Інформація про площі пожеж, їх кількість та розподіл в межах різних типів земного покриття на території України в період з 24.02.2022 р. по 31.03.2022 р.

Головні висновки. Отже, сучасний стан територій і об'єктів Смарагдової мережі м. Київ та Київської області за даними Міністерства захисту довкілля і природних ресурсів України станом на кінець 2023 р. понад 20 % природоохоронних територій уражено війною, з них 812 об'єктів ПЗФ на площі 0,9 млн. га та 160 територій Смарагдової мережі на площі 2,9 млн. га, де пошкоджено цінні природні оселища, рослинні угруповання і місцезнаходження раритетних видів флори і фауни.

Перспективи використання результатів дослідження. Сьогодні ведеться активний пошук

та апробація нових підходів щодо розробки цілісного та системного управління лісами на територіях забруднених вибухонебезпечними предметами задля підвищення безпеки лісогосподарського персоналу та представників інших служб, місцевого населення, а також для збереження цінних екологічних систем та відновлення уражених і зруйнованих територій і об'єктів ПЗФ. Надалі роботу щодо вдосконалення стану ПЗФ доцільно проводити у напрямку розширення використання спостереження та аналітики.

Література

- Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/04/Ekologichnyj-rasport-Kyuyivska-oblast.pdf> <https://mepr.gov.ua/> (дата звернення 05.01.2024).
- Екологічний паспорт Київської області. 2022. 200 с. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/04/Ekologichnyj-rasport-Kyuyivska-oblast.pdf> (дата звернення 05.01.2024).
- Екологічний паспорт міста Києва за 2023 р. 2022. 159 с. URL: <https://ecodep.kyivcity.gov.ua/files/2023/10/11/ekopasport.pdf> (дата звернення 05.01.2024).
- Фіторізноманіття заповідників і національних природних парків України. Ч.2. Національні природні парки / Колектив авторів під ред. В.А. Онищенко і Т.Л. Андрієнко. – Київ: Фітосоціоцентр, 2012. – 580 с.
- Програма Emerald Network Viewer URL: <https://emerald.eea.europa.eu/> (дата звернення 05.01.2024).
- Вишенська І. Г., Крамаренко А. О., Травінська А. О. Наукові записки НаУКМА. Біологія і екологія. 2023. Том 6. С. 41-47. DOI:10.18523/2617-4529.2023.6.41-47 https://www.researchgate.net/publication/373089927_Monitoring_of_the_floristic_diversity_of_the_Teremky_Tract_of_the_Holosiiivskiy_National_Nature_Park_in_the_conditions_of_anthropogenic_load
- GBIF.org 16 November 2023 GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.96h6ma>
- Наукові праці Екологічної дослідницької станції «Глибокі Балики», відокремленого підрозділу ГО «МЕУ». Біорізноманіття Ржищівської міської об'єднаної територіальної громади / за ред. А. Куземко, Ю. Куцоконь, О. Василюка. – Вип. 2. – Чернівці: Друк Арт, 2023. – 488 с.
- Лісоуправління на територіях, забруднених вибухонебезпечними предметами / С.В. Зібцев, О.М. Сошенський, Й.Г. Голдаммер, В.В. Миронюк, О.А. Борсук, В.В. Гуменюк, В.Л. Мешкова, О.В. Василюк, І.Ф. Букша – WWF-Україна, 2022. – 148 с.
- Voloshyna, N., Voloshyn, O., Sushko, D., Dubinskyi, D., & Karpenko, Yu. (2022). Ecological Mechanisms of Sus Scrofa Population Regulation in Modern Conditions. *Scientific Horizons*, 25(2), 65-75. [https://doi.org/10.48077/scihor.25\(2\).2022.65-75](https://doi.org/10.48077/scihor.25(2).2022.65-75)
- Заповідна справа: навч. посібник / О.В. Мудрак, Г.В. Мудрак. – Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2020. – 640 с.

ВПЛИВ КЛІМАТИЧНИХ УМОВ НА СЕЗОННИЙ РОЗВИТОК РАРИТЕТНИХ ВИДІВ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН ДЕНДРОПАРКУ «ОЛЕКСАНДРІЯ» НА ПОЧАТКУ ХХІ СТОЛІТТЯ

Калашнікова Л.В.¹, Бойко Н.С.¹, Силенко О.В.^{1,2}, Солошенко В.С.¹, Дорошенко Ю.В.¹

¹Державний дендрологічний парк «Олександрія»

Національної академії наук України

09113, м. Біла Церква

²Державна установа «Інститут еволюційної екології

Національної академії наук України»

вул. академіка Лебедєва, 37, 03143, м. Київ

kalashnikovaluda@gmail.com, index_bc@ukr.net

Наведено інформацію про характер змін кліматичних факторів – температурного режиму та вологозабезпечення у перші десятиріччя ХХІ століття на території дендропарку «Олександрія», який за фізико-географічним зонуванням розташований у Правобережному Лісостепу України. Згідно проведеного аналізу метеоданих Білоцерківської метеостанції у 2005–2009 рр. і 2018–2022 рр. з'ясували, що температурні показники у перший період спостережень виявилися вищими за середні багаторічні на 0,4°C – 2,1°C і потепління клімату відбувалося за рахунок холодної частини року, переважали нетривалі зими. У 2018–2022 рр. середні температурні показники були вищими порівняно з нормою клімату на 1°C – 2,9°C і, вперше за період метеорологічних досліджень, в Україні у 2020 р. не було зафіксовано календарної зими. Продовжувалася тенденція різкого коливання весняних температур (травень 2018 р., квітень 2019 р.) і скорочення весняного періоду, а спекотна температура припадала на І декаду травня – І декаду червня. За результатами оброблених даних про кількість опадів за роки досліджень зафіксовано тенденцію до суттєвого зменшення вологозабезпечення у регіоні: середня кількість опадів у 2006–2008 рр. була нижче норми на 11–20 %, а у 2009 р. – на 30 %, що призводило до скорочення фенофази цвітіння, спричиняло втрату тургору, скручування, швидке засихання і опадання листків та відсутність фенофази зав'язування плодів у деяких раритетних видів. Посушливі умови виснажували деревні рослини, які втрачали стійкість до ураження шкідниками і хворобами. Доведено, що регіональні кліматичні зміни впливають на терміни сезонного розвитку автохтонних та інтродукованих раритетних видів деревних рослин, а саме подовжують їх за рахунок більш раннього початку весняних фенофаз та значно пізнішого закінчення осінніх: у 2005–2009 рр. – на 7–42 днів; у 2018–2022 рр. – 10–78 днів.

Доведено, що регіональні кліматичні зміни відображаються на термінах сезонного розвитку автохтонних та інтродукованих раритетних видів деревних рослин, які подовжуються за рахунок того, що початок весняних фенофаз стає більш раннім, а осінніх – пізнішим: у 2005–2009 рр. – на 7–42 днів, 2018–2022 рр. – 10–78 днів. *Ключові слова:* зміни клімату, температура повітря, кількість опадів, вегетаційний період, раритетні рослини.

The influence of climatic conditions on the seasonal development of rare species of woody plants in the dendrological park "Olexandria" at the beginning of the 21st century. Kalashnikova L., Boiko N., Sylenko O., Soloshenko V., Doroshenko Yu.

The article provides information on the climatic changes of two main factors observed in the first decades of the 21st century: the temperature regime and moisture supply on the territory of the dendrological park "Olexandria," located in the right-bank forest-steppe of Ukraine according to physical and geographical zoning. The analysis of weather data collected from the weather station of Bila Tserkva in two different periods, i.e. 2005–2009 and 2018–2022, shows that the temperature in the first period was higher by 0.4°C – 2.1°C compared to the long-term average. Furthermore, the climate was observed to be warming during the cold part of the year with shorter winters being more common. In 2018–2022, the average temperature indicators were found to be higher than the climate norm by 1°C – 2.9°C. Additionally, it was observed that in 2020, no calendar winter was recorded, which is a first in Ukraine's meteorological history. The trend of sharp fluctuations in spring temperatures (in May 2018 and April 2019) and the shortening of the spring period continued. Furthermore, hot temperatures were observed at the end of spring and the beginning of summer, specifically from May to June. The data analysis conducted on the amount of precipitation over the years of research showcased a significant decrease in moisture supply in the region. This decrease was noted by the below-average amount of precipitation in 2006–2008, which was 11–20 % below the norm, and in 2009, it was 30 % below the norm. As a result, the flowers of plants bloomed for a shorter duration, leaves twisted and fell off at a faster rate, and some rare species did not produce fruits.

This drought condition weakened woody plants, making them vulnerable to pests and diseases and having lost their stability. The research has also proven that regional climatic changes affect the seasonal development of autochthonous and introduced rare species of woody plants. The terms of seasonal development have been lengthened because the beginning of spring phenophases is now earlier, and autumn is later: 7–42 days longer between 2005–2009 and 10–78 days longer between 2018–2022. *Key words:* climatic changes, air temperature, precipitation amount, seasonal development, rare species, woody plants.

Постановка проблеми. Кліматичні зміни стають все актуальнішою проблемою для збереження автохтонних та інтродукованих раритетних видів

рослин у дендропарку «Олександрія». У прийнятій у 2020 р. «Стратегії біорізноманіття ЄС до 2030 року: Повернення природи у наше життя» зазначено, що

глобальна зміна клімату є однією з головних причин розробки документу. Україна є лідером серед європейських держав, 54 % території якої розорано і використовується у сільському господарстві, тому значні площі природних середовищ втрачено. Таким чином, українці вже відчули неминучість та силу природних катаклізмів, викликаних глобальними кліматичними змінами і нагальну потребу у збереженні та відновленні втраченого біорізноманіття [1]. Під впливом кліматичних змін для автохтонних та інтродукованих рослин дендропарку «Олександрія» виникають нові умови існування, які відображаються у порушенні строків сезонного розвитку і впливають на їх життєздатність, особливо це стосується раритетних видів, найуразливіших до будь яких відмінностей навколишнього середовища.

Актуальність дослідження. Ритми сезонного розвитку рослин (фенофази) сформувалися в процесі філогенезу як пристосування до сезонних змін кліматичних умов. Автохтонним рослинам властивий ритм процесів спокою, росту й розвитку, який відповідає процесам клімату даної місцевості. Для інтродукованих рослин ритми сезонного розвитку залежать від характеру погодних умов поточного та попереднього років, а фенофази можуть варіювати у строках відповідно до умов місцевого клімату. Головним критерієм оцінки перспективності інтродуцента в умовах культивування є ступінь відповідності динаміки сезонного розвитку рослини метеорологічним умовам району інтродукції. Із фенологічними характеристиками пов'язані зимостійкість, посухостійкість, морфологічні характеристики надземних органів рослин, показники генерації тощо [2, 3]. Тому аналіз аномалій регіонального клімату є важливим для визначення можливостей успішної адаптації та проходження злагоджених вегетаційних процесів раритетних рослин.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження проводилися у відповідності з науково-дослідницькими темами дендрологічного парку «Олександрія» НАН України «Збереження та раціональне використання фітогеноту дендропарку «Олександрія» НАН України на початку XXI століття (2008–2012 рр.) і «Збереження та збагачення фіторізноманітності у ценозах дендропарку «Олександрія» НАН України в сучасних умовах зміни клімату» (2018–2022 рр.).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Правобережна лісостепова зона України, де розташовано дендропарк «Олександрія», вклинюється до басейну Дніпра і зайнята його річковою долиною, що позначається на поширенні деревних рослин з переважанням дібровних типів лісу. Головними факторами формування і розповсюдження лісів цієї формації є зміни клімату із півночі на південь та із заходу на схід, а також ступінь подрібненості рельєфу [4]. Згідно Ф. Гриня і А. Барбарича [5, 6]

територія дендропарку «Олександрія» лежить в зоні дубово-грабових лісів. Вікова діброва дендропарку є оселищем для 20 автохтонних видів деревних рослин, які в останні роки залучено до «червонокнижних» списків міжнародного значення, крім цього, у паркових ландшафтних композиціях зберігаються 167 видів та міжвидових таксонів інтродукованих деревних рослин, які мають соціологічний статус різного ступеня раритетності.

Клімат регіону досліджень помірно-континентальний з відносно теплою зимою і достатнім зволоженням на заході та нестійким на сході. За багаторічними спостереженнями ця зона характеризувалася тим, що річна кількість вологи, яка поступала з атмосферними опадами, приблизно дорівнювала випаровуванню, ймовірність різних за зволоженням років був наступним: сухих – 2 %, посушливих – 11 %, напівпосушливих – 25 %, напіввологих – 30 %, вологих – 24 % та помірно вологих – 8 %. Південна межа Лісостепу проходила через Подільськ – Кіровоград – Кременчук – Полтаву – Харків [7].

За прогнозами синоптиків, Україну у XXI столітті, чекатимуть різкі коливання температури: від сильних морозів взимку – до сильної спеки літку і великого дефіциту вологи.

Характерною рисою сучасного клімату стає потепління та аридизація, які проявляються в аномально теплих зимах з тривалими відлигами, підвищенні середньорічної і середньомінімальної температур. І як наслідок, відбувається зсув зон волого- та теплозабезпечення у напрямку з півдня на північ території України, де лімітуючим фактором стає вологість [8]. За даними Я. Білик, Ю. Гринюк підвищення температури на 1°C зсуває зональну межу в середньому на 100 км, а температура лісостепової зони за останні десять років зросла на 2°C, тому межа її змістилася на відстань до 200 км, разом з цим збільшилася кількість аномалій, спостерігаються різкі коливання температур, значно зросла кількість днів із надзвичайно високими температурами повітря, коли денна температура перевищувала 30–35°C. Перехідний весняний період стає дуже коротким [9]. На зміни континентальності клімату, через інтенсивне підвищення температури повітря в окремі місяці холодного періоду в Поліссі та Лісостепу, вказують О.О. Врублевська і Т.Л. Касаджик [10]. Таким чином, за кліматичними показниками зона розташування дендропарку «Олександрія» стає подібною до зони Північного степу (зона посушлива, дуже спекотна), до якої раніше належала Кіровоградська область. За даними Міжнародної групи експертів ООН з питань зміни клімату (IPCC), останні п'ять років (2018–2022) були найспекотнішими за всю історію спостережень з 1850 р., що вплинуло на всі природні процеси, зокрема на вміст вологи у повітрі та ґрунті і, як наслідок, на розвиток біоти. Як зазначає Я.П. Дідух, для оптимальних умов існування рослин необхідна наявність певної сукупності умов, і опо-

середкований вплив зміни клімату є вагомим, ніж лише підвищення температури та зміна термо- і омборежимів. Клімат виступає як пусковий механізм, що впливає на всі природні процеси і для більшості рослин його зміни стають критичними при підвищенні температури у межах між 1,5–2,5 °C [11].

Наші дослідження підтвердили, що раритетні види деревних рослин в умовах дендропарку «Олександрія» намагаються пристосуватися, однак можливості адаптації відстають від темпів змін зовнішніх чинників, тому слід змістити акценти на впровадження заходів задля мінімізації негативних впливів.

Метою роботи було проаналізувати зміни регіонального клімату та їх вплив на проходження фенологічних фаз раритетних деревних рослин дендропарку «Олександрія». Для досягнення мети визначено такі основні завдання: проаналізувати середні показники погодних умов та динаміку їх змін на початку XXI століття у регіоні досліджень (дендропарк «Олександрія»); з'ясувати терміни і тривалість проходження фенофаз раритетних видів деревних рослин, які пов'язані зі змінами регіонального клімату.

Наукова новизна отриманих результатів досліджень – за багаторічними моніторингом упродовж першого двадцятиріччя XXI ст. з'ясовано вплив температурних змін і режиму вологозабезпеченості на сезонну динаміку розвитку та фенологічну амплітуду проходження фенологічних фаз раритетних видів деревних рослин в умовах дендропарку «Олександрія».

