

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

5(44)



Видавничий дім
«Гельветика»
2022

Екологічні науки : науково-практичний журнал / Головний редактор Бондар О.І. – К. :
Видавничий дім «Гельветика», 2022. – № 5(44). – 296 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

Івашенко Т.Г., кандидат технічних наук

Коніщук В.В., доктор біологічних наук

Лукаш О.В., доктор біологічних наук,

Машков В.А., доктор технічних наук

Михайленко Л.Є., доктор біологічних наук

Нецветов М.В., доктор біологічних наук

Ольшевський С.В., доктор технічних наук

Риженко Н.О., доктор біологічних наук

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

доктор географічних наук, доктор технічних наук

Улицький О.А., доктор геологічних наук

Фінін Г.С., доктор фізико-математичних наук

Шматков Г.Г., доктор біологічних наук

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

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

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

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

ЗМІСТ

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА	9
Bondar O.I., Mashkov O.A., Mukhina K.E. Systemic approach to elimination of threats of environmental disasters as a result of military action.....	9
Степова О.В., Корнішина А.В., Тристан А.А. Аналіз забруднення атмосферного повітря від автомобільного транспорту (на прикладі Шевченківського району м. Полтава).....	18
БІОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА	26
Валерко Р.А., Герасимчук Л.О., Матвійчук О.С., Забродська Ю.Ю. Дослідження фізіологічної повноцінності питної розливної води, що реалізується у торговельній мережі м. Житомира.....	26
Войціцький В.М., Хижняк С.В., Корнієнко В.І., Мідик С.В., Ладогубець О.В., Дученко К.А., Гаркуша І.В. Атомна спектрометрія – пріоритетний метод визначення важких металів у довкіллі та сільськогосподарській продукції.....	32
ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ	36
Романюк О.І., Ощеповський І.В., Шевчик Л.З. Моніторинг загазованості території міста Борислава.....	36
Скуйбіда О.Л. Стан, проблеми та перспективи моніторингу атмосферного повітря зони «Запорізька» та агломерації «Запоріжжя».....	43
Шевченко Р.Ю. Геоінформаційне управління моніторингом складних техногенних систем засобами БПЛА-картографії в умовах воєнного стану.....	48
ЕКОЛОГІЯ БУДІВНИЦТВА	55
Коваленко Ю.Л., Дядін Д.В., Ярчук Д.С. Оцінка енергетичної та екологічної ефективності заходів з утеплення будівель з урахуванням кліматичних умов.....	55
ЕКОЛОГІЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ	64
Безсонний В.Л., Пляцук Л.Д., Третьяков О.В. Засоби математичного прогнозування оцінки екологічного стану поверхневих водних об'єктів.....	64
Levoniuk S.M. Hydrogeochemical features of changes in the F ⁻ content in the groundwater chemical composition of Buchak-Kaniv aquifer to increase the ecological safety of population drinking water supply.....	69
Михайлюк В.І. Класифікація і властивості екраноземів міста Одеси.....	73
Монастирська С.С., Гойванович Н.К., Климишин О.С. Гідробіологічний аналіз стану вод р. Стрий в межах карпатського передгір'я.....	77
Рудик-Леуська Н.Я., Леуський М.В., Євтушенко М.Ю., Хижняк М.І., Макаренко А.А. Фітопланктон та якість води Каховського водосховища у літній період.....	83
Строкаль В.П., Ковпак А.В. Воєнні конфлікти та вода: наслідки й ризики.....	94
Яцюк М.В., Щербак В.І., Семенюк Н.Є., Полятикіна О.О., Лещук В.О., Коротецький В.П. Природно-штучний біомеліоративний комплекс як новий напрямок біологічної меліорації різнотипних водних об'єктів України.....	103
ЕКОЛОГІЯ ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ	116
Буцяк Г.А., Буцяк В.І., Калин Б.М. Отримання та використання вермікомпосту (біогумусу) з метою покращення поживного режиму ґрунту.....	116
Пічура В.І., Потравка Л.О., Дудяк Н.В., Рутта О.В. Моделювання водно-дефляційної деструкції степових ґрунтів України.....	121
Романчук Л.Д., Кравчук Т.В., Можарівська І.А. Вплив агроекологічних елементів технології вирощування на вміст мікроелементів в зеленій масі амаранту.....	130
Sopov D.S. Geohistorical analysis of ecological problems of land resources of Luhansk region (Ukraine): pre-war retrospective.....	134

Сопов Д.С., Кирпичова І.В., Березенко К.С., Карпенко Т.А., Данкесва О.Є. Ерозійні процеси на склонових землях Луганської області (Україна): екологічні наслідки.....	139
Ткачук О.П. Передумови переходу землеробства в Україні на еколого-збалансовані принципи.....	144
ЕКОЛОГІЯ І ВИРОБНИЦТВО	150
Барбашев С.В., Бурбан Н.С. Застосування моделі радіаційної ємності ландшафту та його компонентів для оцінки радіаційного ризику зовнішнього опромінення людини і біоти й визначення екологічно безпечних викидів АЕС.....	150
Kulikova D.V. Development of a resource-saving technology for integrated processing of highly mineralized mine water in the enterprises of the Kryvyi Rih iron ore basin.....	158
Семак У.Й., Миленка М.М. Морфологічна дендроіндикація рівня техногенної трансформації екотопів золошлаковідвалів Бурштинської ТЕС.....	163
Улицький О.А., Буглак О.В., Горобей М.С., Савлущинський О.М. Визначення пріоритетних факторів екологічного ризику для навколишнього середовища та здоров'я населення на прикладі вугільної шахти № 5/6 ДП «Мирноградвугілля».....	168
ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ	180
Бойко Л.І., Юхименко Ю.С., Данильчук Н.М. Принципи створення дендрокомпозицій та критерії їх використання на міських територіях.....	180
Glibovyt'ska N.I. Bio-indication perspective of <i>Chelidonium majus</i> L. in the conditions of the urban territory.....	186
Зубровська О.М. Особливості інтродукції видів роду <i>Sedum</i> L. в умовах Степової зони України.....	191
Іванець О.Р. Фауністична характеристика і таксономічна структура угруповань веслоногих раків (<i>Crustacea : copepoda</i>) водойми Глинна Наварія.....	197
Котюк Л.А., Іващенко І.В. Чабер садовий (<i>Satureja hortensis</i>) в умовах ботанічного саду Поліського національного університету.....	201
Красовський В.В., Черняк Т.В., Федько Р.М. Біолого-екологічні наслідки інтродукції субтропічних плодівих культур в лісостеп України.....	207
Лагутенко О.Т., Настека Т.М., Шевченко В.Г., Кривошапка В. А., Дутова Г.А. Комплексна оцінка посухостійкості сортів агрусу в умовах Північного Лісостепу України.....	213
Лихолат Ю.В., Дрегваль О.А., Дідур О.О., Хромих Н.О., Скляр Т.В., Давидов В.Р., Лихолат Т.Ю. Ендофітні ізоляти мікроміцетів із плодів <i>Chaenomeles thibetica</i> та їх фунгістатична активність.....	218
Мельник-Шамрай В.В., Шамрай В.І. Оцінка екологічного стану соснових насаджень зони безумовного відселення у вологих суборах лісів українського Полісся.....	224
Роман Л.Ю. Неорганізований екотуризм Карпат: екологічні проблеми	233
Хом'як І.В., Онищук І.П., Василенко О.М., Гарбар Д.А., Коцюба І.Ю. Природна та антропогенна динаміка угруповань асоціації <i>Geranio-trifolietum alpestris</i> на території українського Полісся.....	238
Шиндер О.І. Знахідки чужорідних рослин у західному і північному регіонах України.....	243
ЗМІНА КЛІМАТУ	249
Польовий А.М., Божко Л.Ю., Барсукова О.А. Агрокліматичні аспекти продуктивності соняшника Одещині в умовах потепління клімату.....	249
ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ	255
Герасимчук Л.О., Валерко Р.А., Ясінський В.В., Піциль А.О., Соловійова О. О. Державний контроль у сфері поводження з відходами на території Житомирської області.....	255
Дементєєва Я.Ю. Реакція птахів на зміни в природоохоронному менеджменті щодо побутових відходів.....	260
Zalenska E., Voitenko L., Kopilevich V., One O.-V. An attempt of contaminated drilling waste remediation by biocomposting.....	264
Король К.А., Шуплат Т.І. Біоіндикація техногенних едафотопів сміттєзвалищ Передкарпатського геоботанічного округу за допомогою представників родини <i>Brassicaceae</i>	272

ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНИЙ ФОНД УКРАЇНИ.....	281
Мартиненко В.В. Оцінка поширення верхівкового короїда (<i>Ips acuminatos</i>) в соснових деревостанах природного заповідника «Древляньський».....	281
ЕКОЛОГІЧНА ОСВІТА.....	285
Bondarenko L.I., Voloshyna N.O., Lazebna O.M., Bilianska M.M. Mobile learning implementation in the process of ecologists training.....	285
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....	291