Методологічне або загальнонаукове значення.

Для аналізу кліматичних умов у регіоні досліджень було опрацьовано архівні дані Білоцерківської метеостанції Центральної геофізичної обсерваторії України упродовж 2005–2009 рр. та 2018–2022 рр. Для графічного вираження особливостей погодних умов у роки досліджень застосували метод омбротермічних діаграм Г. Госсена – Г. Вальтера, який містить порівняння середньомісячних температур (°C) з кількістю середньомісячних опадів (мм), переведених у показник °C (20 мм опадів дорівнюють 10°C). За діаграмами місяць вважається сухим, коли кількість опадів (мм) менша подвійного значення температури (°C), тобто коли крива температур проходить вище кривої опадів, коли нижче – вологий. Площа між кривою температур і кривою опадів показує протяжність, а по вертикалі – інтенсивність напівпосушливого періоду. Для візуалізації результатів було використано пакет «Microsoft Office Excel» 2010. Спостереження сезонних феноритмів раритетних видів деревних рослин проводили за фазами: початок вегетації, початок пиління і цвітіння, опадання листя, тривалість вегетаційного періоду.

Викладення основного матеріалу. За багаторічними показниками Білоцерківської метеорологічної станції Центральної геофізичної обсерваторії

України, середня температура повітря становить +7,5°C з абсолютним мінімумом –36°C та максимумом +38°C, середня сума опадів за рік складає 562 мм і більша половина з них випадає саме у весняно-літній період, коли рослини найбільше потребують вологи. Середня річна відносна вологість становить 76 %. Число сонячних днів в середньому – 46, хмарних – 146. Домінують вітри західних румбів. Важливим фактором для доброї перезимівлі деревних рослин є наявність снігового покриву, але в роки досліджень число днів зі сніговим покривом скоротилося від 85 днів (багаторічне середнє значення) до 47 в 2018 р. і до 10 днів в 2020 р., а характерними ознаками зимового періоду стають ожеледь і мокрий сніг. Такі кліматичні умови завдають суттєвої шкоди вічнозеленим дендрозофітам, а чергування морозів із відлигами, які стали регулярними ознаками зимово-весняного періоду року, провокують передчасну вегетацію рослин і спричиняють пошкодження наступними морозами. Майже щорічно спостерігаємо різкі зміни температури від березня до травня, які призводять до пошкодження верхівкових та генеративних бруньок.

За даними температурних показників 2005–2009 рр. з'ясували, що вони були вищі за середні багаторічні на 0,4°C – 2,1°C, потепління клімату продовжувалося і відбувалося за рахунок холодної частини року (аномальними були зимові середньомісячні та абсолютні мінімальні температури у 2007–2008 рр.). Переважали нетривалі зими, а до категорії рекордно «тепліх зим» належить зима 2006/2007 рр. Серед весняних місяців значне підвищення температури відмічали у 2008 р. і 2009 р., яке поступово подовжувалося у літній сезон (з травня по серпень), що призводило до висушування повітря і ґрунту. Підвищення температури літніх місяців 2005 р. і 2006 р. відрізнялося від середніх багаторічних показників в межах 1°C, а у 2007–2009 рр. показники були вище середньої норми на 1,6°C – 2,1°C. Аномально зросли показники осінніх місяців, особливо температура жовтня (табл. 1).

Аналізуючи середні температурні показники періоду 2018–2022 рр., з'ясували, що вони були вищими, у порівнянні з нормою клімату, на 1°C – 2,9°C. Вперше за період метеорологічних досліджень в Україні у 2020 р. зафіксовано стан, коли не було календарної зими. Упродовж 2018–2022 рр. продовжувалася тенденція різкого коливання весняних температур температур (травень 2018 р., квітень 2019 р.) і скорочення весняного періоду, коли спекотна температура припадала на кінець весни (травень) – початок літа (червень). Помітно підвищився рівень температурних показників влітку та восени, зросла кількість літніх днів із надзвичайно високими температурами («хвилями тепла»), коли денна температура перевищувала 30–35°C. Сезонна динаміка клімату сприяє росту і розвитку таких інтродукованих теплолюбних раритетних видів деревних рослин, як *Abies cephalonica* Loud., *Cryptomeria japonica* (L.) D. Don,

Таблиця 1

Температурні показники повітря у регіоні досліджень упродовж 2005–2009 рр. і 2018–2022 рр.

| Роки | Середня температура місяця, °С | | | | | | | | | | | | Мах. доб. за рік, °С | Мін. доб. за рік, °С | Сер. за рік, °С |
|------------|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------------|----------------------|-----------------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | | | |
| 2005 | -1,0 | -6,0 | -1,8 | 9,7 | 15,8 | 16,7 | 20,3 | 19,4 | 14,8 | 8,2 | 1,7 | -2,3 | +36,3 | -25,9 | 8,0 |
| 2006 | -8,3 | -6,0 | -0,4 | 9,1 | 14,2 | 17,7 | 19,7 | 19,4 | 14,5 | 9,2 | 3,5 | 2,2 | +31,4 | -27,0 | 7,9 |
| 2007 | 1,7 | -4,0 | 5,7 | 8,6 | 18,6 | 20,1 | 21,5 | 20,5 | 14,5 | 8,8 | 0,4 | -1,1 | +36,2 | -18,6 | 9,6 |
| 2008 | -3,0 | 0,2 | 4,5 | 10,0 | 13,7 | 18,2 | 20,5 | 21,3 | 13,3 | 10,5 | 3,6 | -0,4 | +31,3 | -18,4 | 9,4 |
| 2009 | -4,1 | -1,8 | 2,2 | 10,3 | 14,9 | 20,4 | 20,7 | 18,3 | 16,3 | 9,1 | 4,7 | -2,9 | +34,2 | -29,5 | 9,1 |
| 2018 | -2,7 | -4,2 | -2,1 | 8,1 | 22,8 | 20,1 | 20,5 | 21,5 | 16,2 | 0,0 | -0,1 | -2,0 | +32,9 | -25,7 | 9,1 |
| 2019 | -5,1 | 0,4 | 4,7 | 10,0 | 16,7 | 22,0 | 20,2 | 20,2 | 15,3 | 10,5 | 5,0 | 2,5 | +35,2 | -22,9 | 10,1 |
| 2020 | 0,4 | 2,2 | 5,9 | 9,2 | 12,5 | 21,2 | 20,6 | 19,8 | 17,3 | 12,6 | 3,5 | -0,4 | +33,9 | -9,2 | 10,4 |
| 2021 | -2,5 | -5,1 | 1,9 | 7,4 | 14,0 | 19,9 | 23,1 | 19,9 | 12,7 | 7,2 | 4,6 | -1,5 | +33,4 | -23,1 | 8,5 |
| 2022 | -1,5 | 1,6 | 1,9 | 8,1 | 14,5 | 20,8 | 20,2 | 21,1 | 12,3 | 9,9 | 3,1 | -0,8 | +34,6 | -18,2 | 9,3 |
| Сер. багат | -5,9 | -4,4 | 0,3 | 8,4 | 14,9 | 17,8 | 19,0 | 18,4 | 13,8 | 7,8 | 2,0 | -2,1 | +38,0 | -36,0 | 7,5 |

Таблиця 2

Кількість опадів у регіоні досліджень упродовж 2005–2009 рр. і 2018–2022 рр.

| Роки | Сума опадів за місяць, мм | | | | | | | | | | | | Сер. відн. вол. % | Сума за рік, мм |
|-------------|---------------------------|------|------|------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|-------------------|-----------------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | | |
| 2005 | 44,9 | 44,9 | 31,0 | 77,7 | 44,8 | 73,8 | 19,9 | 78,7 | 51,5 | 43,4 | 26,7 | 59,4 | 76 | 596,7 |
| 2006 | 12,5 | 25,0 | 52,0 | 40,2 | 75,6 | 91,3 | 46,5 | 48,6 | 44,6 | 28,6 | 25,5 | 15,7 | 77 | 506,1 |
| 2007 | 27,4 | 46,9 | 11,1 | 7,9 | 25,2 | 73,0 | 82,2 | 121,2 | 41,6 | 17,2 | 63,8 | 23,1 | 74 | 540,6 |
| 2008 | 18,7 | 7,6 | 27,5 | 86,8 | 20,2 | 14,0 | 53,6 | 28,8 | 94,1 | 13,1 | 30,0 | 65,9 | 76 | 460,3 |
| 2009 | 19,8 | 39,4 | 34,8 | 0,1 | 32,5 | 30,5 | 104,6 | 18,8 | 10,0 | 24,9 | 18,7 | 67,1 | 73 | 391,2 |
| 2018 | 30,3 | 34,6 | 74,0 | 5,0 | 22,8 | 58,7 | 128,4 | 23,9 | 47,9 | 22,0 | 23,1 | 64,1 | 76 | 539,1 |
| 2019 | 40,4 | 21,4 | 23,4 | 45,5 | 54,0 | 79,2 | 41,2 | 17,1 | 19,2 | 6,1 | 23,4 | 35,1 | 72 | 406,1 |
| 2020 | 22,6 | 38,4 | 17,2 | 13,2 | 102,3 | 60,7 | 79,2 | 44,9 | 26,7 | 96,8 | 27,2 | 33,0 | 70 | 562,2 |
| 2021 | 40,0 | 47,7 | 21,2 | 28,9 | 99,3 | 35,3 | 46,3 | 56,0 | 16,8 | 0,6 | 20,1 | 50,3 | 75 | 462,5 |
| 2022 | 30,5 | 10,5 | 16,0 | 39,8 | 35,1 | 18,6 | 25,2 | 75,1 | 86,1 | 20,0 | 60,9 | 45,4 | 75 | 463,5 |
| Сер. баг-не | 35,0 | 33,0 | 30,0 | 47,0 | 46,0 | 73,0 | 85,0 | 60,0 | 35,0 | 33,0 | 41,0 | 44,0 | 76 | 562,0 |

Cunninghamia lanceolata (Lamb.) Hook., *Thuja dolabrata* (L.) Sieb. et Zucc., *Thuja koraensis* Nakai, *Thuja standishii* (Gordon) Cartiere та ін. і їх успішному вирощуванню на відкритих ділянках: Фактор адаптованості до холодних зим (зимостійкість) для інтродукованих дендрозофітів втрачає актуальність, першочерговим стає стійкість до посухи.

За результатами обробки даних кількості опадів за роки досліджень відмітили тенденцію до суттєвого зменшення вологозабезпечення у регіоні (табл. 2).

Аналізуючи зростаючу тенденцію до аридазації клімату, застосували омбротермічні діаграми, які відобразили вологозабезпечення по роках: у 2005 р. воно було сприятливим, хоча напівпосушливі періоди тривали у березні-травні, а піки посухи – липні та листопаді, що прискорило фенофазу листопаду раритетних дерев (рис. 1). У 2006 р. сума опадів була меншою ніж у 2005 р., але розподіл їх кількості був більш-менш рівномірним, хоча період посухи тривав із липня по жовтень (рис. 2).

У 2007 р. найсухішим став весняний період з березня по травень, проте влітку кількість опадів майже дорівнювала середнім багаторічним показникам, напівпосуха тривала у вересні-жовтні, що прискорило засихання та опадання листків. Дощі почалися тільки у листопаді, що сприяло кращій перезимівлі рослин після посушливого періоду (рис. 3). Особливо нерівномірним було вологозабезпечення у 2008 р., коли посухи чергувалися із опадами. Напівсухим був початок весни, проте у квітні кількість опадів вже перевищила середню норму, літо було сухим і спекотним, але вересень, а потім і грудень забезпечили надходження необхідної вологи для успішної перезимівлі рослин (рис. 4).

За цей період найсухішим видався 2009 р.: сильні посухи тривали у березні-травні, коли рослини особливо потребували вологи для росту пагонів і цвітіння, і в серпні-вересні – для зав'язування плодів (рис. 5).

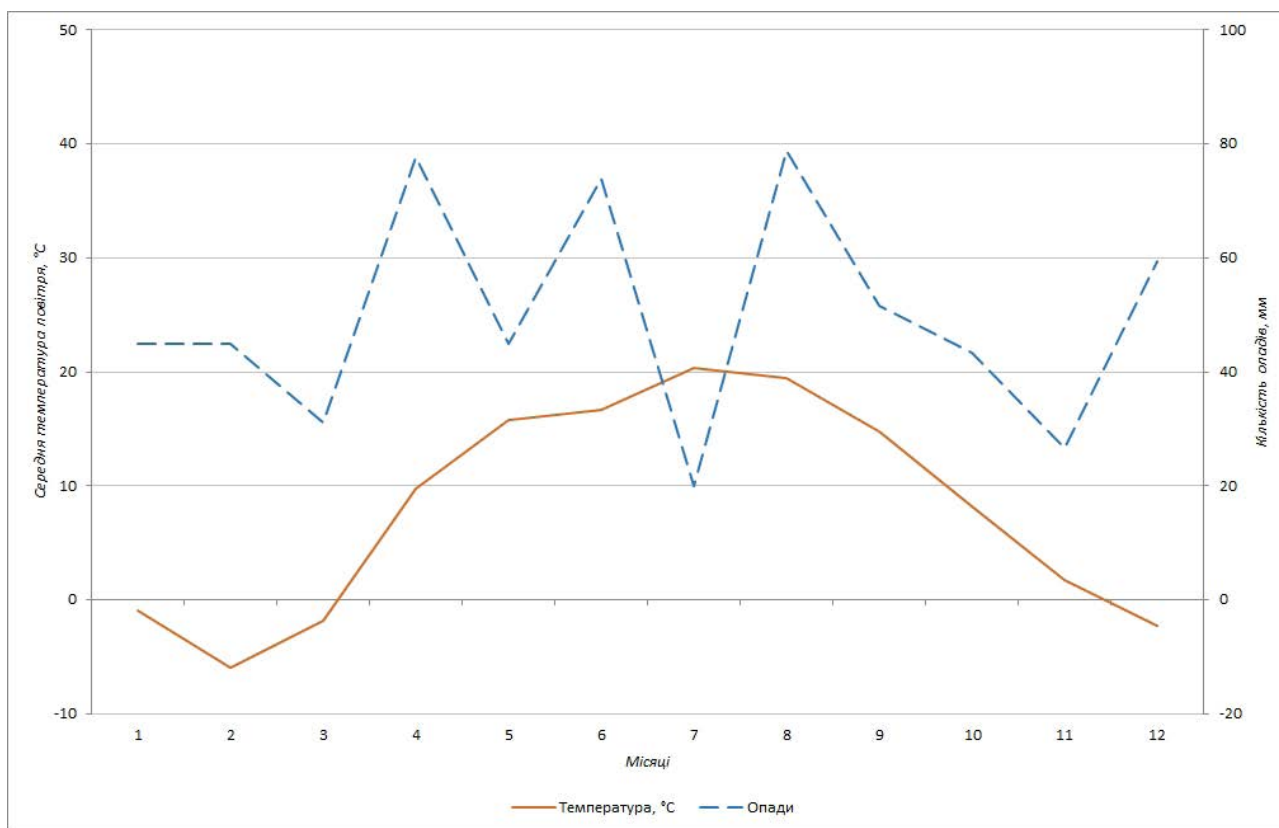


Рис. 1. Омбротермічна діаграма 2005 р.

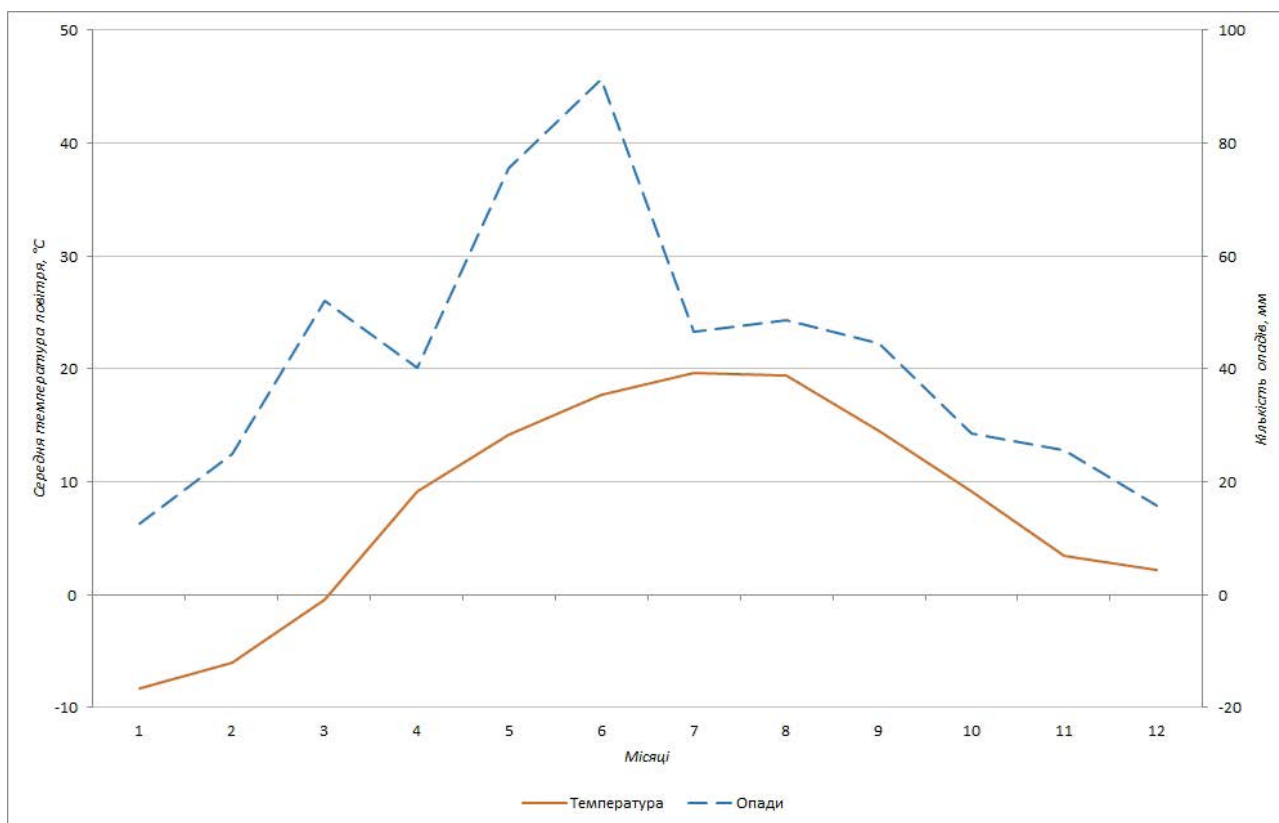


Рис. 2. Омбротермічна діаграма 2006 р.

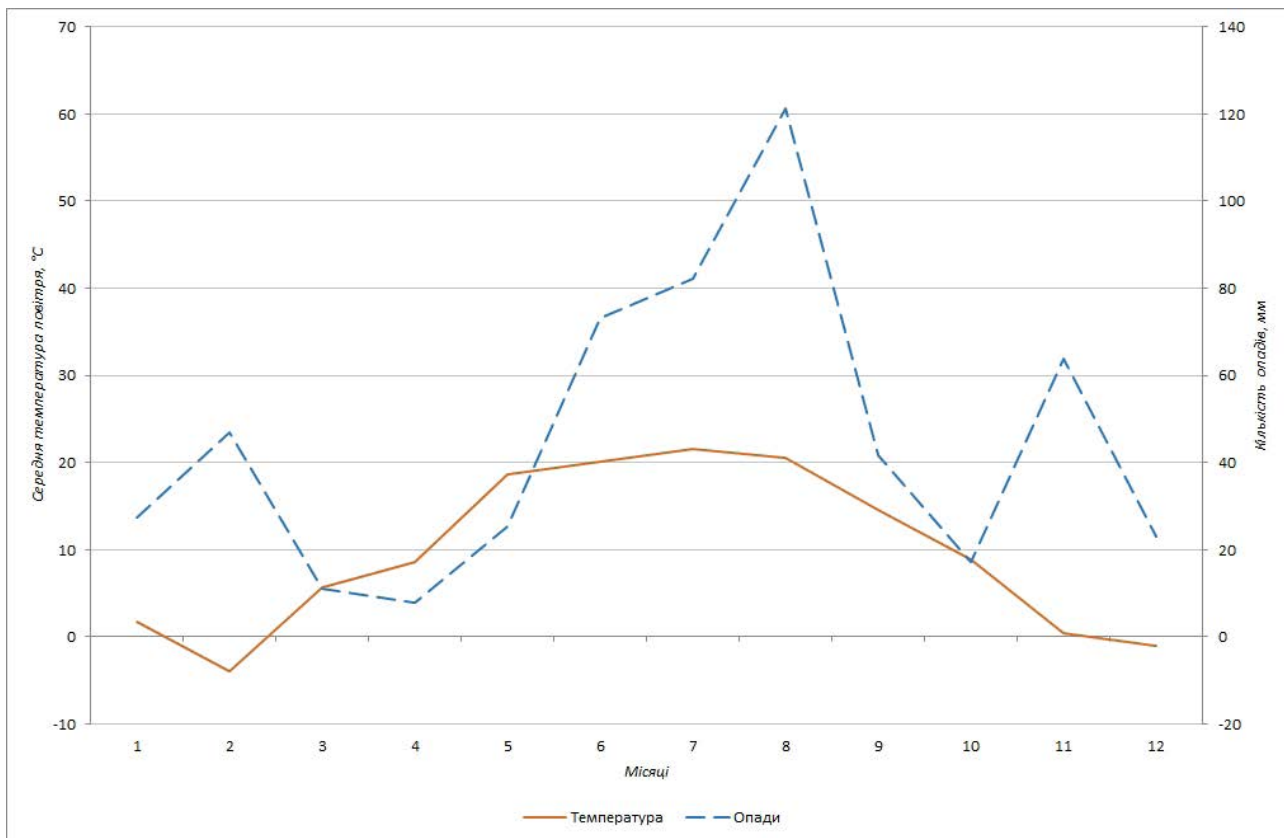


Рис. 3. Омбротермічна діаграма 2007 р.

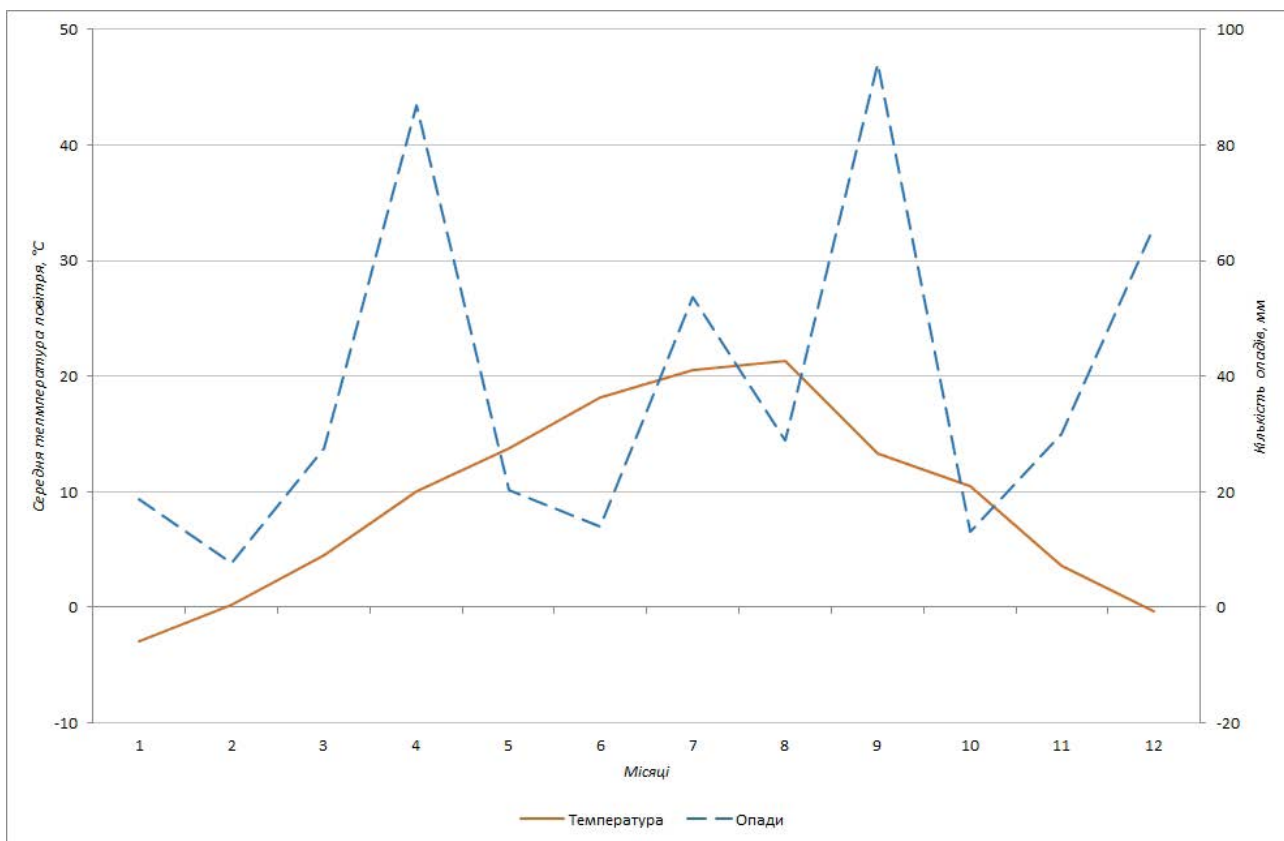


Рис. 4. Омбротермічна діаграма 2008 р.

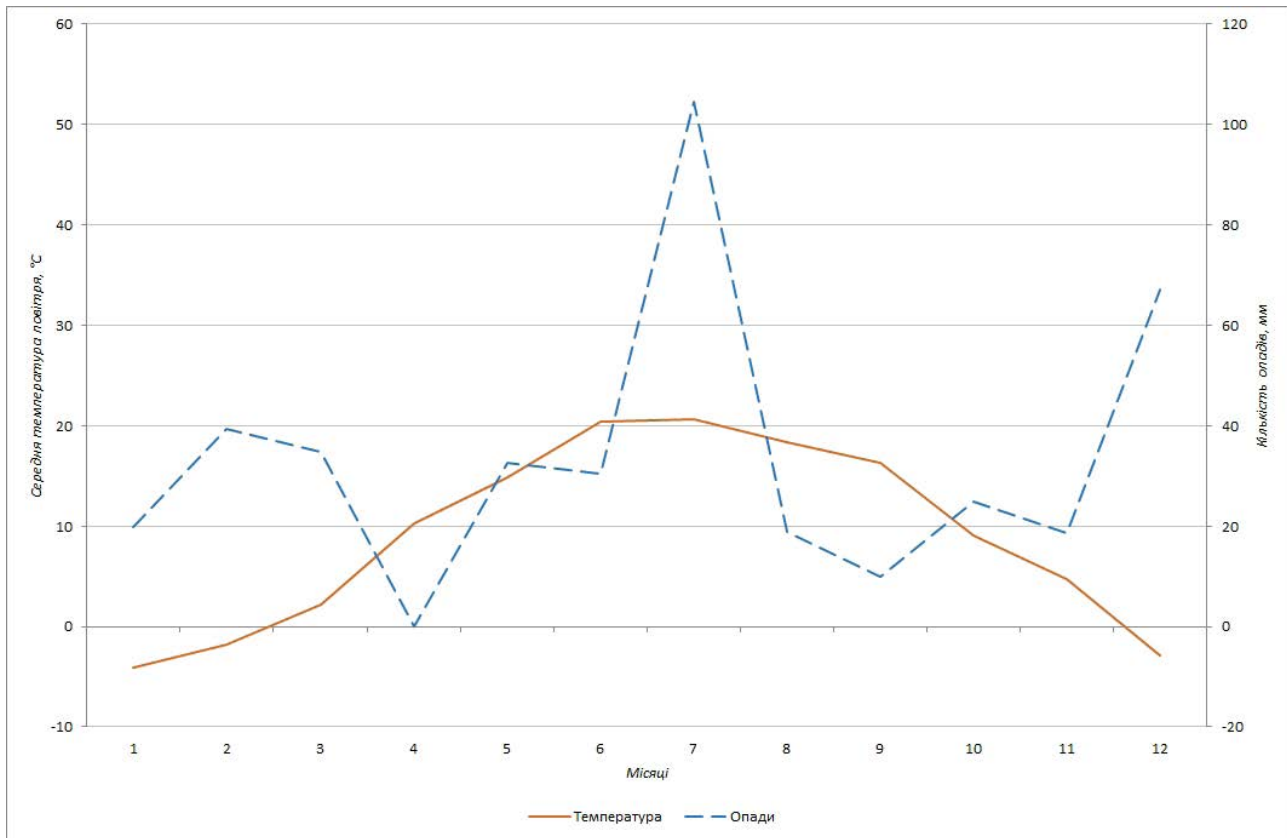


Рис. 5. Омбротермічна діаграма 2009 р.

Таблиця 3

Показники тривалості вегетаційного періоду у дендропарку «Олександрія» у 2005–2009 рр.

| Показники | Роки | | | | | Середнє багаторічне |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | |
| Початок вегетації, дати | 05.04 | 02.04 | 14.03 | 28.02 | 28.03 | 06.04–08.04 |
| Кінець вегетації, дати | 11.11 | 01.11 | 05.11 | 07.11 | 01.11 | 26.10–28.10 |
| Тривалість вегетації, днів | 221 | 213 | 237 | 252 | 217 | 200–210 |

Загалом, середня кількість опадів у 2006–2008 рр. була нижче норми на 11–20 %, а 2009 р. – на 30 %, що призводило до висушування повітря і ґрунту.

За багаторічними показниками початок вегетаційного періоду у регіоні досліджень припадав на 6–8 квітня (середня дата переходу температури через позначку +5°C), кінець вегетації – на 26–28 жовтня. Тривалість вегетаційного періоду становила 200–210 днів.

Аналізуючи метеодані за період досліджень, ми з'ясували, що тривалість вегетаційного періоду збільшилася у 2005 р. на 11 днів і складала 221, 2007 р. – 27 (213 днів), 2008 р. – 42 (237), 2009 р. – 7 (217). Найбільш аномальним виявився 2008 р., коли середня добова температура піднялася вище за +5°C з 28 лютого (табл. 3). Деревні рослини дуже чутливо реагували на зміни зовнішніх чинників і це відобразалося у скороченні фази цвітіння, скручуванні і прискореному засиханні, а потім і опаданні листків, деякі раритетні види не продукували плодів.