CONTENTS

ENVIRONMENTAL SAFETY	9
Bondar O.I., Mashkov O.A., Mukhina K.E. Systemic approach to elimination of threats of environmental disasters as a result of military action.....	9
Stepova O., Kornishina A., Tristan A. Analysis of atmospheric air pollution from vehicle transport (on the example of the Shevchenkiv district of Poltava).....	18
BIOLOGICAL SAFETY	26
Valerko R., Herasimchuk L., Matviychuk O., Zabrodska J. Study of the physiological perfectness of drinking bottle water provided in the commercial network of the city of Zhytomyr.	26
Voitsitskiy V., Khyzhnyak S., Korniyenko V., Midyk S., Ladohubets E., Duchenko E., Harkusha I. Atomic spectrometry – priority method for determination of heavy metals in the environment and agricultural products.	32
ENVIRONMENTAL MONITORING	36
Romaniuk O., Oshchapovskiy I., Shevchyk L. Monitoring of gas pollution in the territory of the city of Boryslava.	36
Skuibida O. The state, problems and prospects of atmospheric air monitoring of Zaporizhzhia zone and agglomeration.	43
Shevchenko R. Geoinformation management of the monitoring of complex technological systems using UAV-cartography in the conditions of the state of War.	48
ECOLOGY OF CONSTRUCTION	55
Kovalenko Yu., Diadin D., Yarchuk D. Assessment of the energy and environmental efficiency of building insulation measures considering the climate conditions.	55
ECOLOGY OF WATER RESOURCES	64
Bezsonnyi V., Plyatsuk L., Tretyakov O. Means of mathematical forecasting of assessment of ecological condition of surface water objects.	64
Levoniuk S.M. Hydrogeochemical features of changes in the f content in the groundwater chemical composition of buchak-kaniv aquifer to increase the ecological safety of population drinking water supply.....	69
Mikhaylyuk V. Classification and properties of ekranosems of the city of Odessa.	73
Monastyrskaya S., Hoivanovych N., Klymyshyn O. Hydrobiological analysis condition of the Stryi River waters within the Carpathian Foothills.	77
Rudyk-Leuska N., Leuskiy M., Yevtushenko M., Leuskiy M., Khyzhnyak M., Makarenko A. Phytoplankton and water quality of the Kakhovka reservoir in the summer period.	83
Strokal V., Kovpak A. Military conflicts and water: consequences and risks.	94
Yatsiuk M., Shcherbak V., Semeniuk N., Poliatykyina O., Leshchuk V., Korotetskiy V. Natural-artificial bio-reclamation complex as a new area in biological reclamation of various water bodies of Ukraine.	103
ECOLOGY OF LAND RESOURCES	116
Butsyak A., Butsyak V. Obtaining and using of vermicompost (biohumus) with the purpose of improving the nutrient regime of the soil.	116
Pichura V., Potravka L., Dudiak N., Rutta O. Modeling of water deflation destruction of steppe soils of Ukraine.	121
Romanchuk L., Kravchuk T., Mozharivska I. The influence of the agroecological elements of the cultivation technology on the microelements content in amaranth green mass.	130
Sopov D.S. Geohistorical analysis of ecological problems of land resources of Luhansk region (Ukraine): pre-war retrospective.....	134
Sopov D., Kyrpychova I., Berezenko K., Karpenko T., Dankeyeva O. Erosion processes on sloping lands of Luhansk region (Ukraine): environmental consequences.	139
Tkachuk O. Prerequisites for the transition of agriculture in Ukraine to ecologically balanced principles.	144

ECOLOGY AND PRODUCTION	150
Barbashev S., Burban N. Application of the radiation capacity model of the landscape and its components for the assessment of the radiation risk of external irradiation of humans and biota and the determination of environmentally safe emissions of NPP.	150
Kulikova D.V. Development of a resource-saving technology for integrated processing of highly mineralized mine water in the enterprises of the Kryvyi Rih iron ore basin.	158
Semak U., Mylenka M. Morphological dendroindication of the level of technogenic transformation of ecotopes of ash and slag dumps of Burshtyn TPP.	163
Ulytskyi O., Buhlak O., Horobei M., Savluchynskyi O. Determination of priority environmental risk factors for the environment and public health on the example of coal mine No. 5/6 of the «Myrnodgradvugillia» substation.	168
PRESERVATION OF BIOLOGICAL AND LANDSCAPE DIVERSITY	180
Boyko L., Yukhymenko Yu., Danylchuk N. Principles of creation of dendrocompositions and criteria for their use in urban areas.	180
Glibovytska N.I. Bio-indication perspective of <i>Chelidonium majus</i> L. in the conditions of the urban territory.	186
Zubrovskaya O. Features of the introduction of species of the genus <i>Sedum</i> L. in the conditions of the Steppe of Ukraine.	191
Ivanets O. Faunal characteristics and taxonomic structure of groups of copepods (<i>Crustacea: Copepoda</i>) of the Hlynna Navariya reservoir.	197
Kotyuk L., Ivashchenko I. Summer savory (<i>Satureja hortensis</i>) in the botanical garden of Polissia National University. ...	201
Krasovsky V., Chernyak T., Fedko R. Biological and ecological consequences of the introduction of the subtropical fruit crops in the forest-steppe of Ukraine.	207
Lagutenko O., Nasteka T., Shevchenko V., Kryvoshapka V., Dutova H. Comprehensive assessment of drought resistance of gooseberry varieties in the conditions of the northern forest steppe of Ukraine.	213
Lykholat Y., Drehval O., Didur O., Khromykh N., Sklyar T., Davydov V., Lykholat T. Endophytic isolates of micromycetes from <i>Chaenomeles thibetica</i> fruits and their fungistatic activity.	218
Melnyk-Shamrai V., Shamrai V. Assessment of the environmental state of pine plantations of the zone of unconditional settlement in wet subsoils of Ukrainian Polissia.	224
Roman L. Unorganized ecotourism of the Carpathians: environmental problems.	233
Khomiak I., Onyshchuk I., Vasylenko O., Harbar D., Kotsiuba I. Natural and anthropogenic dynamics association plant communities <i>Geranio-Trifolietum alpestris</i> on the territory of the Ukrainian Polissia.	238
Shynder O. Findings of alien plants in the Western and Northern regions of Ukraine.	243
CLIMATE CHANGE	249
Polevoy A., Bozhko L., Barsukova E. Agroclimatic aspects of sunflower productivity in Odesa region in conditions of climate warming.	249
WASTE MANAGEMENT	255
Herasymchuk L., Valerko R., Yasinskyy V., Pitsil A., Solovyova O. State control in the field of waste management in the territory of Zhytomyr region.	255
Dementieva Ya. Reaction of birds to changes in the environmental management of waste.	260
Zalenska E., Voitenko L., Kopilevich V., One O.-V. An attempt of contaminated drilling waste remediation by biocomposting.	264
Korol K., Shuplat T. Bioindication of man-made edaphotopes of landfills of the Pre-Carpathian Geobotanical District using representatives of the brassicaceae family.	272
UKRAINIAN NATURE RESERVE FUND	281
Martynenko V. Assessment of the distribution of the apical bark beetle (<i>Ips acuminatus</i>) in the pine stands of the Drevlyansky nature reserve.	281

ENVIRONMENTAL EDUCATION.....	285
Bondarenko L.I., Voloshyna N.O., Lazebna O.M., Bilianska M.M. Mobile learning implementation in the process of ecologists training.....	285
AUTHORS' CREDENTIALS.....	291

UDK 504:3703; 502; 541:553

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.5-44.1>

SYSTEMIC APPROACH TO ELIMINATION OF THREATS OF ENVIRONMENTAL DISASTERS AS A RESULT OF MILITARY ACTION

Bondar O.I., Mashkov O.A., Mukhina K.E.

State Environmental Academy of Postgraduate Education and Management

St. Metropolitan Vasyl Lypkivskyi, 35, 03035, Kyiv

dei2005@ukr.net

The article substantiates the methodological approach to the application of a systematic approach to the elimination of threats of environmental disasters due to hostilities in Ukraine. The problems of research are related to the fact that the technology of application of the systematic approach to liquidation of threats of ecological catastrophes as a result of military operations which provides: definition of a condition of a question concerning occurrence of problems of ecological revival of the destroyed territories is not developed earlier; assessment of the ecological characteristics of the destroyed territories as a complex organizational system; formation of organizational and legal principles of public administration to eliminate the environmental consequences of hostilities; consideration of scientific aspects of environmental security on the elimination of the consequences of hostilities; identification of humanitarian aspects of environmental security (taking into account the consequences of hostilities). Organizational and legal principles of public administration to eliminate the environmental consequences of hostilities include: the economic aspect of environmental security of destroyed areas; organizational and managerial aspect of environmental safety; basic requirements for standardization of environmental quality in the direction of environmental safety; technological aspects of ecological safety of destroyed territories. It is determined that solving the problems of environmental safety in the destroyed areas requires taking into account economic, engineering, social and other factors, universal values and, given the limited resources, not only immediate but also long-term consequences of decisions in this area. Only with a systematic approach in the organization of public administration it is necessary to eliminate the consequences of hostilities in the destroyed territories as soon as possible and gradually and consistently ensure the sustainable development of the regions. Areas of further research in the field of application of a systematic approach to the elimination of threats of environmental disasters due to hostilities should include the development of a methodology for forming appropriate information, organizational and operational management decisions aimed at bringing the nature of war-torn areas in line with environmental safety requirements. *Key words:* public administration, ecological safety, ecological threats, organizational and legal bases, system approach, complex organizational system, administrative decisions.