Аналіз кліматичних умов упродовж вегетаційних періодів 2018–2022 рр. також дозволив виді-

лити комплекс несприятливих факторів, які обмежували повноцінний розвиток раритетних видів деревних рослин. У 2018 р. сильні посухи фіксували на початку вегетації та у період цвітіння у квітні – червні, лише в липні випала надмірна кількість опадів, яка принесла необхідну вологу. Серпень був сухим, а найсухішим виявився жовтень (рис. 6). Вологозабезпечення весняного періоду 2019 р. було у межах норми і задовільнило потреби рослин. Посуха почалась у липні-серпні та перейшла на осінь, що прискорило засихання та швидке опадання листя. Дощі почалися тільки у листопаді, що сприяло кращій перезимівлі рослин після посушливого вегетаційного періоду. Річна сума опадів складала всього 406,0 мм і цей рік вважається найсухішим за період 2018–2022 рр. (рис. 7). Погодні умови 2020 р. стали значно сприятливішими для успішного росту і розвитку рослин. Короткі напівпосушливі умови спостерігали із середини березня до початку квітня і з середини вересня до I декади жовтня. Загалом річна сума опадів дорівнювала середній багаторічній (рис. 8).

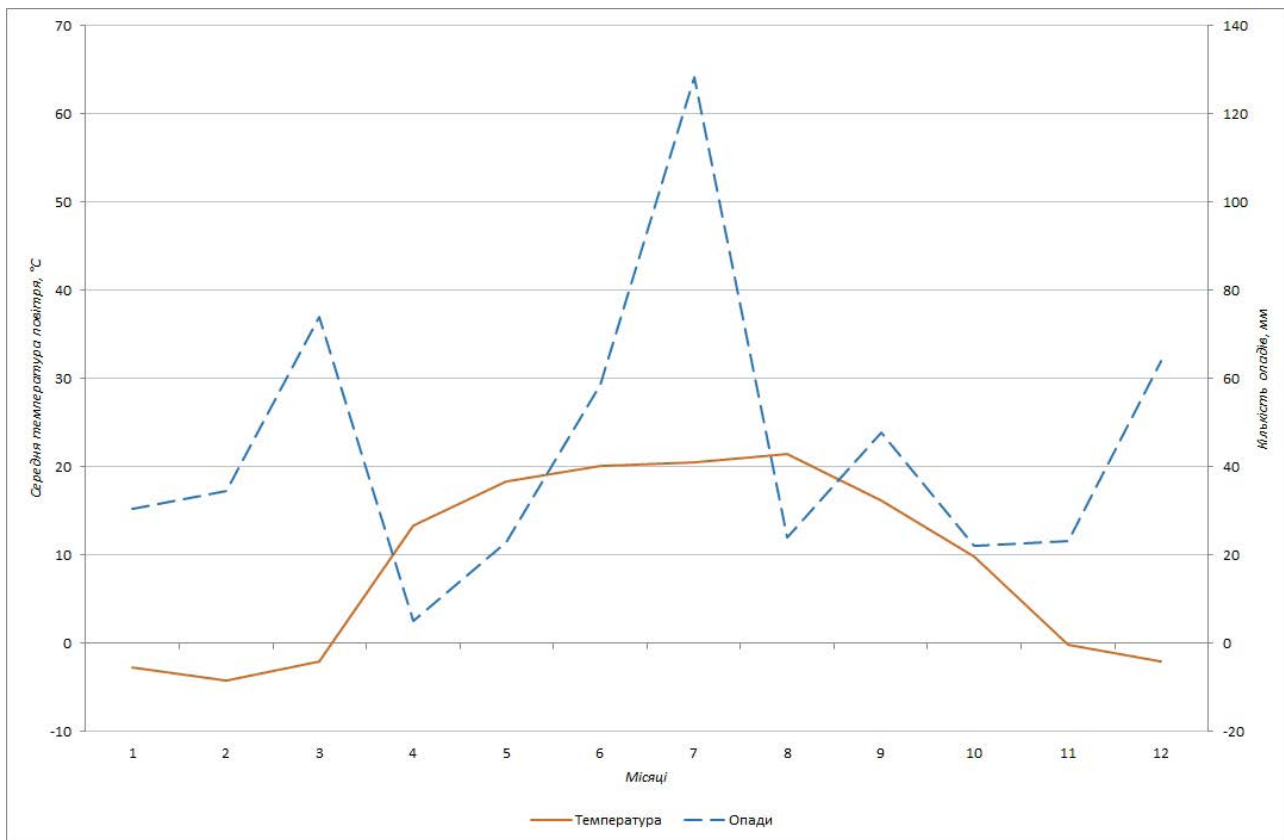


Рис. 6. Омротермічна діаграма 2018 р.

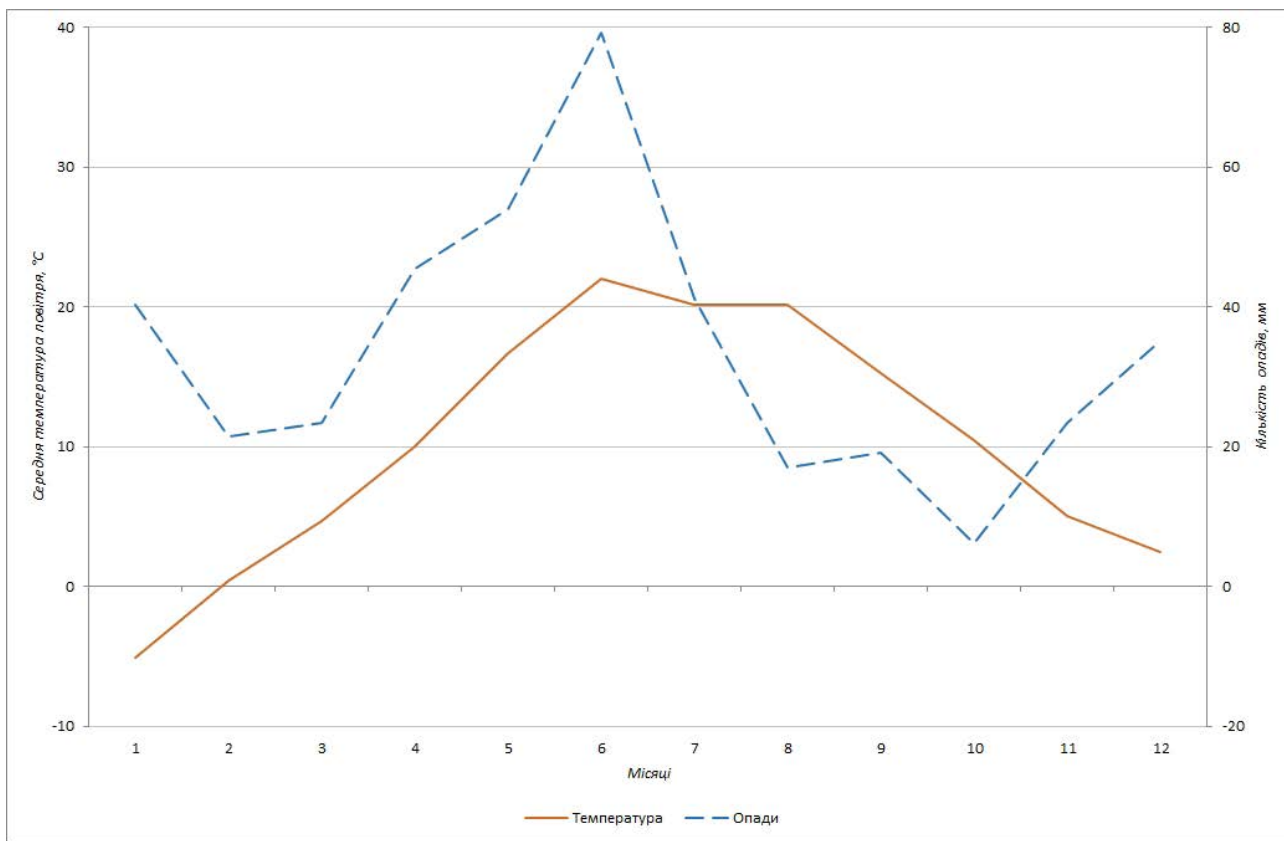


Рис. 7. Омротермічна діаграма 2019 р.

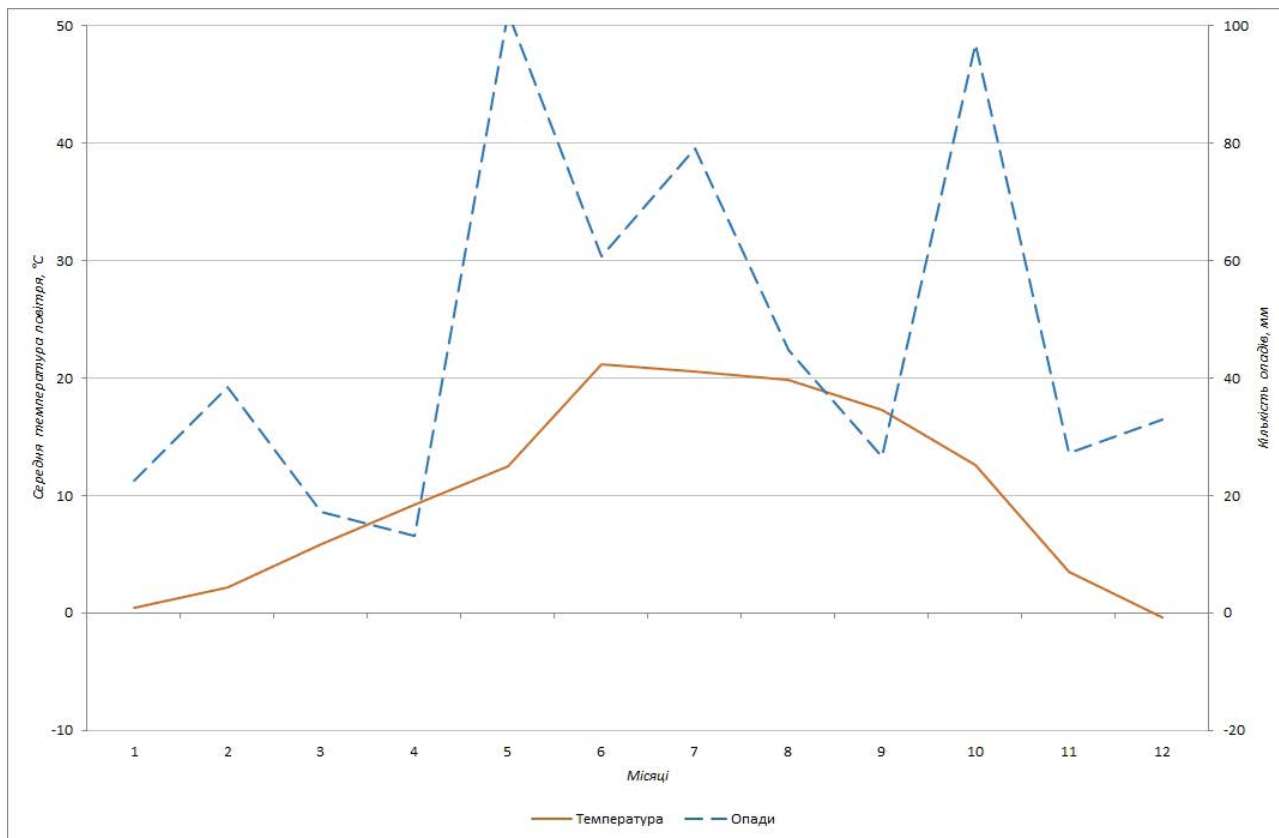


Рис. 8. Омротермічна діаграма 2020 р.

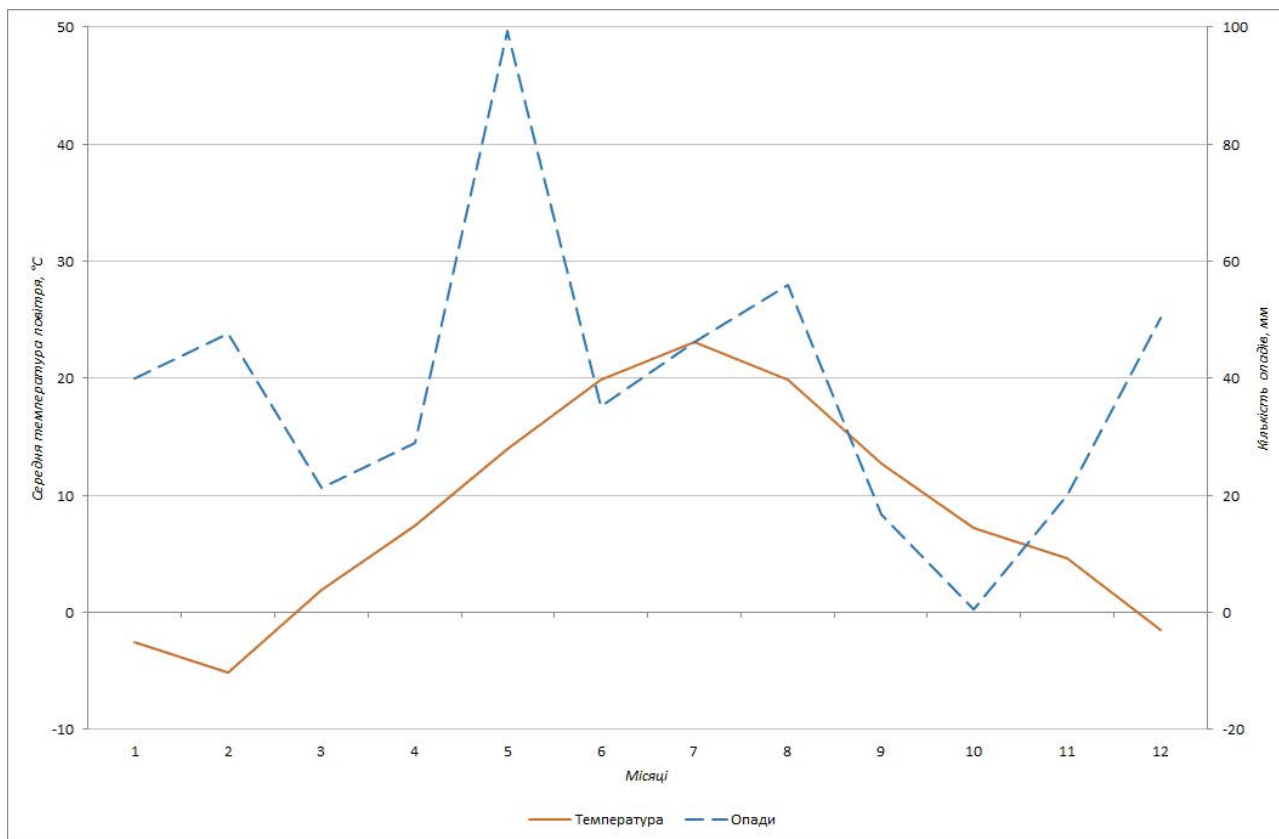


Рис. 9. Омротермічна діаграма 2021 р.

Весняний період 2021 р. відзначався помірними температурами і рясними опадами (самим дощовим був травень, сума опадів перевищувала середнє багаторічне значення на 26,3 мм), що сприяло буйному квітуванню рослин. Найсухішими стали вересень-жовтень, які супроводжувалися високою сонячною активністю, що складала 168 % від норми, тому осінній період був теплим і довгим (рис. 9). Малосніжна зима 2021/2022 рр. перейшла у напівпосушливі весну і літо (з березня по липень), лише з серпня і до кінця року місячна кількість опадів перевищувала середні показники майже вдвічі, що вивело середню річну кількість опадів на позначку 463,5 мм (рис. 10).

Такий нерівномірний розподіл опадів спричиняв екстремальні умови, внаслідок чого деревні рослини страждали від спеки та посухи, втрачаючи свою стійкість, і ставали вразливими до шкідників та хвороб.

Через підвищення середньої річної температури повітря за рахунок холодної частини року, подовжуються терміни вегетаційного періоду рослин. Початок весняних фенофаз настає раніше, а осінніх – закінчується пізніше. Так, у 2018 р. вегетаційний період розпочався на початку I декади квітня і закінчився у II декаді листопаду, подовживши тривалість вегетаційного періоду на 10 днів. Вегетаційний період 2019 р. тривав 258 днів, розпочавшись у I декаді березня і закінчившись у III

декаді листопада. Ранній термін початку вегетації спостерігали у 2020 р. (02.03), коли бубнявіння бруньок у багатьох дендрозофітів розпочалося навіть у II–III декадах лютого. Феноіндикатором був автохтонний раритетний вид *Corylus avellana* L., фенофазу бубнявіння бруньок якого спостерігали у I декаді січня (07.01), а цвітіння чоловічих квітів – II декаді лютого. Ще одним природним феноіндикатором була *Alnus glutinosa* (L.) Gaerth., пиління якої розпочалося у I декаді лютого. Завершення вегетаційного періоду (опадання листя) у більшості видів відбувалося у III декаді листопада, у деяких – I декаді грудня. Термін вегетації подовжився на 40–78 днів. У 2021 р. вегетація розпочалася наприкінці березня і закінчилася у II декаді листопада, що подовжило її терміни для більшості раритетних рослин на 30 днів, а у 2022 р. – 28–38 днів (табл. 4).

Таким чином, у 2018–2022 рр. період вегетації деревних рослин подовжився на 10–78 днів, порівняно із багаторічними показниками.

Головні висновки. За результатами проведеного аналізу впливу двох основних екологічних факторів в умовах дендропарку «Олександрія» на раритетні види деревних рослин нами з'ясовано, що основні адаптаційні зміни сезонного розвитку пов'язані з тенденцією до потепління клімату ма його ксерофітизацією, що відображалася у вигляді підвищення середньої річної температури повітря упродовж

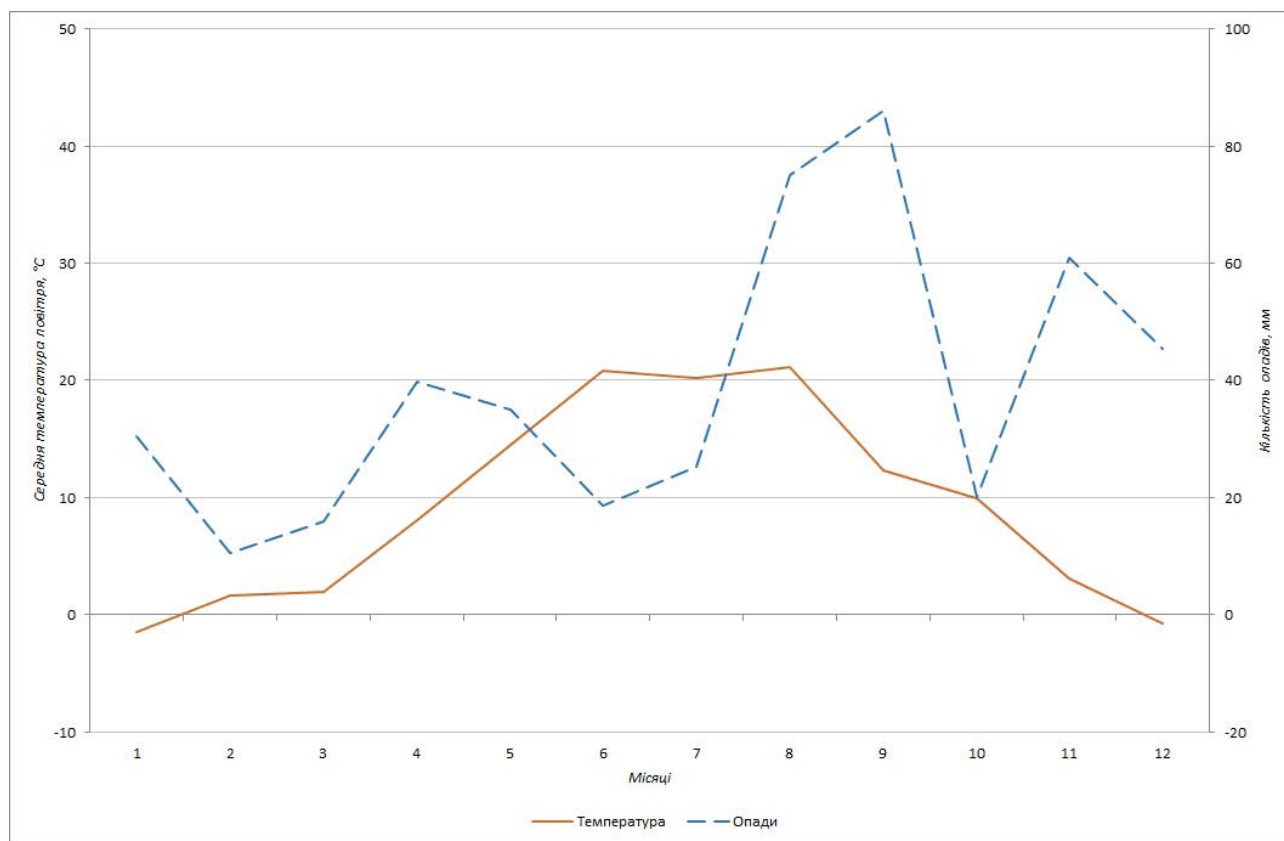


Рис. 10. Омбротермічна діаграма 2022 р.

Показники тривалості вегетаційного періоду у дендропарку «Олександрія» у 2018–2022 рр.

| Показники | Роки | | | | | Середнє багаторічне |
|----------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|---------------------|
| | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | |
| Початок вегетації, дати | 04.04 | 08.03 | 02.03 | 28.03 | 22.03 | 06.04–8.04 |
| Кінець вегетації, дати | 11.11. | 21.11 | 11.11 | 16.11 | 14.11 | 26.10–28.10 |
| Тривалість вегетації, днів | 220 | 258 | 288 | 233 | 238 | 200–210 |

2005–2009 рр. на 0,5°C – 2,3°C, а у 2018–2022 рр. – на 1°C – 2,9°C. Потепління сприяло успішному вирощуванню інтродукованих теплолюбних раритетних видів деревних рослин на відкритих ландшафтних ділянках дендропарку «Олександрія». Зміни температурних показників призвели до зменшення значимості фактору зимостійкості та підвищення значимості вологозабезпечення, як лімітуючого фактору.

За результатами обробки даних кількості опадів за роки досліджень зафіксовано тенденцію до суттєвого зменшення вологозабезпечення у регіоні досліджень: середня кількість опадів у 2006–2008 рр. була нижче норми на 11–20 %, а у 2009 р. – на 30 %, що викликало скорочення фенофази цвітіння, спричинило втрату тургору, скручування, швидке засихання і опадання листків, деякі раритетні види не продукували плодів. Посушливі умови виснажували

деревні рослини, які втрачали стійкість до ураження шкідниками і хворобами. Доведено, що адаптаційні зміни, викликані кліматичними умовами, вплинули на терміни сезонного розвитку автохтонних та інтродукованих раритетних видів деревних рослин, відбулося його подовження за рахунок раннього настання початку весняних фенофаз та значно пізнішого закінчення осінніх: у 2005 а осінніх – пізніше: у 2005–2009 рр. – на 7–42 днів, 2018–2022 рр. – 10–78 днів.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані результати мають вагомое практичне значення для корегування строків проведення фенологічних спостережень та прогнозування і впровадження сезонних заходів задля мінімізації негативного впливу на раритетні рослини у зоні Правобережного Лісостепу України.

Література

1. Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions. 20.05.2020. EU Biodiversity Strategy for 2030 Bringing nature back into our lives. Brussels, COM (2020) 380 final.
2. Сремеев В.М. Регіональні аспекти глобальної зміни клімату. *Вісник НАН України*. К., 2003. № 2. С. 24–28.
3. Собко В.Г., Гапоненко М.Б. Інтродукція рідкісних і зникаючих рослин флори України. К.: Наукова думка, 1996. 281 с.
4. Устименко П.М., Шеляг-Сосонко Ю.Р., Вакаренко Л.П. Раритетний фітоценофонд України. К.: Фітосоціоцентр, 2007. 270 с.
5. Барбарич А. Г., Гринь Ф. О. Рослинність. Природа Київської області. Київ: Вид-во КДУ, 1972. 236 с.
6. Гринь Ф.О. Дубові та широколистяно-дубові ліси / Рослинність УРСР. Ліси. К., 1971, с. 194-339.
7. Ліпський В.М. Клімат України. Київ, 2003. 245 с.
8. Під ударом стихії URL: <https://landlord.ua/wp-content/page/pid-udarom-stykhii-iak-mihruit-klimatychni-zony-v-ukraini>
9. Білик Я. Я., Гринюк Ю. Г. Фенологічні спостереження на об'єктах природно-заповідного фонду як складова моніторингу кліматичних змін. *Природно-заповідний фонд України – минуле, сьогодення, майбутнє*. Тернопіль: Підручники і посібники, 2010. С. 237–241.
10. Врублевська О.О., Касаджик Т.Л. Річна амплітуда температури повітря як показник динаміки клімату України. *Вісник Одеського державного екологічного університету*, 2012. Вип. № 14. С. 86–92.
11. Дідух Я.П. Рослинність України в аспекті кліматичних змін. Київ, 2022, 250 с. doi.org/10.15407/978-966-00-1868-6

ПРОСТОРОВА ХАРАКТЕРИСТИКА ЕКОЛОГО-ОСВІТНІХ ДЕСТИНАЦІЙ РЕГІОНАЛЬНОГО ЛАНДШАФТНОГО ПАРКУ «ТРАХТЕМИРІВСЬКИЙ» ТА ПРИРОДНОГО ЗАПОВІДНИКА «ДРЕВЛЯНСЬКИЙ»

Шевченко Р.Ю., Іваненко І.Б., Мовчан М.М., Акименко С.Г.
Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ
azimut90@ukr.net

Окреслені екологічно орієнтовані особливості туристсько-рекреаційної діяльності вимагає комплексного еколого-географічного, історико-культурного та туристсько-рекреаційного вивчення природозаповідних територій України.

Регіональний ландшафтний парк «Трахтемирівський», Трахтемирівський історико-культурний заповідник та Природний заповідник «Древлянський» є важливими туристичними та еколого-освітніми дестинаціями для столичного економічного регіону, що зумовили необхідність розроблення еколого-туристичних проєктів організації природоохоронних територій із локалізацією унікальних та ексклюзивних природних об'єктів, а також об'єктів культурної спадщини. За ініціативи адміністрації Парку та Заповідника до вивчення проблематики відповідного спрямування долучилися науковці кафедри заповідної справи та рекреаційної діяльності Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління (Микола Мовчан, к.с.-г.н.; Володимир Тищенко, к.б.н.; Роман Шевченко, к. географ. н; Сергій Акименко, магістрант кафедри, який займається територіальною організацією еколого-освітньої діяльності Природного заповідника «Древлянський»).

На сьогодні, в умовах військового стану, існують певні обмеження щодо здійснення науково-практичних, еколого-географічних та еколого-природоохоронних експедицій, організованих для потреб сучасного національного екологічного туризму та рекреаційної діяльності на означених територіях об'єктів природно-заповідного фонду. Зважаючи на це, з метою ефективного вирішення практичних питань використовувалися технології дистанційного вивчення території за матеріалами аерокосмічної зйомки та дистанційного зондування Землі. Найактуальніші дані про РЛП «Трахтемирівський» та Природний заповідник «Древлянський» були вишукані на геопорталах Google Maps та Wikimapia Maps. Геопросторові дані відповідних інтернет-ресурсів відзначаються геодезичною точністю координат локацій на місцевості та краудсорсинговими опціями проєктування тематичних картографічних моделей онлайн, що успішно використовувалися.

Завдяки фотограмметричному еколого-географічному та історико-культурному аудиту території РЛП «Трахтемирівський» сформовано кадастровий звід пам'яток природної та культурної спадщини Букринсько-Трахтемирівського півострову, де розташовані близько сорока унікальних об'єктів природного та антропогенно-зміненого ландшафту із світлинами локацій, історико- та еколого-географічним описом туристсько-рекреаційного потенціалу місцевості, ортофотоплан-врізку із демонстрацією географічного місцезрештування ексклюзиву та GPS-координатами.

Укладена інтерактивна тематична спеціалізована карта «Рекреаційна діяльність у межах територій та об'єктів РЛП» – перша геоінформаційна модель із геовізуалізацією не лише локацій, їх світлин та опису території РЛП «Трахтемирівський». Демонструються рекомендовані еколого-краєзнавчі велосипедні та пішохідні екскурсійно-подорожучі маршрути природоохоронною територією Парку. Карта містить унікальну бібліотеку умовних позначень (еколого-краєзнавчий картографічний банк даних умовних знаків). Модульні можливості карти дозволяють її оновлювати та редагувати у будь-якому пакеті геоінформаційних програм. Вона є своєрідним дороговказом, основою проведення демаркації, зонування та проєктування комплексу інфраструктури сфери туристичного обслуговування на території Парку на екологічних засадах. Проведений розрахунок рекреаційного навантаження на довкілля Парку від туристичної діяльності.

Представлені результати первинного вивчення територіальних особливостей Природного заповідника «Древлянський». Показані спеціальні картосхеми еколого-освітніх локацій та функціонального зонування Заповідника. *Ключові слова:* регіональний ландшафтний парк, рекреаційна дестинація, рекреаційна діяльність, екологічний туризм, інтерактивне картографування, природно-заповідний фонд.

Spatial characteristics of the environmental and educational destinations of the Regional Landscape Park “Trakhtemyriv” and Nature Reserve “Drevlyansky”. Shevchenko R., Ivanenko I., Movchan M., Akymenko S.

The outlined ecologically oriented features of tourist and recreational activities require a comprehensive ecological-geographical, historical-cultural and tourist-recreational study of Nature-Reserved Territories of Ukraine.

Regional Landscape Park «Trakhtemyriv», «Trakhtemyriv Historical and Cultural Reserve» and Nature Reserve «Drevlyanskyi» are important tourist and ecological and educational destinations for the Capital Economic Region, which led to the need to develop ecological and touristic projects for the organization of nature protection territories with the localization of unique and exclusive natural areas objects, as well as objects of cultural heritage. At the initiative of the administration of the Park and the Reserve, joined the study of the issues of the relevant direction scientists of the Department of Reserve Affairs and Recreational Activities of the State Environmental Academy of Postgraduate Education and Management: Roman Shevchenko, Ph.D. in Geography; Mykola Movchan, Ph.D. in Agriculture; Volodymyr Tyshchenko, Ph.D. in Biology; Serhiy Akymenko, master's student of the department, who is engaged in the territorial organization of ecological and educational activities of the Nature Reserve «Drevlyanskyi».

Today, in the conditions of martial law, there are certain restrictions on the implementation of scientific-practical, ecological-geographical and ecological-nature protection expeditions, organized for the needs of modern national ecological tourism and recreational activities in the designated territories of the objects of the Nature Reserve Fund. Considering this, in order to effectively solve practical issues, the technologies of remote study of the territory using the materials of Aerospace Surveying and Remote Sensing of the Earth were used. The most up-to-date data on the Trakhtemirivskiy RLP and the Drevlyanskiy Nature Reserve were refined on the Google Maps and Wikimapia Maps Geoportals. The geospatial data of the relevant Internet resources are distinguished by the geodetic accuracy of the coordinates of the locations on the ground and by the successfully used crowdsourced options for designing thematic cartographic models online.

Thanks to the photogrammetric ecological-geographic and historical-cultural audit of the territory of the RLP «Trachtemyrviv» created a cadastral register of natural and cultural heritage monuments of the Bukryn-Trachtemyrviv Peninsula was formed, where there are about forty unique objects of the natural and anthropogenically altered landscape with photos of locations, historical and an ecological and geographical description of the tourist and recreational potential of the area, an orthophotoplan inset with a demonstration of the geographic location of the exclusive and GPS coordinates.