Системний підхід щодо ліквідації загроз екологічних катастроф внаслідок бойових дій. Бондар О.І., Машков О.А., Мухіна К.Є.

Означено методологію застосування системного підходу щодо ліквідації загроз екологічних катастроф внаслідок бойових дій на території України. Проблематика досліджень пов'язана з тим, що раніше не була розроблена технологія застосування системного підходу щодо ліквідації загроз екологічних катастроф внаслідок бойових дій, що передбачає: визначення стану питання щодо виникнення проблем екологічного відродження зруйнованих територій; оцінку екологічної характеристики зруйнованих територій як складної організаційної системи; формування організаційно-правових засад державного управління по ліквідації екологічних наслідків бойових дій; розгляд наукових аспектів екологічної безпеки з питань ліквідації наслідків бойових дій; визначення гуманітарних аспектів екологічної безпеки (врахування наслідків бойових дій). Організаційно-правові засади державного управління з ліквідації екологічних наслідків бойових дій містять: економічний аспект екологічної безпеки зруйнованих територій; організаційно-управлінський аспект екологічної безпеки; основні вимоги до нормування якості навколишнього середовища в напрямку забезпечення екологічної безпеки; технологічні аспекти екологічної безпеки зруйнованих територій. Зазначено, що розв'язання проблем екологічної безпеки на зруйнованих територіях вимагає обов'язкового врахування економічних, інженерних, соціальних та інших факторів, загальнолюдських цінностей і, зважаючи на обмеженість ресурсів, не тільки найближчих, а й віддалених наслідків рішень у цій сфері, які приймаються сьогодні. Тільки при системному підході в організації державного управління необхідно як найшвидше ліквідувати наслідки бойових дій на зруйнованих територіях та поступово та послідовно забезпечити сталий розвиток регіонів. Напрямами подальших досліджень у площині застосування системного підходу щодо ліквідації загроз екологічних катастроф внаслідок бойових дій слід вважати розробку методології формування відповідних інформаційних, організаційних та оперативних управлінських рішень спрямованих на приведення природокористування зруйнованих бойовими діями територій у відповідність до вимог екологічної безпеки в нинішніх економічних умовах. *Ключові слова:* державне управління, екологічна безпека, екологічні загрози, організаційно-правові засади, системний підхід, складна організаційна система, управлінські рішення.

Introduction. Military action in Ukraine since 2014 have already caused and continue to cause enormous damage to the people and infrastructure of the settlements where the fighting continues. At present, it is not even possible to fully assess the impact of the war on the environment due to a lack of accurate information. There are two reasons for this. First of all, even collecting this data is dangerous for specialists, as active hostilities continue. Second, not all information can be made public for tactical purposes. However, it is clear that the longer the war lasts, the more damage it will do to the environment, and the more consequences we will have in the future. It is necessary to try to predict the consequences of hostilities: the impact on the landscape and villages; loss of biodiversity and threat to Red Book species; fires in ecosystems due to hostilities; chemical pollution from shelling and missiles; soil and sea pollution by oil products; consequences of fires at industrial facilities; water pollution by organic matter due to damage to utilities.

After the war, we will reap the fruits of hostilities – the destruction of ecosystems, soil pollution, biodiversity loss, increasing the number of pests in forests. In addition, rebuilding the country will require a significant amount of natural resources. There is also a risk that Ukraine will not meet its climate goals, as war is a contribution to climate change, and the country's recovery will inevitably be accompanied by significant greenhouse gas emissions.

As significant chemical contamination of soils and waters is expected, it is important to ensure an effective environmental monitoring system after the war. Which would record the real extent of the damage to the environment and take the most effective measures to avoid further deterioration and to restore ecosystems to a safe state – both for humans and wildlife.

It is also important that the process of restoring Ukraine includes measures to restore and preserve ecosystems. At the same time, it is advisable to include nature-oriented solutions and measures to adapt to climate change in the plans for the reconstruction of settlements. Therefore, environmental protection, rational use of natural resources, environmental security – an integral condition for sustainable economic and social development of Ukraine. When there is an armed conflict, people die and are seriously injured, and some may think that talking about the damage done to the environment is not appropriate at this time. After all, it is necessary to save people immediately. However, this is only one side of the war, apparently. And there is still the invisible side of any armed conflict, which results in many years of gradual destruction of human health and the environment. This is due to the entry into the human body through water, air, food of dangerous substances that over many years of accumulation lead to fatal diseases and death, affect reproductive properties, affect the ability of biological organisms to perform their function, affect the economic development of the region. was affected by hostilities. The hostilities in Ukraine have

led to many additional social and humanitarian problems. One of the most pressing issues that needs to be addressed urgently is environmental issues.

Risks associated with damage to communications, businesses and other facilities that pose an increased environmental risk are of particular importance, because in the absence of control and the ability to eliminate their negative consequences potentially increase the scale of negative impact every day.

The fighting has serious environmental consequences – pollution of groundwater, water bodies, flooding and subsidence of the soil, air pollution, destruction and damage to nature reserves, forest fires and others. The fighting itself leads to no less dangers: spilled fuel, destroyed equipment and spent weapons – all this contaminates the soil and groundwater with chemicals and heavy metals.

After the end of the war, some environmental consequences will be felt even for years. This is due to the accumulation of carcinogenic waste, threats not only to man-made and environmental disasters, the destruction of natural areas that provided habitat for rare species and their endangered habitats.

In the midst of hostilities, it is difficult to see the real scale and level of pollution. A real assessment will be made after the end of active hostilities, and the consequences will last for years. Therefore, it is now important to develop a methodology for applying a systematic approach to eliminating the threat of environmental disasters due to hostilities.

Analysis of recent research and publications.

Research on a systematic approach to eliminating the threat of environmental disasters due to hostilities was conducted by Ukrainian and foreign experts and scientists, as evidenced by relevant publications.

The paper «Environmental security as a fundamental component of national security» states that in determining the place of the environmental component in the national security system an important methodological context is strategic environmental policy planning and identifying features of appropriate forecasting strategies as part of an integrated national security system in the short and long term, provided by a system of organizational and legal, economic, technical, sanitary and hygienic and other environmental measures (Hilko, 2021).

The monograph «Environmental Damage Assessment and Priorities for Environmental Recovery in Eastern Ukraine» covers issues of statistical analysis and forecasting of environmental risks and threats (Denisov, Averin, Ermakov, Ulitsky, 2017).

Thus, the book «System approach to decision-making in public administration: Methodology for solving problems of public administration and making objective decisions of a certain quality» formalized the issue of systematic analysis of decision-making processes in public administration, development and justification of tools for solving public problems management, which will assess the quality of the decision and allow to design the most effective trajectory of its implementa-

tion, taking into account the existing risks and uncertainties (Polovtsev, 2021).

The study «On the nature and content of public administration mechanisms» found that a systematic approach to understanding public administration mechanisms is based on the dialectical unity of government as a complex system and the impossibility of rigid separation of mechanisms from government as a whole (Dreval, 2020).

The author's team «Methodology of research and systems approach in the field of public administration: mechanisms, levers, methods, tools» determined that the formation of research methodology in the field of public administration in three main blocks: substantive target, system-methodical and project-effective – allows to carry out scientific research in accordance with the principle of «management – by objectives, evaluation – by results». This approach is able to ensure the efficiency, quality and appropriateness of scientific activities. (Ivashova L.M., Ivashov M.F., Kveliashvili I.M., 2020).

In the work «On the verge of survival: the destruction of the environment during the armed conflict in eastern Ukraine» made a comprehensive analysis of the environment in the armed conflict in eastern Ukraine, identified the state and outlined problematic issues of environmental protection Medvedev, Parkhomenko, 2017).

In a number of works attention is paid to the urgency of operational elimination of threats of ecological catastrophes as a result of military actions (Ivanyuta S.P., 2019), (Omelchuk, Sadogurskaya, 2022).

Ensuring the environmental security of the state encourages the active development of new methods of implementing a systematic approach (Nastasenکو O.G., Bondar O.I., Mashkov O.A., 2014) to create a system of support for appropriate environmental solutions (Bondar O.I., Mashkov O.A., Mikheev V.S., 2020).

The purpose of the article. To substantiate the mechanism of application of the system approach on liquidation of threats of ecological catastrophes as a result of hostilities on the territory of Ukraine, as the tool of implementation of executive power of the state in logical interrelation of the corresponding elements, processes and laws.

Research methods.