The Interactive Thematic Specialized Map «Recreational activities within the territories and objects of the RLP» is the first geoinformation model with geovisualization of not only locations, their photos and description of the territory of the RLP «Trahtemyrviv». The recommended ecological and local history bicycle and pedestrian excursion-travel routes through the protected territory of the Park are demonstrated. The map contains a unique library of conventional signs (environmental and local history cartographic data bank of conventional signs). The map's modular capabilities allow it to be updated and edited in any package of geographic information programs. It is a kind of signpost, the basis of the demarcation, zoning and design of the complex of infrastructure in the field of tourist services on the territory of the Park on ecological grounds. The calculation of the recreational load on the Park's environment from tourist activities has been carried out.

The results of the primary study of the territorial features of the Nature Reserve «Drevlyanskiy» are presented. Special maps of ecological and educational locations and functional zoning of the Reserve are shown. *Key words:* Regional Landscape Park, recreational destination, recreational activity, ecological tourism, interactive mapping, Nature Reserve Fund.

Постановка проблеми. Рекреаційна дестинація – це унікальна територія природно-заповідного фонду де локалізовані екологічні ексклюзиви, що приваблюють екотуристів та рекреантів. Відповідні територіальні ознаки атрактивності території визначають її особливість у прикладній сфері природоохоронної справи – екологічному екскурсованні, туризмі, рекреації та релаксології (курортології).

Регіональний ландшафтний парк «Трахтемирівський» (надалі – РЛП або Парк) характерний значним туристсько-рекреаційним потенціалом розвитку природно-територіального комплексу Букринського півострову долини р. Дніпро. Зважаючи на те, що територія Парку є не делімітованою та не демаркованою, виникла потреба проведення відповідних проєктних робіт із рекреаційного картографування ландшафту, а також прокладання еколого-туристичних маршрутів до визначних пам'яток історико-культурної та природно-заповідної спадщини краю.

Природний заповідник «Древлянський» (надалі – Заповідник) є унікальним природним об'єктом у північно-східній частині території Житомирської області, що постраждала від аварії на Чорнобильській АЕС. Попри заборону господарської діяльності на території Заповідника, здійснення екологічного моніторингу та менеджменту є обов'язковими. Прилеглі території нині мають значний еколого-освітній екскурсійний потенціал, рівень якого варто визначити еколого-географічним дослідженням.

Актуальність дослідження. Сучасний стан природно-заповідної справи в Україні вимагає обрахування економічних послуг, зокрема, рекреаційного та еколого-освітнього напрямків. Що важливо, це сприятиме зміцненню самофінансування установ ПЗФ

України. РЛП «Трахтемирівський» не є виключенням із цього тренду. Це пов'язано, перш за все, із тим, що він – цікавий кластер природно-заповідної та рекреаційної діяльності. На превеликий жаль, наразі функціонування природоохоронної організації є номінальним. Тобто, навіть картографічно не означені межі території, не складені звід та кадастр природно-рекреаційних об'єктів, не облаштовані інформаційні показники та не встановлені обмежувальні знаки попередження заборони господарської діяльності. Отже, такий стан туристсько-рекреаційної спадщини столичного регіону зумовлює необхідність актуалізації інформації щодо туристичних об'єктів відповідних природно-заповідних територій.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Тематика дослідження повністю кореспондується із напрямками еколого-природоохоронної діяльності п. 8 «Пріоритетних напрямів наукових досліджень Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління Міндовкілля на 2021–2025 рр.» [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Наукові праці про довкілля РЛП «Трахтемирівський» та ПЗ «Древлянський» у національних бібліографічних фондах України відсутні. Щоправда незначна кількість оглядових матеріалів, присвячених Парку, присутня на сайтах екскурсійних бюро [4], історико-культурного заповідника [5] та аматорських дослідників-краєзнавців, які мешкають на території Букринського нагір'я [1]. Основним джерелом інформації про Заповідник є щорічний «Літопис природи».

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячена означена стаття. Для виконання вище означених практичних завдань організації туристсько-рекреаційної

діяльності на території РЛП «Трахтемирівський» необхідно скласти координований звіт-кадастр рекреаційних територій, здійснити попереднє картографування території Парку, прокласифікувати історико-культурні та природоохоронні пам'ятки, зробити розрахунок рекреаційного навантаження на довкілля.

Для ПЗ «Древлянський» є потреба актуалізації еколого-географічного опису території.

Новизна. Географія екологічного туризму та рекреації України розширює територіальне охоплення новими природними та культурними ексклюзивами в разі складання відповідного реєстру, картографуванні відповідних об'єктів та територій, геоінформаційної інсталяції відповідних туристсько-рекреаційних геопросторових даних у відкриті картографічні сервіси інтернету (геопортали).

Методологічне або загальнонаукове значення. Заповідна справа та її практична методика залучення нових просторових об'єктів екологічного туризму та рекреації здійснюватиметься (вперше) дистанційними засобами візуальної обробки картографічної та аерокосмічної інформації за допомогою сервісів Google Map та Wikimaria Maps, що досить здешевлює роботи із акумуляції природоохоронної інформації без зниження якості отриманих геопросторових даних екологічної інформації.

За відповідними методиками проведені розрахунки рекреаційного навантаження на довкілля РЛП «Трахтемирівський», сформульовані висновки та рекомендації щодо його регулювання.

Виклад основного матеріалу. РЛП «Трахтемирівський» знаходиться на межі Київської та Черкаської областей. Більшу частину межі природоохоронної території займає водна смуга Канівського водосховища. З часів Другої світової війни відповідна територія отримала назву «Букринський плацдарм». З геотопологічної точки зору, контур території Парку набуває трансформовану колоподібну форму. Територіально у складі Парку такі населені пункти: с. Григорівка, с. Трахтемирів, с. Луковиця, с. Зарубинці (рис. 1).



Рис. 1. Схема контурів РЛП «Трахтемирівський»

Ландшафтна складова території має низку живописних урочищ: Кривий ліс, Россош, Хатище, Монастирок, Коров'ячки, Грушевський ліс, Тополина гора, гора Батура.

Рельєф території вирізняється щільною ондуляцією ярів та пагорбів різної висотної топографії, що є важливим чинником під час організації велосипедних еколого-освітніх туристичних маршрутів на території Парку. Також відповідні висотні диференціації сприяють улаштуванню «Супер-Точек-Тур» – оглядових панорамних майданчиків на тлі унікальних природних ексклюзивів, а саме: «Дерево-Тризуб», «Марків-Шпиль», «гора Батура», «Козачий курінь сотника Олександра Кравченка» тощо.








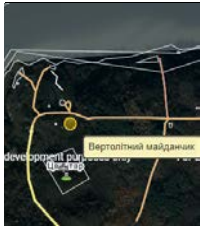


Історико-культурна спадщина території Парку досить різноманітна щодо історичних епох та часових зрізів української історії. Зокрема, це: «Танк-пам'ятник Букринському плацдарму»; «Героям Другої світової війни 1939–1945 рр.»; пам'ятник гетьману Петру Сагайдачному; козацьке кладовище; «Трахтемирівське скіфське городище»; «Вал скифського городища»; «Братське воїнське поховання воїнів Другої світової війни, воїнам-односельчанам с. Луковиці, що загинули на Букринському плацдармі у вересні 1943 р.»; старовинний козацький цвинтар у с. Зарубинці; дерев'яний хрест на вершині пагорбу правого берега р. Дніпро із табличкою зі віршованим описом долі села «З»; залишки будівель с. Монастирок; «Марків Шпиль»; руїни млина; будинок наглядча, який потенційно може бути туристичним інфоцентром Парку; «Козацька галявина»; воєнний меморіал біля зруйнованої садиби Бакая; великий козацький цвинтар біля Трехтемирова; залишки німецьких окопів часів Другої світової війни та оглядовий майданчик поряд,

У рекреаційній зоні Парку знаходяться: пляж в ур. Хатище, місце стоянки човнів біля гори Батура, джерело лікувальної води в ур. Монастирок, галявина «Веселий Шпиль», пляж неподалік від «дерева-тризуба», озеро Ярок. Неподалік, на південь, знаходиться сакральне «місце сили» – Буша, як анклав Парку.





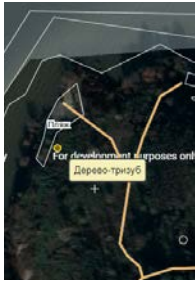


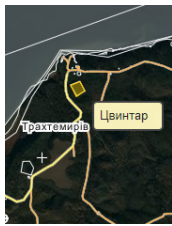
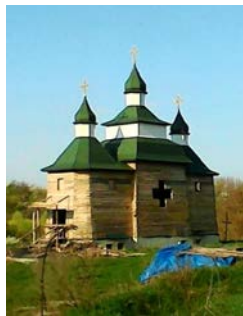

До антропогенних туристичних ексклюзивів належать: будинок Олега Петрика «Скифа», руїни мисливської садиби Бакая, гелікоптерний майданчик. По всій території Парку улаштовані несанкціоновані туристські стоянки.

У таблиці 1 представлений витяг зі списку туристичних об'єктів Парку за класифікаційними ознаками, сформульованими в Наказі Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України [3]. В таблиці на початку рубрик відображені умовні картографічні позначення видів відпочинкових (ретритних) місць, де відбувається туристсько-рекреаційна діяльність. Надаються географічні описи локацій із відображенням їх світлин, скрінів їх місцеположення на карті та координатами знаходження. Таким чином був сформований тематичний зміст інтерактивної карти «Рекреаційна діяльність у межах територій та об'єктів РЛП».

Основні об'єкти природної та культурної спадщини РЛП «Трахтемирівський»

| № з/п | Назва об'єкту | СВІТЛИНА ОБ'ЄКТУ | Опис об'єкту, стан та придатність до туризму та рекреації | КАРТОГРАФІЧНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ТА GPS-КООРДИНАТИ |
|---|-------------------------|---|---|---|
|  I. МІСЦЯ ЛІКУВАЛЬНО-ОЗДОРОВЧОГО ТУРИЗМУ | | | | |
| 1. | Озеро Ярок |  | Рекреаційна зона відпочинку та релаксу. Один із пунктів велосипедних маршрутів територією РЛП. |  $\varphi = 49^{\circ}55'45''$ $\lambda = 31^{\circ}25'15''$ |
| 2. | Пляж біля с. Луковиця |  | Вузька смуга прибережного піску великої протяжності. |  $\varphi = 49^{\circ}57'29''$ $\lambda = 31^{\circ}25'27''$ |
|  II. ОБ'ЄКТИ СПОРТИВНОГО ТУРИЗМУ | | | | |
| 3. | Гелікоптерний майданчик |  | Створений у 2000-х рр. на місці бувшої сільської школи, яку знесли. Зараз на території організована пасіка. |  $\varphi = 49^{\circ}59'3''$ $\lambda = 31^{\circ}20'21''$ |
| 4. | Кар'єр |  | Піщаний кар'єр місцевого значення. Може Використовуватися для скалолазання та вертикального квестингу. |  $\varphi = 49^{\circ}55'42''$ $\lambda = 31^{\circ}23'27''$ |

Продовження таблиці 1

| № з/п | Назва об'єкту | СВІТЛИНА ОБ'ЄКТУ | Опис об'єкту, стан та придатність до туризму та рекреації | КАРТОГРАФІЧНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ТА GPS-КООРДИНАТИ |
|--|--|---|---|---|
|  III. ОБ'ЄКТИ ЕКОЛОГІЧНОГО (ЗЕЛЕНОГО) ТУРИЗМУ | | | | |
| 5. | Гора Батура |  | На півночі Зарубинецького мису знаходиться відокремлена гора Батура, яка отримала свою назву на честь похованого тут козака Батури. На вершині збереглася його могила з великим кам'яним хрестом. |  $\varphi = 49^{\circ}59'17''$ $\lambda = 31^{\circ}25'18''$ |
| 6. | Дерево «Тризуб» |  | Дерево, яке розрослося на три рівні стовбури з одного кореня та нагадує тризуб. |  $\varphi = 49^{\circ}59'8''$ $\lambda = 31^{\circ}20'10''$ |
|  IV. ОБ'ЄКТИ РЕЛІГІЙНОГО ТУРИЗМУ | | | | |
| 7. | Трахтимирівський козацький цвинтар |  | Стародавній козацький цвинтар на північному сході від с. Трахтимирів. |  $\varphi = 49^{\circ}58'56''$ $\lambda = 31^{\circ}20'20''$ |
| 8. | Церква Святого Миколая у с. Григорівка |  | Об'єкт сакрального туризму – Церква Святого Миколая. Це дерев'яна культова споруда 2016 р., православний храм. |  $\varphi = 49^{\circ}55'32''$ $\lambda = 31^{\circ}24'23''$ |

Продовження таблиці 1

| № з/п | Назва об'єкту | СВІТЛИНА ОБ'ЄКТУ | Опис об'єкту, стан та придатність до туризму та рекреації | КАРТОГРАФІЧНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ТА GPS-КООРДИНАТИ |
|---|--|---|--|---|
|  V. ОБ'ЄКТИ СІЛЬСЬКОГО ТУРИЗМУ | | | | |
| 9. | Козачий курінь сотника Олександра Кравченка (садиба козака з Лугу) |  | Козацька зелена садиба із присадибною ділянкою для вихулу коней. |  $\varphi = 49^{\circ}56'0''$ $\lambda = 31^{\circ}24'57''$ |
| 10. | Козина ферма родини Новак. |  | Приватна екологічна садиба зеленого туризму. |  $B = 49.917638956662984,$ $L = 31.34959329808415$ |
| 11. | Ретритний Екоцентр «Садиба РЕЙ» |  | Центр буддизму та ретризму. |  $B = 49.91479270667797,$ $L = 31.331483023157336$ |
|  VI. ОБ'ЄКТИ КУЛЬТУРНО-ПІЗНАВАЛЬНОГО ТУРИЗМУ | | | | |
| 12. | Пам'ятник гетьману Петру Сагадачному | | Пам'ятник гетьману Петру Конашевичу-Сагадачному і його козакам – в ознаменування 400-річчя перемоги над московитами. Відкриття та освячення пам'ятника відбулося 14.10.2018 р. у свято Покрови Пресвятої Богородиці. |  $\varphi = 49^{\circ}58'19''$ $\lambda = 31^{\circ}19'48''$ |

| № з/п | Назва об'єкту | СВІТЛИНА ОБ'ЄКТУ | Опис об'єкту, стан та придатність до туризму та рекреації | КАРТОГРАФІЧНЕ ЗОБРАЖЕННЯ ТА GPS-КООРДИНАТИ |
|---|--|---|---|---|
| 13. | Трахтимирівське городище |  | Відомо, що поблизу Зарубинецького миса до середини ХХ ст. була каменоломня. |  <p>φ = 49°58'45" λ = 31°22'34"</p> |
| 14. | Пам'ятник танкістам Букринського плацдарму |  | Військовий меморіал пам'яті Другої світової війни 1939–1945 рр. |  <p>φ = 49°54'41" λ = 31°23'19"</p> |
|  VII. ОБ'ЄКТИ АМАТОРСЬКОГО ТУРИЗМУ | | | | |
| 15. | Музей одного доглядача |  | Будинок Олега Петрика (псевдо – «Скіф») |  <p>φ = 49°59'6" λ = 31°20'55"</p> |
| 16. | Альтанка |  | Місце кейтерингу. |  <p>φ = 49°59'5" λ = 31°20'16"</p> |

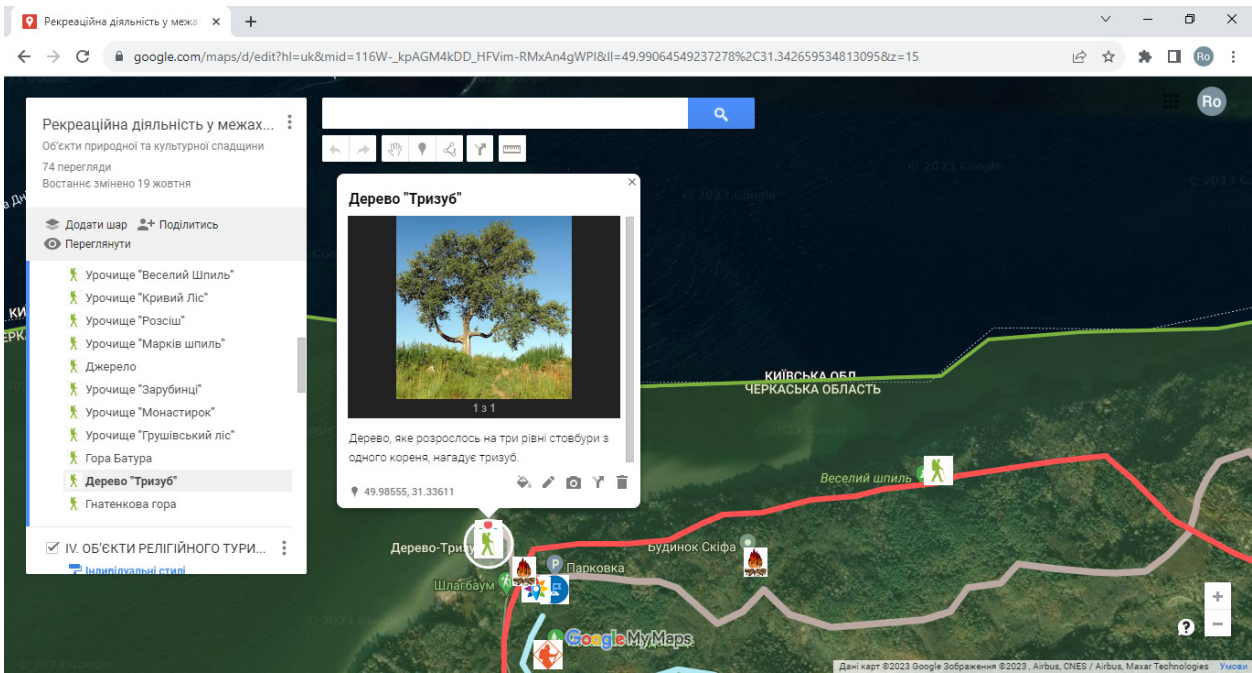


Рис. 2. Фрагмент інтерактивної карти геопорталу Google Map

Як наслідок дослідження – укладена інтерактивна карта «Рекреаційна діяльність у межах РЛП «Трахтемирський». Змістовна складова картографічної моделі в легенді містить: контур території та акваторії Парку, класифікаційні види ознак туризму за локаціями із відповідними світлинами об'єктів, еколого-географічними та природоохоронно-краєзнавчими освітніми описами. На карті нанесені відпочинкові релаксаційні екостежки велосипедних та пішохідних екскурсійних маршрутів за Трахтемирським півостровом. Функціонал картографічного інтернет-ресурсу (геопорталу) є за посиланням: https://www.google.com/maps/d/edit?mid=116W-_kpAGM4kDD_HFVim-RMxAn4gWPI&usp=sharing. Фрагмент карти відображений на рис. 2.

Наступний етап камеральних досліджень – це розрахунок рекреаційного навантаження на довкілля РЛП «Трахтемирський». Він здійснювався за такою послідовністю:

1. Оцінка ємності туристичних маршрутів та еколого-освітніх екостежок.

Згідно «Методичних рекомендацій щодо визначення максимального рекреаційного навантаження природних комплексів і об'єктів у межах природно-заповідного фонду України за зонально-регіональним розподілом» від 09.12.2023 р. цей показник визначається за формулою:

$$P_{dn} = (T - L/V) * G * V = T * G * V - (L * G * V)/V = (T * G * V) - (L * G), \quad (1)$$

де, P_{dn} – допустима кількість осіб, які перебувають на екостежці;

T – час перебування на маршруті;

L – довжина траси;

G – щільність, люд./км.;

V – швидкість руху.

1.1. Ємність пішохідного маршруту «Канівське узмор'я»:

$$P_{dn} = (3,6 \text{ год.} * 30 * 4 \text{ км./год.}) - (14,7 \text{ км.} * 30) = 432 - 441 = -9$$

1.2. Ємність велосипедного маршруту № 1:

$$P_{dn} = (1 \text{ год.} * 30 * 4 \text{ км./год.}) - (20,1 \text{ км.} * 30) = 120 - 603 = -593$$

1.3. Ємність екопросвітницької стежки «Пагорби та яри Трахтемирова»:

$$P_{dn} = (4,55 \text{ год.} * 30 * 4 \text{ км./год.}) - (18,2 \text{ км.} * 30) = 546 - 546 = 0$$

1.4. Ємність екостежки «Тисяча панорам Канівського моря»:

$$P_{dn} = (1,6 \text{ год.} * 30 * 4 \text{ км./год.}) - (6,53 \text{ км.} * 30) = 195 - 546 = -351$$

Таким чином, в результаті підрахунку визначено, що патогенний вплив туристсько-рекреаційної діяльності є нейтральним лише у екопросвітницькій стежці «Пагорби та яри Трахтемирова». Мінімальний вплив (-9) у пішохідного маршруту «Канівське узмор'я», а максимальне навантаження буде у екостежки «Тисяча панорам Канівського моря».

2. Розрахунок рекреаційної місткості відпочинкових релаксаційних екостежок РЛП V_i :

$$V_i = \frac{N_i * S_i * C}{P_{dn}} \quad (2)$$

де, V_i – рекреаційна місткість території, осіб;

N_i – норма рекреаційного навантаження на територію, осіб/км²;

S_i – площа рекреаційної території;
 C – тривалість рекреаційного періоду, днів;
 D_i – ємність відпочинкових релаксаційних екостежок.

2.1. Рекреаційна місткість пішохідного маршруту «Канівське узмор'я»:

$$V_i = \frac{N_i \times S_i \times C}{P_{dn}} = \frac{121 \times 10711,2 \text{ Га} \times 62 \text{ днів}}{9} = \frac{80355422,4}{9} = 892838 \text{ осіб}$$

2.2. Рекреаційна місткість велосипедного маршруту № 1:

$$V_i = \frac{N_i \times S_i \times C}{P_{dn}} = \frac{121 \times 10711,2 \text{ Га} \times 62 \text{ днів}}{593} = \frac{80355422,4}{593} = 135506 \text{ осіб}$$

2.3. Рекреаційна місткість екопросвітницької стежки «Пагорби та яри Трахтемирова»:

$$V_i = \frac{N_i \times S_i \times C}{P_{dn}} = \frac{121 \times 10711,2 \text{ Га} \times 62 \text{ днів}}{1} = \frac{80355422,4}{1} = 80355422,4 \text{ осіб}$$

2.4. Рекреаційна місткість екостежки «Тисяча панорам Канівського моря»:

$$V_i = \frac{N_i \times S_i \times C}{P_{dn}} = \frac{121 \times 10711,2 \text{ Га} \times 62 \text{ днів}}{351} = \frac{80355422,4}{351} = 228932 \text{ осіб}$$

Таким чином, в результаті підрахунку визначено, що рекреаційна місткість максимальної кількості осіб, які отримують послуги від туристсько-рекреаційної діяльності є критично максимальним за сезон зимового та літнього відпочинку у екопросвітницької стежки «Пагорби та яри Трахтемирова», мінімальні показники у велосипедного маршруту № 1.

3. Розрахунок допустимого рекреаційного навантаження на пляжні ресурси Парку:

3.1. Показник максимальної одноразової місткості пляжів:

$$Mn = Ln / Cn = 20,4 \text{ км./4,5} = 4,53 \text{ осіб},$$

де: Mn – максимальна одноразова місткість пляжу, осіб;

Ln – довжина пляжу, м;

Cn – санітарна норма довжини пляжу в розрахунку на одну людину.

3.2. Показник ступеню використання пляжних ресурсів:

$$Vn = (Mp / Mn) : 100 \% = 81490742,4 / 892838 : 100 \% = 91,27 : 100 = 0,9 \%,$$

де: Vn – ступінь використання пляжних ресурсів, %;
 Mp – місткість рекреаційних закладів, осіб (за сумарними результатами розрахунків п. 2 «Розрахунок рекреаційної місткості відпочинкових релаксаційних екостежок РЛП V_i »).

Mn – максимальна одноразова місткість канівського узмор'я, осіб.

3.3. Показник максимально можливої (допустимої) річної місткості пляжу:

$$Mmp = Mn \cdot T = 892838 \cdot 62 = 55355956 \text{ осіб}$$

де: Mmp – максимально можлива (допустима) річна місткість пляжу, осіб;

Mn – максимальна одноразова місткість пляжу, осіб;

T – тривалість періоду з сприятливими кліматичними умовами, днів.

4. Розрахунок щоденної пропускної спроможності (пропускного потенціалу Парку).

4.1. Розрахунок загального пропускного потенціалу об'єкту:

$$P = S / \Pi = 25321 / 5 = 5064,2 \text{ осіб},$$

де:

P – пропускний потенціал об'єкту, осіб;

S – площа об'єкту, м²;

Π – рекомендований стандарт щільності відвідувачів, який визначають як відношення оптимального туристичного потоку до площі об'єкту, м²/особу;

4.2. Розрахунок коефіцієнту ротації рекреантів:

$$Kp = Ч / B = 8 \text{ год/1 год. } 40 \text{ хв} = 4,8 \text{ осіб/год.},$$

де: Kp – коефіцієнт ротації;

$Ч$ – кількість годин за день, коли об'єкт відкритий для туристів, год;

B – середня тривалість відвідування год.

4.3. Розрахунок максимально допустимого кількості щоденних відвідувачів (різниця між максимальним щоденним потоком туристів та потенціалом об'єкту):

$$Mv = P \times Kp = 5064,2 \text{ осіб} \cdot 4,8 \text{ осіб/год.} = 24308,16 \text{ осіб},$$

де: Mv – максимально допустима кількість щоденних відвідувачів, осіб;

P – пропускний потенціал об'єкту, осіб;

Kp – коефіцієнт ротації.

У цілому розрахункові показники не виходять від допустимих нормативних значень рекреаційного навантаження туристсько-рекреаційної діяльності на території Парку.

Інший об'єкт досліджень – Природний заповідник «Древлянський», створений згідно з Указом Президента України № 1038/2009 від 11.12.2009 р. «Про створення природного заповідника «Древлянський».

Територія, на якій створено Заповідник, знаходиться у Коростенському (колишньому Народицькому) районі Житомирської області, на південь та південний-схід від райцентру – смт. Народиці. Площа для заповідання складає 30872,84 га. (рис. 3).

Особливістю території є те, що Заповідник охоплює значні площі лісів, розділених масивами перелогів, досить забруднених радіонуклідами (більше 15 Кі/км² Sc-137), віднесених до зони безумовного відселення внаслідок значних рівнів радіоактивного забруднення, спричиненого катастрофою на Чорнобильській АЕС.

До складу території Древлянського природного заповідника увійшли такі земельні угіддя: ДП «Народицький спецлісгосп» (16823 га); ДП «Народицький лісгосп АПК» (57,7 га); землі запасу Народицької ради (2430 га); Народицької селищної ради (10470,74 га); Мотіїківської сільської ради (673,3 га); Селецької сільської ради (418,1 га).

Господарська структура земельних угідь заповідника нині така: 60,1 % його площі займають ліси,

21,4 % – пасовиська, 15,3 % – сіножаті, 3 % – землі населених пунктів (відселених), 0,1 % – заболочені землі, 0,1 % – чагарники.

Територія заповідника поділена на 4 відділення (ПНДВ – природоохоронне науково-дослідне відділення). Поділ території заповідника на ПНДВ відображений на рис. 4.



Рис. 3. Розташування заповідника в межах Житомирської області

Зважаючи на те, що територія Заповідника відноситься до Чорнобильської зони відчуження, вона є закритою для відвідування. Отже, подальші еколого-рекреаційні дослідження можна здійснювати лише за відповідними дозволами. Проте такий статус не заважатиме актуалізації та оновленню еколого-географічної інформації, що є основою для подальших проєктів ревіталізації території заповідника та розроблення майбутніх перспективних еколого-освітніх екскурсійних турів у навколишніх та прилеглих до заповідника урочищах.

Висновки. У праці представлені еколого-краєзнавчі дослідження основних туристичних атракцій та рекреаційних дестинацій РЛП «Трахтемирівський» та актуалізовано географічний опис Природного заповідника «Древлянський».

Накопичені інформаційно важливі координовані матеріали, фотографічні зображення, історико-географічні, історико-екологічні, а також природо-

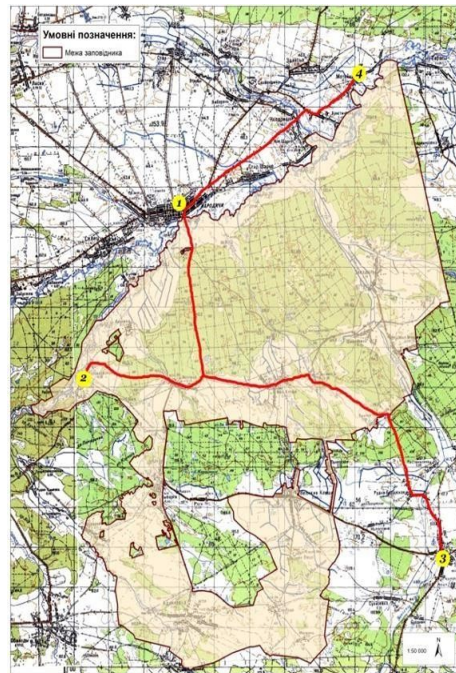


Рис. 4. Контури меж території заповідника та розташування ПНДВ

охоронні дані щодо територіальних ексклюзивів відповідних природоохоронних територій, включених до Смарагдової мережі та Бернської конвенції. Здійснено розрахунок рекреаційного навантаження на екосистемі Парку.

Перспективи використання результатів дослідження. Зважаючи на повний комплекс одержаних геопросторових даних щодо туристсько-рекреаційного потенціалу Парку та еколого-освітнього спрямування діяльності Заповідника, наступне дослідження передбачає зонування території РЛП «Трахтемирів» та економічне обґрунтування проєктів створення інфраструктури сфери обслуговування на їх територіях.

Щодо Природного заповідника «Древлянський», то по закінченню військової напруги в регіоні стане необхідністю проведення додаткових натурних досліджень.