In the course of the study, the results of which are given below, a set of scientific methods was used, which included: methods of systematic analysis – in studying the state of the issue of environmental regeneration of destroyed areas; methods of theory of complex systems – to determine the ecological characteristics of destroyed areas as a complex organizational system; methods of synthesis of managerial decisions – for the formation of organizational and legal foundations of public administration to eliminate the environmental consequences of hostilities.

Results of the research.

1. Ecological characteristics of destroyed areas as a complex organizational system.

The war in Ukraine continues, but today we also need to talk about the ecological restoration of the lib-

erated regions, so plans for environmental reforms (strategic and situational environmental management) must be ready in advance. We believe that reforms to rebuild war-torn areas should be effective (in terms of resources, time, cost, etc.). This is a multi-criteria task. Therefore, it is advisable to start with a systematic reform of the administrative-territorial division on the concept of sustainable development, namely the systematic analysis of situations in the regions and management decisions: information, organizational, operational.

Systemic transformations, both structural and functional, must be the most radical. First of all, economic reforms must be implemented in combination with social and environmental ones. In economics, there is such a thing as reorganization. This is a structural restructuring and re-equipment of the enterprise, which involves the complete elimination of old industrial facilities with the construction of new production lines. Therefore, for outdated industry and agriculture, remediation is the only way out. We believe that the state should get rid of unprofitable branches of the economy decisively and definitively.

In our opinion, the territories destroyed by the war should be declared tax-free territories for several years, and foreign investors should be invited to build new enterprises from scratch.

It is also worth thinking about the optimal cost of reconstruction of natural and man-made objects destroyed by the war. After the war in Ukraine, a massive outflow of population and a reduction of hundreds of thousands of people is predicted. Therefore, it is worth thinking about how to help people settle in other areas where there are more prospects. Perhaps small settlements that are dying are better resettled and liquidated so as not to spend money on rebuilding and maintaining their infrastructure. It is unlikely that such settlements, where for many years there is no central heating and water in homes, have a future. We must admit this. In order to solve the problems of restoration of the territories destroyed by the war and to develop the optimal plan of their reconstruction, it is necessary to develop a plan of socio-economic-ecological development of territories and announce a competition of projects for their immediate restoration. Of course, to cut this knot of serious problems in one fell swoop will not work. But if you involve a team of your own professionals and crisis managers, successful steps can quickly yield positive results. Together with consistent systematic work towards sustainable development, it is possible to change the appearance of territories in three to five years. This requires a clear business plan for systemic environmental development (synthesis of environmentally friendly structure).

The conduct of hostilities raises questions not only about the security of the civilian population, but also about the socio-economic and environmental factors of national and regional security. Thus, in the conditions of hostilities, in addition to purely military issues, the

problems of vulnerability of the population to secondary factors of impact are relevant – the impact on life and health of the region, caused by the destruction of potentially dangerous objects and critical infrastructure. Such consequences of military events include, for example, flooding, abysses and landslides that may occur due to the destruction of hydraulic structures, dams and hydro-electric power plants, various contaminants due to the destruction of warehouses and storage of radioactive and toxic substances and waste, petroleum products, explosives, explosives, transport and engineering communications, etc. Risk forecasting and the choice of environmental safety management strategy significantly depend on how we assess the situation (information management decisions).

The first question should be the problem of cluster analysis, correct classification (identification): what type of environmental emergency we are dealing with.

From the point of view of elimination of direct consequences, assessment of the «static» situation, ie without forecast, driving forces and genesis of catastrophes are of secondary importance. But in terms of a systematic approach to security management, strategic planning and risk forecasting, it is necessary to pinpoint the nature of the threat and the type of emergencies we are dealing with.

Therefore, the task of strategic management (combination of strategic and situational management) is relevant, and we, in particular, need to determine what type of emergency we have to work in the destroyed areas: environmental, economic, social or military.

Today, we are dealing with the escalation of emergencies caused by environmental threats resulting from hostilities resulting from the use of military means of destruction. Therefore, the minimization of environmental threats and the appropriate management of environmental risks is the planning of organizational measures (organizational management), and operational management is the responsibility of the central government and special administrative bodies.

Risks in areas of hostilities are complex (systemic) socio-economic and environmental nature, so their minimization is to effectively respond (information management decisions) to sources of threats in accordance with applicable law. Determining the effectiveness of this response requires specification in terms of resources, time, cost, the consequences of management decisions.

The following hazards must be taken into account when determining environmental risks:

a) artillery shelling, bombing, use of small arms: funnels from bursts of mines and shells; trenches, trenches, anti-tank trenches and other engineering structures for military purposes;

b) the use of aircraft: the fall of aircraft; occurrence of explosions and fires in case of damage to aircraft and their fall;

c) blasting and mining of industrial enterprises, including environmentally hazardous facilities (chem-

ical, radiation, meteorological); energy supply, critical man-made infrastructure facilities;

d) movement of military equipment (including heavy armored vehicles);

e) arson with fires at facilities in the occupied areas;

f) occupation of territories.

These factors can lead to the following negative environmental consequences:

– intensification of erosion processes;

– occurrence of fires with the manifestation of dangerous factors (destruction or damage to property, high temperature, emissions of toxic volatile products of combustion-pollutants, including ozone-depleting, greenhouse gases, dioxins, furans, radioactive substances, etc.);

– pollution of water resources (terrestrial, underground) with environmentally hazardous substances and complicating their use;

– contamination of soils with environmentally hazardous heavy metals, plant protection products;

– pollution of territories due to the fall of aircraft, including fires;

– loss of living beings and reduction of biological and landscape diversity;

– death of people;

– destruction or withdrawal from nature management of forests, protective forest belts, economic (including fertile) lands;

– deterioration of the dynamics of livestock development;

– Deterioration of the ecological condition of the Black and Azov Seas, wetlands of international importance;

– deterioration of atmospheric air in settlements (including radiation);

– Deterioration of drinking water quality with a negative impact on public health;

– violation of soil cover;

– disturbance of ecosystems;

– violation of the infrastructure to ensure the livelihood of the population and territories;

– violation of the national ecological network;

– creation of preconditions for scattering and pollution of soils, atmospheric air (dust) and water resources with wastes of I-III hazard class;

– creating obstacles to the inclusion of objects in the Emerald Network of Europe (for example, the Ukrainian steppe nature reserve; Holy Mountains National Nature Park; Donetsk Ridge Regional Landscape Park; Kleban-Byk Regional Landscape Park; Meotida National Nature Park»).

Thus, the general socio-ecological and economic situation in the areas of hostilities is extremely disappointing.

It is known that the annual emissions of polluted water is about 500 million tons. The total amount of groundwater pollution is estimated at 5 million tons of mineral and 300 tons of ammonia salts. Only about 12%

of groundwater sources meet water quality standards. By restricting access to water resources, this can be critical to the survival of the population in crisis situations.

The main hazardous substances that are among the typical pollutants of water resources in the regions are sulfur and sulfur compounds, ammonia, phosphorus, coal pollen, sulfuric acid and sulfate compounds, formaldehyde, lead, mercury, as well as composite chemical wastes from various enterprises, among which are strong toxic substances, such as mononitrochlorobenzene, which is a highly toxic substance. The greatest threat, on average, to pre-crisis indicators is shown by indicators of chemical and biological danger: the greatest pollution is observed on indicators of the content of compounds of nitrogen, iron, heavy metals and bacterial pollution. In surface waters there is an abnormally high prevalence of pathogens, in particular, *Escherichia coli*, which is due in part to the unsatisfactory situation with waste: the accumulation of waste is 3.8-4.2 times faster than their processing.

Any additional pollution of the atmosphere, especially water bodies, can become critical, i.e. have fatal environmental and social consequences for the regions. To respond to threats and plan measures to manage environmental safety, it is necessary to know the distribution of sources of danger, especially man-made.

The main threat factors in combat areas are significant limited availability and reduced quality of water resources, including the risk of destruction of industrial facilities and infrastructure, increasing the likelihood of failure of settling tanks, treatment and drainage systems, sewage and hazardous waste in sources of drinking water. This is a special danger against the background of reduced availability of medical services and sanitary and epidemiological control.

Therefore, in the current situation, ensuring the required level of socio-economic and environmental security with the help of local resources is not possible. This requires a systematic approach to the organization of public administration. Procrastination and self-exclusion from making the necessary scientifically sound decisions only brings us closer to the highly probable catastrophic resolution of the environmental crisis.

2. Organizational and legal principles of public administration to eliminate the environmental consequences of hostilities.

Taking into account the systemic nature of the problems of eliminating the environmental consequences of hostilities, their organic correlation with all political, social and economic factors, the strategy of environmental security is seen as one of the fundamental components of national security. Such a policy must be based on the generally accepted postulate of the priority of human rights in the civilized world. One of such indisputable rights is the right of citizens to environmental security. It is guaranteed by a set of political, legal, economic, technological and humanitarian factors, etc.

Thus, informational, organizational and operational management decisions are needed to eliminate the con-

sequences of hostilities. For the formation of management decisions, it is advisable to address at the legislative level the issue of establishing an international group of experts to assess and audit the environmental situation in combat zones, determine its composition, ensuring the representation of national and international experts and competent organizations. Based on the conclusions of national and international experts, it is advisable, in our opinion, to develop a national action program to eliminate the effects of hostilities and ensure environmental and man-made security of the population and destroyed areas. At the same time, we believe that the following measures should be envisaged:

- development of the corresponding program of national, regional, local actions;
- advanced training of specialists – environmental ecologists (strategic environmental management);
- conducting environmental monitoring and forecasting using aerospace technologies;
- raising awareness of the population of the destroyed territories on the state policy in the field of reconstruction of the infrastructure of the regions.

It is also possible to organize and periodically hold public hearings on environmental and man-made safety of the population and destroyed areas (feedback in the environmental management system).

The implementation of these measures requires appropriate mechanisms to implement a systematic approach to the elimination of the consequences of hostilities. As evidenced by our systematic research, the priorities of systemic decisions on the mechanisms of environmental safety of the destroyed areas should be determined as follows:

- economic mechanisms of ecological safety;
- state environmental safety management system;
- industrial safety and technological bases of ecologically safe development of industry, energy and transport;
- regulatory and legal activities in the field of environmental safety;
- scientific bases of ecological safety;
- public organizations in the field of environmental safety.

2.1. Economic mechanisms for ensuring the environmental safety of destroyed areas.

An effective way to regulate the security of destroyed areas are economic mechanisms, which are conditionally combined into two groups: mechanisms for compensation and mechanisms to prevent them.

Damage compensation mechanisms in the destroyed areas should provide for the assessment of losses, the need for compensatory resources and the reimbursement of costs. At the same time it is necessary to distinguish two forms of damage – inflicted and compensated. It is almost impossible to fully estimate the losses. However, it is quite possible to determine the damage caused:

- a person, taking into account the additional costs of restoring his health and material well-being);
- nature, based on the amount of additional costs required to restore ecological balance;

– the national economy, taking into account the costs of compensation for product losses and losses to enterprises.

An important means of compensation – the insurance system, the effective operation of which involves the implementation of a number of principles:

– close connection of insurance with risk cards and distribution of insurance premiums between objects depending on expected losses;

– compulsory insurance of high-risk facilities and their employees; at the same time, as a supplement to the mandatory one, a system of voluntary insurance (for the population, enterprises) should be created;

– transformation of the insurance system into one of the most important elements of security control in the region.

Insurance authorities must respond promptly to changes in the situation by reducing or increasing insurance premiums depending on the likelihood of an accident or catastrophe.

The compensation system is obliged to compensate the losses of the uninsured part of the population and enterprises, to compensate for the loss of health, housing, work, products, etc. It is necessary to create additional capacity and significant reserves of funds to compensate for losses of industrial and non-industrial nature, to expand the capabilities of the health care system, to have a reserve of housing for refugees. The compensation system also includes long-term investment activities, which will allow the restoration of housing, economic facilities and lost ecological balance at the expense of special reserve funds.

Damage prevention mechanisms. These mechanisms should provide: legal and economic protection of damage prevention activities; legal and economic responsibility for increasing the amount of risk; interest of business and management entities in risk prevention. This mechanism has measures of both economic and administrative nature. Its components can be divided into five groups.

The first group of mechanisms is related to the change in the structure of the national economy in favor of industries that would meet human needs. An important way to increase the level of safety is also to eliminate structural imbalances in favor of processing industries, in particular the production of secondary waste.

The second group consists of mechanisms that should help reduce accidents. These include, first of all, paid risk quotas, which allows you to create a quota market and maintain a minimum level of risk in the region as a whole. Acquisition of risk quotas by some companies in others allows subsidizing security measures.

Such a purely economic mechanism can be supplemented by administrative and economic measures. First of all, it is a system of fines for exceeding the established risk quotas in the region. In order to interest companies in reducing the amount of risk, it is necessary to create special regional funds and provide for regular payments of premiums for risk reduction.

The third group of mechanisms requires replacement and improvement of the technical base, restoration of equipment, introduction of new technologies and information systems.

The fourth group is designed to expand the market for skilled workers and reorganize the system of retraining.

The fifth group of mechanisms is aimed at stimulating investments that would prevent losses through tax policy.

The solution to this problem depends primarily on improving the economic situation in the country.

In our opinion, the priority tasks that exist in the economic problem of environmental security in the destroyed territories are:

– development of methods for determining the economic consequences of hostilities;

– development of effective economic mechanisms of responsibility and stimulation of increase of level of industrial safety in the destroyed territories;

– creation of a comprehensive system of methods and regulations that should regulate the economic consequences of hostilities.

In our opinion, the system of public administration should create conditions for investing significant investments in the implementation of environmental measures aimed at reducing the threat of military consequences.

2.2. Organizational and managerial mechanisms to ensure environmental safety.

Various ministries, departments, agencies and organizations of the state should be involved in the implementation of measures aimed at achieving, supporting and monitoring compliance with environmental safety requirements. The components of compliance with the requirements of environmental safety of Ukraine are the provision of chemical, physical (ionizing and electromagnetic radiation, noise), biological, industrial safety and prevention of natural and man-made disasters. The result of such measures can be obtained only with their integrated application, which in turn requires the introduction of a well-established mechanism of organizational management of all actors in this process. To implement such a mechanism, the state system of ecological security of Ukraine must be formed.

The state system of ecological security of Ukraine is a set of state measures (legal, economic, technical, humanitarian and medical) aimed at maintaining the balance between its ecosystems and anthropogenic and natural pressures. The structure of this system should consist of governing bodies, forces and means to ensure its functioning.

Among the priority organizational and managerial problems of man-made safety in the destroyed areas are the following:

– development of national policy and legislation in this area;

– creation of an integrated system of state security management;

– strengthening of control functions on the part of the state on observance of technogenic safety;

- creation of a system of state reserves;
- introduction of a new system of training and certification of specialists in the field of industrial and natural safety.

2.3. Mechanisms for regulating the quality of the environment in the direction of environmental safety.

Standardization of the quality of the environment in combat areas should be carried out in order to establish maximum permissible norms of environmental impact, which ensures environmental safety and preservation of genetic resources, ensuring the rational use and reproduction of natural resources in sustainable economic development. Standards of maximum permissible harmful effects, as well as methods of their determination must be determined by specially authorized state bodies of Ukraine.

Taking into account the natural and climatic features, as well as the increased social value of certain areas (reserves, sanctuaries, national parks, resorts and recreational areas) for them it is necessary to establish stricter standards of maximum permissible harmful effects on the environment. The environmental rationing system should cover all environmental risk factors associated with the location, construction and operation of industrial facilities and complexes with the creation of new equipment, technology and materials.

An important requirement is the harmonization of standards with project examination procedures and environmental monitoring. Measures to prevent the greening of nature management should be the legislative consolidation of the requirements for mandatory state and public environmental review of plans and projects. According to the analysis, the system of means and incentives of economic and other nature to comply with laws and regulations in the field of environment is insufficient. At the same time, there is a real opportunity to avoid them, the sanctions for non-compliance are too lenient. For example, various oversight bodies can only propose penalties, but cannot enforce them themselves. The previously proposed sanction is often changed or revoked altogether. Centralization and the associated monopolization of some industries can lead to a situation where environmental disturbances do not stop (the amount of fines may be included in production costs).

Therefore, the main mechanisms for implementing the state system of environmental safety of destroyed areas should be:

- organization, management and control over compliance with environmental safety requirements in the destroyed areas;
- planning and coordination of comprehensive programs of environmental protection and environmental management;
- control over the observance of the unified state policy, which guarantees the reliability and sustainable functioning of national security facilities;
- prevention and elimination of environmental consequences of industrial accidents, natural disasters and natural disasters;

- assessment of the state of ecological safety on the whole territory of Ukraine and in its separate administrative-territorial formations, forecasting of its dynamics.

2.4. Technology of introduction of mechanisms of maintenance of ecological safety of the destroyed territories.

The following are recommendations that should be considered regarding environmental regulations in the preparation of environmental legislation on the elimination of the consequences of hostilities.

Ensuring the legal framework for the elimination of the consequences of hostilities includes the following measures:

1. Development of scientifically sound environmental standards and their harmonization with existing legislation.
2. Making appropriate changes and additions to the Administrative and Criminal Codes of Ukraine.
3. Introduction of a system of economically tangible penalties for violations of environmental management.
4. Development of relevant bylaws to the Law of Ukraine «On Environmental Protection».
5. Ensuring compliance with laws on environmental protection.
6. Development of mechanisms for economic incentives for environmental activities, which would ensure the necessary balance of environmental and economic interests. This applies in particular to measures of state support for those types of investment and business activities aimed at improving environmental safety and environmental protection, such as various incentives and benefits, especially taxes.
7. Adoption of additional measures to improve criminal liability for environmental crimes, including liability for the most dangerous types of encroachments on the environment and some of its elements, while aligning the content of criminal law with basic environmental legislation.