Література

1. *Discover.* Державний історико-культурний заповідник Трахтемирів. URL: <https://discover.ua/locations/gosudarstvennyu-istoriko-kulturnyy-zapovednik-trahtemirov>
2. *Пріоритетні напрями наукових досліджень Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління Міндовкілья на 2021-2025 рр.* URL: https://dea.edu.ua/img/source/%D0%9F%D1%80%D1%96%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%82%D0%BD%D1%96%20%D0%BD%D0%B0%D0%BF%D1%80%D1%8F%D0%BC%D0%B8_%D0%B4%D0%BE%D1%81%D0%BB%D1%96%D0%B4%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D1%8C.pdf
3. *Про затвердження Положення про рекреаційну діяльність у межах територій та об'єктів природно-заповідного фонду України.* Наказ Міндовкілья № 256 від 26.07.2022 р. URL: <https://mepr.gov.ua/nakaz-mindovkillya-256-vid-26-07-2022/>
4. *Туристичний сайт Дрumba.* Історико-культурний заповідник «Трахтемирів» (урочище Трахтемирів, Черкаська обл.): карта, фото, опис. URL: <https://drumba.com/uk/1035755-istoryko-kulturnyy-zapovidnyk-trakhtemyriv>
5. *Трахтемирів:* Державний історико-культурний заповідник. URL: <http://trakhtemyriv.org.ua/>

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Акименко Сергій Григорович (Київ) – магістрант кафедри заповідної справи та рекреаційної діяльності, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Артюшин Леонід Михайлович (Київ) – доктор технічних наук, професор, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Балабак Алла Василівна (Умань) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Уманський національний університет садівництва;

Балабак Олександр Анатолійович (Умань) – доктор сільськогосподарських наук, професор, доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Уманський національний університет садівництва;

Білоус Михайло Андрійович (Кам'янське, Київ) – головний інженер, Державне підприємство «Бар'єр», студент магістратури за спеціальністю 183 «Технології захисту навколишнього середовища, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління»;

Боголюбов Володимир Миколайович (Київ) – доктор педагогічних наук, професор кафедри загальної екології, радіобіології та безпеки життєдіяльності, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

Бойко Наталія Сергіївна (Біла Церква) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, директор, Дендропарк «Олександрія»;

Бондар Катерина Олександрівна (Київ) – аспірантка кафедри екології, Український державний університет імені Михайла Драгоманова;

Бондар Олександр Іванович (Київ) – доктор біологічних наук, професор, член-кореспондент Національної академії аграрних наук України, заслужений діяч науки і техніки України, ректор, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Босюк Альона Сергіївна (Харків) – аспірант кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Брук-Левінсон Едуард Теодорович (Петах-Тиква, Ізраїль) – генеральний директор, компанія AMTR Scientific Ltd;

Василенко Ольга Володимирівна (Умань) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, завідувач кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Уманський національний університет садівництва;

Вижва Антон Миколайович (Львів) – еколог, Товариство з обмеженою відповідальністю «Нордік-Буд»;

Винограденко Сергій Олександрович (Харків) – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри управління земельними ресурсами, геодезії та кадастру, Державний біотехнологічний університет;

Войтків Петро Степанович (Львів) – кандидат географічних наук, доцент кафедри конструктивної географії і картографії, Львівський національний університет імені Івана Франка;

Волошина Наталія Олексіївна (Київ) – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедрою екології, Український державний університет імені Михайла Драгоманова;

Врадій Оксана Ігорівна (Вінниця) – кандидат сільськогосподарських наук, старший викладач кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Вінницький національний аграрний університет;

Ганджюра Володимир Петрович (Київ) – доктор біологічних наук, професор, директор, Центр європейської та євроатлантичної інтеграції Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління, професор кафедри екології та зоології, Навчально-науковий центр «Інститут біології та медицини» Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

Горелов Олександр Михайлович (Київ) – доктор біологічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник відділу дендрології, Національний ботанічний сад імені М.М. Гришка Національної академії наук України;

Григоренко Алла Володимирівна (Київ) – старший викладач кафедри заповідної справи та рекреаційної діяльності, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Громова Інна Юріївна (Київ) – кандидатка технічних наук, доцент кафедри екологічного аудиту та технологій захисту довкілля, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Гулько Світлана Олександрівна (Дніпро) – кандидатка біологічних наук, доцент кафедри геоботаніки, ґрунтознавства та екології, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

Гурський Ігор Миколайович (Умань) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Уманський національний університет садівництва;

Давибіда Лідія Іванівна (Івано-Франківськ) – кандидат геологічних наук, доцент кафедри геодезії та землеустрою, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;

Давидова Ірина Володимирівна (Житомир) – доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Демчук Людмила Іванівна (Житомир) – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри екології та природокористування, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Долженкова Олена Вікторівна (Дніпро) – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри безпеки життєдіяльності, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

Дорошенко Юлія Валентинівна (Біла Церква) – провідний інженер Дендропарк «Олександрія»;

Дунаєвська Оксана Феліксівна (Житомир) – доктор біологічних наук, професор кафедри екології, Поліський національний університет;

Дяченко-Богун Марина Миколаївна (Полтава) – доктор педагогічних наук, професор, завідувач кафедри ботаніки, екології та методики навчання біології, Полтавський національний педагогічний університет імені В.Г. Короленка;

Загороднюк Костянтин Юрійович (Київ) – кандидат медичних наук, магістр екології, завідувач кафедри водних екосистем і біоресурсів, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Загороднюк Юрій Вікторович (Київ) – голова правління, Громадська організація «Фонд розвитку водочисних технологій»;

Іваненко Ігор Борисович (Київ) – кандидат хімічних наук, проректор, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Іванов Євген Анатолійович (Львів) – доктор географічних наук, професор, завідувач кафедри конструктивної географії і картографії, Львівський національний університет імені Івана Франка;

Ігнатишин Адальберт Васильович (Львів) – інженер відділу сейсмічності Карпатського регіону, Інститут геофізики імені С.І. Субботіна Національної академії наук України;

Ігнатишин Василь Васильович (Львів) – кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник відділу сейсмічності Карпатського регіону, Інститут геофізики імені С.І. Субботіна Національної академії наук України, доцент кафедри географії та туризму, Закарпатський угорський інститут імені Ференца Ракоці ІІ;

Ігнатишин Моніка Бейлівна (Львів) – провідний інженер відділу сейсмічності Карпатського регіону, Інститут геофізики імені С.І. Субботіна Національної академії наук України;

Іжак Тібор Йосипович (Берегове) – кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри географії та туризму, Закарпатський угорський інститут імені Ференца Ракоці ІІ;

Калашнікова Людмила В'ячеславівна (Біла Церква) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, Дендропарк «Олександрія»;

Карпінський Богдан Володимирович (Івано-Франківськ) – аспірант кафедри геодезії та землеустрою, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;

Катенін Вадим Дмитрович (Харків) – аспірант кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Кирпичова Ірина Валентинівна (Полтава) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри садово-паркового господарства та екології, Державний заклад «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»;

Княшко Володимир Тимофійович (Київ) – кандидат технічних наук, завідувач кафедри промислової безпеки та охорони праці, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Ковтун Тетяна Ігорівна (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри лісівництва, лісових культур та таксації лісу, Поліський національний університет;

Козлов Андрій Володимирович (Хорол) – учитель історії і географії, Опорний заклад «Хорольський заклад загальної середньої освіти І–ІІІ ступенів № 1 Хорольської міської ради Лубенського району Полтавської області»;

Красовський Володимир Васильович (Хорол) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, директор, Хорольський ботанічний сад;

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;

Кулініч Сергій Сергійович (Харків) – аспірант кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Куракова Наталія Олександрівна (Київ) – директорка, Державне спеціалізоване підприємство «Центральне підприємство з поводження з радіоактивними відходами», аспірантка за спеціальністю 183 «Технології захисту навколишнього середовища», Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Лопушанська Марія Романівна (Львів) – аспірантка кафедри конструктивної географії і картографії, Львівський національний університет імені Івана Франка, еколог, Товариство з обмеженою відповідальністю «Нордік-Буд», голова комітету оцінки впливу на довкілля та стратегічної екологічної оцінки, Асоціація професіоналів довкілля «РАЕВ»;

Лук'янова Віталіна Віталіївна (Київ) – кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Державний університет інфраструктури та технологій;

Мазур Ольга Вікторівна (Вінниця) – асистент кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Вінницький національний аграрний університет;

Максимова Наталія Миколаївна (Запоріжжя) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри безпеки праці та охорони довкілля, ТОВ «Технічний університет «Метінвест Політехніка»;

Малицький Дмитро Васильович (Львів) – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач відділу Карпатського відділення, Інститут геофізики імені С.І. Субботіна Національної академії наук України;

Матвієнко Марія Григорівна (Київ) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, заступник директора, Центр європейської та євроатлантичної інтеграції Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління;

Мацай Наталія Юріївна (Полтава) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, директор, Навчально-науковий інститут природничих та аграрних наук Державного закладу «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»;

Машков Олег Альбертович (Київ) – професор кафедри екологічної безпеки, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Мельник Наталія Вікторівна (Житомир) – кандидат економічних наук, завідувач аспірантури та докторантури, доцент кафедри екології, Поліський національний університет;

Микитась Денис Олександрович (Кам'янське) – заступник директора з РБ, режиму та ФЗ, Державне підприємство «Бар'єр», студент магістратури за спеціальністю 183 «Технології захисту навколишнього середовища», Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Місецька Лілія Олегівна (Київ) – аспірантка кафедри екології, Український державний університет імені Михайла Драгоманова;

Місецький Артур Сергійович (Київ) – аспірант кафедри екології, Український державний університет імені Михайла Драгоманова;

Мовчан Микола Михайлович (Київ) – кандидат сільськогосподарських наук, завідувач кафедри заповідної справи та рекреаційної діяльності, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Молнар Д. Стефан Стефанович (Берегове) – кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри географії та туризму, Закарпатський угорський інститут імені Ференца Ракоці ІІ;

Навольнєв Ігор Юрійович (Запоріжжя) – студент ІІ курсу магістратури гірничо-металургійного факультету, ТОВ «Технічний університет «Метінвест Політехніка»;

Ничкалюк Галина Валентинівна (Київ) – старший викладач кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Державний університет інфраструктури та технологій;

Оводенко Тамара Сергіївна (Київ) – аспірантка кафедри екологічного аудиту та експертизи, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Орехова Оксана Вікторівна (Кривий Ріг) – доктор медичних наук, старший науковий співробітник, завідувачка лабораторії санітарно-гігієнічних та фізіолого-ергономічних досліджень, Державна установа «Український науково-дослідний інститут промислової медицини»;

Павленко Олександр Іванович (Кривий Ріг) – доктор медичних наук, старший дослідник, провідний науковий співробітник лабораторії санітарно-гігієнічних та фізіолого-ергономічних досліджень, Державна установа «Український науково-дослідний інститут промислової медицини»;

Палій Ольга Вікторівна (Житомир) – аспірант кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Панькевич Сергій Григорович (Луцьк) – кандидат географічних наук, доцент кафедри екології факультету аграрних технологій та екології, Луцький національний технічний університет;

Піціль Андрій Орестович (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології, Поліський національний університет;

Поліщук Михайло Миколайович (Київ) – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри інформаційних систем та технологій, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Присяжний Володимир Ілліч (Київ) – начальник, Національний центр управління та випробувань космічних засобів;

Рац Адальберт Йосипович (Берегове) – кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри історії та суспільних наук, проректор з навчально-методичної роботи, Закарпатський угорський інститут імені Ференца Ракоці ІІ;

Рець Юрій Миколайович (Кам'янське) – кандидат технічних наук, тимчасово виконуючий обов'язки директора, Державне підприємство «Бар'єр»;

Ролік Олександр Іванович (Київ) – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних систем та технологій, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Сагайдак Денис Анатолійович (Київ) – аспірант кафедри загальної екології, радіобіології та безпеки життєдіяльності, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

Садовий Іван Іванович (Харків) – кандидат економічних наук, старший викладач кафедри управління земельними ресурсами, геодезії та кадастру, Державний біотехнологічний університет;

Сақун Антоніна Олегівна (Харків) – доктор філософії (pHd), доцент кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Салій Ігор В'ячеславович (Київ) – кандидат технічних наук, директор, Галузевий навчальний центр з питань охорони праці Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління;

Салтанюк Віктор Миколайович (Київ) – головний пивовар, Приватне акціонерне товариство «ОБОЛОНЬ»;

Самойленко Наталія Миколаївна (Харків) – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Силенко Олександр Володимирович (Київ, Біла Церква) – аспірант, Державна установа «Інститут еволюційної екології Національної академії наук України», молодший науковий співробітник, Дендропарк «Олександрія»;

Сокульський Ігор Миколайович (Житомир) – кандидат ветеринарних наук, доцент, завідувач кафедри нормальної і патологічної морфології, гігієни та експертизи, Поліський національний університет;

Солошенко Вікторія Сергіївна (Біла Церква) – молодший науковий співробітник, Дендропарк «Олександрія»;

Сопов Дмитро Сергійович (Полтава, Харків) – доктор філософії з наук про Землю, доцент, завідувач кафедри хімії, географії та наук про Землю, Державний заклад «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка», доцент кафедри управління земельними ресурсами, геодезії та кадастру, Державний біо-технологічний університет;

Сопова Надія Валеріївна (Харків, Умань) – старший викладач кафедри управління земельними ресурсами, геодезії та кадастру, Державний біотехнологічний університет, аспірантка спеціальності 103 «Науки про Землю», Уманський національний університет садівництва;

Сорочинська Олена Леонідівна (Київ) – кандидат історичних наук, доцент, доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Державний університет інфраструктури та технологій;

Тараймович Ірина Володимирівна (Луцьк) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри харчових технологій та хімії, Луцький національний технічний університет;

Тихомирова Тетяна Сергіївна (Харків) – кандидат технічних наук, доцент кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Тихонова Олена Михайлівна (Суми) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри екології та ботаніки, Сумський національний аграрний університет;

Ткачук Олександр Петрович (Вінниця) – доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Вінницький національний аграрний університет;

Федонюк Віталіна Володимирівна (Луцьк) – кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри екології факультету аграрних технологій та екології, Луцький національний технічного університет;

Федонюк Микола Ананійович (Луцьк) – кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри екології факультету аграрних технологій та екології, Луцький національний технічний університет;

Федорчак Ельвіра Рафіківна (Кривий Ріг) – кандидат біологічних наук, молодший науковий співробітник, Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України;

Циганок Людмила Василівна (Львів) – президентка, Асоціація професіоналів довкілля «РАЕВ»;

Чередниченко Ірина Василівна (Полтава) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри хімії, географії та наук про Землю, Державний заклад «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»;

Чернова Оксана Тарасівна (Івано-Франківськ) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортування та зберігання енергоносіїв, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;

Черняк Таїсія Василівна (Хорол, Полтава) – завідувач сектору дендрології, розмноження рослин та еколого-освітньої діяльності, науковий співробітник, Хорольський ботанічний сад, аспірантка кафедри ботаніки, екології та методики навчання біології, Полтавський національний педагогічний університет імені В.Г. Короленка;

Шевченко Валентина Григорівна (Київ) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології, Український державний університет імені Михайла Драгоманова;

Шевченко Наталія Олександрівна (Умань) – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Уманський національний університет садівництва;

Шевченко Роман Юрійович (Київ) – кандидат географічних наук, доцент кафедри заповідної справи та рекреаційної діяльності, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Шестопапов Олексій Валерійович (Харків) – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Шкура Тетяна Володимирівна (Полтава) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри ботаніки, екології та методики навчання біології, Полтавський національний педагогічний університет імені В.Г. Короленка;

Шомко Ольга Михайлівна (Житомир) – аспірант кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка».

Наукове видання

ЕКОЛОГІЧНІ НАУКИ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

1(52) Том 1

- *Екологічні наслідки воєнних дій*
- *Екологічний моніторинг*
- *Поводження з відходами*
- *Екологія і виробництво*
- *Земельні ресурси і ґрунти*
- *Збереження біологічного та ландшафтного різноманіття*
- *Природно-заповідний фонд України*
- *Екологія агровиробництва*
- *Екологія водних ресурсів*
- *Зміна клімату*
- *Біологічна безпека*
- *Екологічна освіта*
- *Загальні проблеми екологічної безпеки*

Адреса редакції:

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корпус 2, Київ, 03035;
тел. +380 99 428 67 00;
www.ecoj.dea.kiev.ua
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 02.02.2024. Формат 64x84/8.

Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman. Цифровий друк.
Ум. друк. арк. 27,44. Тираж 100. Замовлення № 0324/221.
Ціна договірна. Віддруковано з готового оригінал-макета