3. Scientific aspects of environmental security in the aftermath of hostilities.

The system of environmental security management in the aftermath of hostilities cannot be built without knowledge of the basic scientific laws of the impact of harmful anthropogenic factors on ecosystems, including humans. Knowing the state of the ecosystem and the laws of nature and society, you can predict changes in the state of the environment and predict the undesirable consequences of such changes or prevent them in advance. This requires considerable attention to scientifically sound regulation of various anthropogenic pressures on the environment.

All this brings to the fore the development of a number of priority theoretical problems of environmental regulation of anthropogenic pressures, including:

1. Elaboration of theoretical bases of formation of noocenoses is a fundamental problem of modern science and a strategic direction of ensuring ecological safety of society. The primary task is to develop criteria for envi-

ronmental safety (noosphere-compatible) development of productive forces and to develop on this basis a system of environmental standards.

2. Elaboration of scientific bases of ecological standardization of anthropogenic pressures on natural systems of Ukraine and the decision of the contradictions arising at interaction of the nature and the person.

3. Determining the permissible limits of the dynamics of ecological systems of different rank, exceeding which indicates the approach to a critical state. The choice of the scale of these indicators depends on the specific circumstances, but the rule here should be to minimize the risk of catastrophic changes in the ecological system.

Environmental standards are not absolutely strict, and the task of rationing, in fact, is to find a compromise between the requirements of compliance as far as possible from the stability of the ecological system and get the maximum possible products, taking into account technological capabilities of a business.

In addition, environmental standards should be focused not on the amount of damage and the consequences of specific types of impact on natural complexes, but on the response of biological systems. The new system of environmental regulations and rules should direct the environmental security of Ukraine to achieve specific environmental results, rather than the creation of environmental facilities.

It is possible to find quite effective system solutions through the development and implementation of scientific foundations of public policy, which operate in the course of state, regional, sectoral scientific and technical problems. Thus, rich statistical and analytical material on the parameters and dynamics of environmental change is analyzed and published annually in a number of publications.

Among the priority tasks of the scientific and technical problem of environmental safety in the destroyed areas are the following:

- creation of real scientific bases of maintenance of industrial safety, safety of difficult technical systems, people and environment;

- development of methods for hazard assessment of industrial facilities;

- development of scientific bases of the concept of acceptable risk concerning conditions of functioning of technogenic systems;

- creation of a data bank and a system of man-made safety monitoring;

- development of forecast estimates and scenarios for the development of natural ecosystem changes in the destroyed areas and effective response measures;

- development of socio-economic, regulatory and organizational measures for sustainable development of regions in the transition to market relations, taking into account the threats of man-made, natural or man-made origin;

- development of mathematical models for reducing potential threats to industrial facilities to solve a wide

range of optimization problems related to reducing threats to the population.

The consequences of hostilities in the area require a comprehensive solution to the following humanitarian issues:

- the formation of the idea of «environmental imperative of military action» – a forbidden limit, which humanity has no right to cross under any circumstances;

- environmental education (environmental knowledge should include awareness and understanding of environmental laws, the principles of the relationship of various objects of nature with each other and with man due to hostilities, organization, management, use of nature and its resources to ensure human and human life on the principles of functioning «noosphere»);

- environmental awareness and environmental thinking (reflecting not only the activities to protect nature, but also the attitude to it, to the conditions in which it is as a result of hostilities).

An important factor in improving the environmental culture of society and optimizing the environmental protection of the state is environmental information. The state system of environmental information in Ukraine is provided by the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine. Prompt informing of citizens on various issues of ecology, nature protection is carried out by mass media through issues of information services (television, radio). At the same time, ecological information can provide different degrees of ecological knowledge, different depth, thoroughness depending on individual psychological characteristics, age, life experience, professional affiliation, social and moral position of the individual.

Conclusions.

Summing up, it should be noted that the problem of environmental security, given the consequences of hostilities, has reached unprecedented proportions in Ukraine and needs a systemic solution. Environmental security is aimed at eliminating the environmental threat that manifests itself on a local, regional and global scale (environmental disasters, social crises and man-made disasters). Ensuring environmental security in the destroyed territories is the main way to solve environmental problems, which guarantees the citizens of Ukraine development and living in a biosphere-compatible form. In addition, the results of separate studies of the problems of anthropogenic impact on the natural environment in the war zone allow us to express a number of generalized provisions. Problems of anthropogenic impact on the natural environment in the war zone objectively require systematic greening of socio-political thought, increasing attention to solving environmental problems at all levels of society, finding new approaches to solving them based on the priority of environmental laws and scientific knowledge. The level of national security in the devastated areas is determined by the magnitude of the risk of both man-made disasters and the negative effects of hostilities that occur rapidly and quickly lead to social

tensions (environmental problems, social conflicts). Therefore, one of such systemic approaches to natural and man-made security in the destroyed areas should be the principle of non-zero risk, which requires the formation of an effective system of economic mechanisms for systemic (comprehensive) security of man, nature and society. We believe that various ministries, departments, agencies and organizations of Ukraine should take part in the implementation of measures aimed at achieving, supporting and monitoring compliance with environmental safety requirements in the destroyed territories. The real result from such measures can be obtained only with their comprehensive application, which in turn requires the introduction of a well-established mechanism of information, organizational, operational management of all actors in this process. To implement such a mechanism, an environmental safety management system must be formed in the destroyed areas. Creating a system of environmental safety management in the destroyed areas means meeting the environmental requirements of ecosystem entities and should be prioritized at the level of national security of Ukraine. The systemic strategic direction of environmental protection and conservation of natural resources in the destroyed areas should be to overcome resource waste, low use of primary raw materials, secondary resources and waste for recycling, introduction of low and zero waste technologies. The country's economy today remains a complex conglomeration of harmful extensive industries

based on low technology. Therefore, the reconstruction of the industrial complex in the destroyed areas (situational management) should be carried out on modern, and preferably on advanced technologies. Economic reform should take into account the need to intensify the production of equipment for the development of unconventional energy, increasing the role and opportunities to use foreign and domestic experience in raising the level of environmental safety of scientific and technical bases, achieving real fuel and energy independence of Ukraine. Thus, solving the problems of environmental security in the devastated areas as a result of hostilities requires a comprehensive consideration of economic, engineering, social and other factors, universal values and, given limited resources, not only immediate but also long-term consequences of decisions in this area.. Only with a systematic approach in the organization of public administration it is necessary to eliminate as soon as possible the consequences of hostilities (operational management) in the destroyed territories and gradually and consistently ensure sustainable development of the regions. Bringing the nature management of war-torn areas in line with the requirements of environmental security in the current economic environment is a distant prospect, but now it is vital to ensure systematic progressive and focused development in this direction by implementing the proposed systemic mechanisms of information, organizational and operational management.

References

1. Бондар О. І., Машков О. А., Міхеєв В. С. (2020). Системний підхід щодо створення системи підтримки екологічних рішень для забезпечення екологічної безпеки держави / *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. К.: ДЕА, № 3(30), с. 30-38.
2. Гончарук О. Б., Савичук Н. О. (2021). Поняття механізмів державного управління та їх практичне значення. *Інвестиції: практика та досвід*. № 7. С. 77–83. DOI: 10.32702/2306-6814.2021.7.77.
3. Іванюта С.П. (2019). Пріоритетні напрями протидії екологічним і техногенним загрозам в зоні військового конфлікту на Сході України, – URL: <https://niss.gov.ua/en/node/137>.
4. Івашова Л.М., Івашов М.Ф., Квеляшвілі І.М. (2020). Методологія наукових досліджень і системного підходу у сфері публічного управління: механізми, важелі, методи, інструменти. *Публічне управління та митне адміністрування*, № 2 (25), с. 11-19.
5. Місяць війни. Злочини проти довкілля / Засядько Є., 26 березня 2022. URL: <https://www.epravda.com.ua/rus/columns/2022/03/26/684714/>
6. Настасенко О.Г., Бондар О.І., Машков О.А. (2014). Системний підхід щодо ліквідації загроз екологічної катастрофи у зоні антитерористичної операції. *Науково-практичний журнал «Екологічні науки»*, № 1(6), К., ДЕА, с. 5-20.
7. Бущенко А.П. На межі виживання: знищення довкілля під час збройного конфлікту на Сході України (2017). *Укр. Гельсінська спілка прав людини*, К., КИТ, 88 с.
8. Денісов Н., Аверін Д. (2017). *Оцінка екологічної шкоди та пріоритети відновлення довкілля на сході України*. – К.: ВАІТЕ, 88 с.
9. Половцев О. (2021). *Системний підхід до прийняття рішень в державному управлінні: Методологія розв'язання задач державного управління та прийняття об'єктивних рішень з визначеною якістю* (Ukrainian Edition) Paperback – September 30, 212 с.
10. Природа та війна: як військове вторгнення Росії впливає на довкілля України/ Омельчук Оксана, Софія Садогурська, 1 квітня 2022. URL: <https://ecoaction.org.ua/pryroda-ta-vijna.html>
11. Хилько М. І. Екологічна безпека як фундаментальна складова національної безпеки. (2021). *Вісник Донецького національного університету імені Василя Стуса*, Сер.: Політичні науки, с. 69-75.
12. Екологічні наслідки війни на сході України. Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Екологічні_наслідки_війни_на_сході_України
13. Ядерний вибух у Донецькій області. Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Ядерний_вибух_у_Донецькій_області/

АНАЛІЗ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВІД АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ (НА ПРИКЛАДІ ШЕВЧЕНКІВСЬКОГО РАЙОНУ М. ПОЛТАВА)

Степова О.В., Корнішина А.В., Тристан А.А.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

пр. Першотравневий, 24, 36011, м. Полтава

alenastepovaja@gmail.com

За оцінками експертів Міжнародного форуму «Довкілля для Європи» у 2003 році місто Полтава визнано як самий екологічно чистий обласний центр України, зокрема за станом атмосферного повітря. Проте, на сьогодні встановлено, що в атмосферне повітря Полтави потрапляє 216 забруднюючих речовин – це 20-23 кг на людину за рік. Це 15% загального обсягу викидів, а 85% викидів забруднюючих речовин надходить в атмосферу міста від автомобільного транспорту. Тому, однією з гострих проблем сьогодення є екологічний стан атмосферного повітря українських міст, зокрема м. Полтава. Дослідження даної роботи пов'язані з вирішенням задач, що наведені в Законі України «Про забезпечення санітарного благополуччя населення».

В роботі проведено огляд й аналіз праць вітчизняних та закордонних учених щодо аналізу сучасного стану науково-технічних досягнень з питань визначення та аналізу забруднення атмосферного повітря викидами автомобільного транспорту, який підтверджує актуальність та своєчасність питання. Розглянуто чотири методики розрахунку забруднень атмосферного повітря на автошляхах, аналіз яких поряд з експериментальними перевірками підтвердив, що для автомагістралей з інтенсивним рухом кількість викидів доцільно встановлювати з використанням методики визначення кількості шкідливих речовин при спалюванні одиниці палива. В даній роботі побудовано карту розміщення досліджуваних ділянок доріг та проведено експеримент з встановлення інтенсивності потоку автомобілів на зазначених ділянках. На основі отриманих даних проведено розрахунки викидів забруднюючих речовин автотранспортом на досліджуваних ділянках та побудовано відповідні гістограми, які дозволили визначити ділянки вулиць Шевченківського району міста Полтава з найбільш інтенсивним забрудненням. Підтверджено, що суттєву частину викидів на досліджуваних ділянках становлять легкові автомобілі, адже їх відсоток по відношенню до загальної кількості практично завжди залишався на рівні 70-80%.

Проаналізовано отримані дані після розрахунку викидів від автотранспорту Шевченківського району м. Полтава та виведено лінійну залежність за кожною із досліджуваних речовин та встановлено, що отримані регресійні моделі є адекватними і описують дійсні тісні зв'язки між результуючою ознакою і факторами впливу на неї. Після проведення статистичних розрахунків отримані дані послужили базою для розрахунку приземних концентрацій в програмі ЕОЛ 2000 та карти розсіювання накладено на фізичну карту району. *Ключові слова:* автомобільний транспорт, атмосферне повітря, екологічний стан, хімічне забруднення.

Analysis of atmospheric air pollution from vehicle transport (on the example of the Shevchenkiv district of Poltava)).
Stepova O., Kornishina A., Tristan A.

According to experts of the International Forum «Environment for Europe» in 2003, the city of Poltava was recognized as the most ecologically clean regional center of Ukraine, in particular in terms of the state of atmospheric air. However, as of today, it has been established that 216 pollutants enter the atmospheric air of Poltava – that's 20-23 kg per person per year. This is 15% of the total volume of emissions, and 85% of emissions of pollutants enter the city's atmosphere from road transport. Therefore, one of the acute problems of today is the environmental condition of the atmospheric air of Ukrainian cities, in particular the city of Poltava. The research of this work is related to the solution of the problems listed in the Law of Ukraine «On ensuring the sanitary well-being of the population».

In the work, a review and analysis of the works of domestic and foreign scientists regarding the analysis of the current state of scientific and technical achievements on the determination and analysis of atmospheric air pollution by vehicle emissions is carried out, which confirms the relevance and timeliness of the issue. Four methods of calculating atmospheric air pollution on highways were considered, the analysis of which, along with experimental checks, confirmed that for highways with heavy traffic, the amount of emissions should be determined using the method of determining the amount of harmful substances when burning a unit of fuel. In this work, a map of the location of the investigated sections of roads was constructed and an experiment was conducted to determine the intensity of the flow of cars on the specified sections. Based on the obtained data, calculations of emissions of polluting substances by motor vehicles in the studied areas were made and corresponding histograms were constructed, which allowed to determine the sections of the streets of the Shevchenkiv district of the city of Poltava with the most intense pollution. It has been confirmed that a significant part of the emissions in the studied areas are passenger cars, because their percentage in relation to the total quantity almost always remained at the level of 70-80%.

The data obtained after calculating the emissions from motor vehicles of the Shevchenkiv district of Poltava were analyzed and a linear dependence was derived for each of the studied substances, and it was established that the obtained regression models are adequate and describe real close relationships between the resulting characteristic and the factors affecting it. After conducting statistical calculations, the obtained data served as a basis for calculating surface concentrations in the EOL 2000 program, and the scattering map was superimposed on the physical map of the district. *Key words:* road transport, atmospheric air, environmental condition, chemical pollution.

Постановка проблеми. Останнім часом проблема забруднення навколишнього середовища двигунами внутрішнього згоряння стає дедалі актуальнішою через вагомий вплив на здоров'я населення, що перебуває поблизу великих автотранспортних потоків.

Атмосферу забруднюють практично всі види сучасного транспорту, кількість якого у світі постійно збільшується. Якщо у 1900 році на планеті нараховувалось близько 6 тис. автомобілів, то до 2000 року чисельність світового автопарку досягла 500 млн. одиниць. Майже всі складові вихлопних газів автомобілів шкідливі для людського організму, а оксиди азоту до того ж беруть активну участь у створенні фотохімічного смогу. Токсичність відпрацьованих газів бензинових двигунів обумовлюється головним чином вмістом оксиду вуглецю та діоксиду азоту, а дизельних двигунів – діоксидом азоту та сажі. Крім того, деякі види палива містять сірку, що зумовлює наявність у вихлопних газах діоксиду сірки. [1]

На забруднення атмосфери автотранспортом припадає в середньому 60% всіх викидів. Особливо високу концентрацію СО в повітрі відзначено на вуличних перехрестях, де двигуни автомобілів працюють на холостому ходу перед світлофором. У районах з вузькими вулицями з високими будинками велика концентрація оксиду вуглецю розсіюється повільно і викликає хронічні отруєння людей, які довго перебувають в цих зонах, особливо на перехрестях.

Актуальність дослідження. Однією з гострих проблем сьогодення є екологічний стан атмосферного повітря українських міст, зокрема м. Полтава. За оцінками експертів Міжнародного форуму «Довкілля для Європи» місто Полтава визнана як самий екологічно чистий обласний центр України, зокрема за станом атмосферного повітря.

Минуло 18 років, які змінили ситуацію: на сьогодні в атмосферне повітря Полтави потрапляє 216 забруднюючих речовин – це 20-23 кг на людину за рік. І це лише 15% загального обсягу викидів, а 85% викидів забруднюючих речовин надходить в атмосферу міста від автомобільного транспорту, серед якого – суттєвий внесок дає муніципальний транспорт.

Тому питання встановлення рівнів забруднення атмосферного повітря від автотранспорту та розроблення пропозицій щодо його зменшення є актуальним.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Робота тісно пов'язана вирішенням задач, що наведені в Законі України «Про забезпечення санітарного благополуччя населення».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Огляд й аналіз праць вітчизняних та закордонних учених щодо аналізу сучасного стану науково-технічних досягнень з питань визначення та аналізу забруднення атмосферного повітря викидами автомобіль-

ного транспорту [2] підтверджує актуальність та своєчасність питання. В роботі розглянуто чотири методики розрахунку забруднень атмосферного повітря на автошляхах [3-6], аналіз яких поряд з експериментальними перевірками підтвердив, що для автомагістралей з інтенсивним рухом кількість викидів доцільно встановлювати з використанням методики визначення кількості шкідливих речовин при спалювання одиниці палива [6].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Статистичні показники підтверджують невтішний стан в Україні щодо екологічного стану атмосферного повітря. Понад третю частину загатовування складають пересувні джерела, що працюють на традиційному паливі (бензин, газ). Зокрема це стосується міста Полтава, в якому за даними систематичних спостережень лабораторії Полтавського центру з гідрометеорології на 4-х пунктах виявляють постійні застої або перевищення ГДК в атмосферному повітрі. Їх аналіз показав, що пересувні джерела значно домінують над стаціонарними в гонці над забрудненням повітря і лише продовжують рости на відміну від них. Метою роботи є визначення рівнів забруднення атмосферного повітря від автотранспорту для умов Шевченківського району міста Полтава. Для досягнення поставленої мети поставлені наступні задачі: виконати аналіз відомих досліджень інгредієнтного забруднення атмосферного повітря від автомобільного транспорту; визначити завантаженість вулиць автотранспортом та рівень забруднення повітря в Шевченківському районі міста Полтава; скласти карти забруднення вулично-дорожньої мережі на основі розрахункових даних. Об'єктом дослідження є процес утворення інгредієнтного забруднення повітря автомобільним транспортом у Шевченківському районі м. Полтава. Предметом дослідження є визначення величини забруднення атмосферного повітря викидами автотранспорту та візуалізація результатів.

Методологічне або загальнонаукове значення. Практичне значення роботи виявляється у тому, що карти існуючого стану інгредієнтного забруднення території Шевченківського району м. Полтава дозволяють проаналізувати та встановити фактичний стан забруднення атмосферного повітря від автотранспорту та розробити пропозиції щодо зниження фактичного рівня концентрацій забруднювальних речовин;

Теоретичні положення, висновки і рекомендації, наведені в роботі, доведені до рівня практичних рекомендацій щодо управління ризиками при впливі транспортного шуму на здоров'я населення й можуть бути використані для використання в практичній діяльності органів і установ державного санітарного нагляду для: проведення комплексної державної санітарно-гігієнічної експертизи проектних рішень в області розміщення, будівництва нових об'єктів,

реконструкції існуючих, обґрунтування розміру санітарно-захисних зон промислових об'єктів; встановлення причин виникнення неінфекційних захворювань, обумовлених впливом факторів середовища проживання людини; обґрунтуванні пріоритетних заходів різних управлінських рішень, спрямованих на усунення або зниження до допустимого рівня ризику здоров'ю людини; проведенні санітарно-гігієнічного моніторингу.

Викладення основного матеріалу. Для дослідження було обрано Шевченківський район м. Полтава, (рис. 1). Вперше він був створений у 1940 році (відновлений у квітні 1952 року). Це район Полтави який охоплює місцевості Центр, Мотель, Алмазний, Сади-1, Сади-2, Огнівка, селище Яр. Займає південно-західну частину міста, на правому березі Ворскли, куди входить історичний центр – ансамбль Круглої площі та Соборний майдан де у XVII–XVIII століттях знаходилась Полтавська фортеця. До складу району увійшли селище Кобищани, Очеретянка, частково території селищ Щербані, Розсошенці, Іванова та Інститутська гори [7].

Загальна площа району більше 2000 гектар, що складає 21% від загальної площі міста. Спостереження за потоком машин здійснювалося в період з 28 червня по 10 липня 2021 року.

Обрана територія характеризується щільною забудовою, підвищеною інтенсивністю транспортного потоку переважно в центральних територіях району та по дорогах міжобласного сполучення, наявністю зупинок та рухом громадського транспорту. На територіях з житловими забудовами, що знаходяться не в центрі, а на окраїнах району можна спостерігати різкий спад інтенсивності автомобільного потоку. Також, при проведенні натурних спостережень нами було виявлено

подекуди досить великі і різкі ухили доріг по всій території Шевченківського району, що відповідно, буде впливати на фактичні концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі району.

Метеорологічні умови за дослідний період встановлені на основі [8]. В середньому швидкість вітру за період дослідження становив 3,3 м/с. Вологість повітря в середньому була 50%.

Дана карта стала основою для побудови карти забруднення приземного шару атмосфери досліджуваного району. Для дослідження забруднення придорожніх територій обрано 170 відрізків доріг вулиць міста. Серед придорожньої забудови є житлова забудова, об'єкти комерційної діяльності та об'єкти масового відпочинку людей.

Спостереження за транспортними потоками для більшої достовірності результатів проводилися протягом 20 хвилин на контрольних точках в час пік 3 рази на день приблизно з 7:00 по 9:00, з 12:00 по 13:00 та з 17:00 по 18:00. В процесі натурних спостережень проводилась класифікація всього потоку транспорту за певними видами, а саме: легковантажні автомобілі, середньовантажні, важковантажні, автобуси і легкові автомобілі. Після чого з отриманих даних було виведено середній арифметичний показник інтенсивності автотранспорту. Зведену характеристику транспортних потоків наведено на рис. 2-6.

Проаналізувавши отримані графіки можна сказати, що найбільшу інтенсивність автомобільного потоку можна спостерігати на ділянках 1, 25, 98, 101, 113, 116, 117, 139, 145, 147, 150, 152-154, які відносяться до вулиць: Соборності (буд. 39 – буд.43), Сінна 29-Шевченка 63А, Сінна 29 –31/32, Героїв Чорнобильців 30 А – Сінна 43, Остапа Вишні 14А – 5, Раїси Кириченко 66, вся вулиця Європейська та

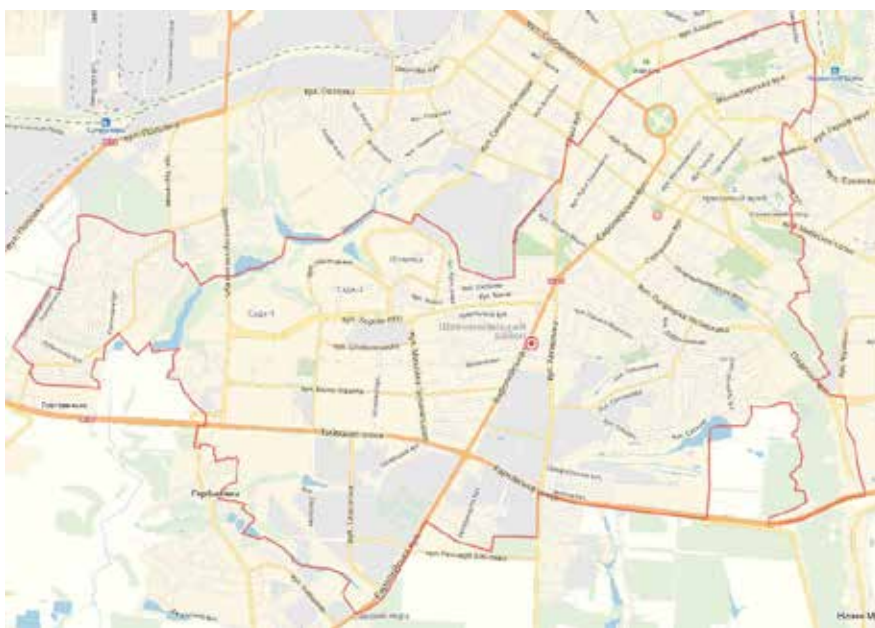


Рис. 1. Шевченківський район м. Полтава

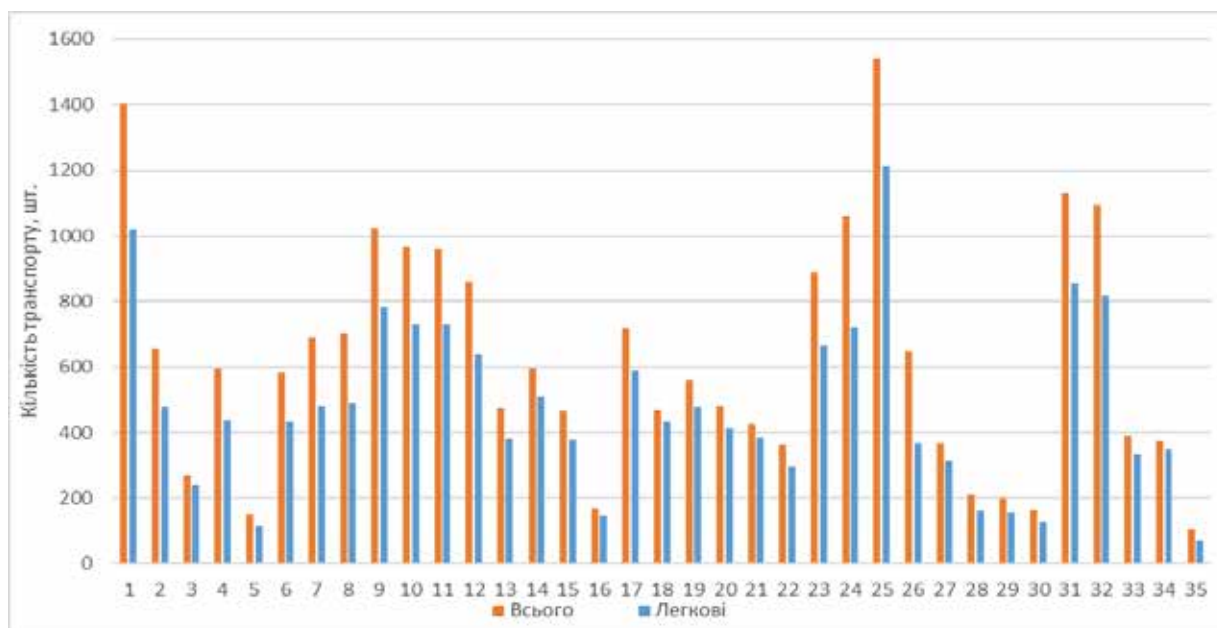


Рис. 2. Інтенсивність руху транспорту на ділянках 1-35 за годину

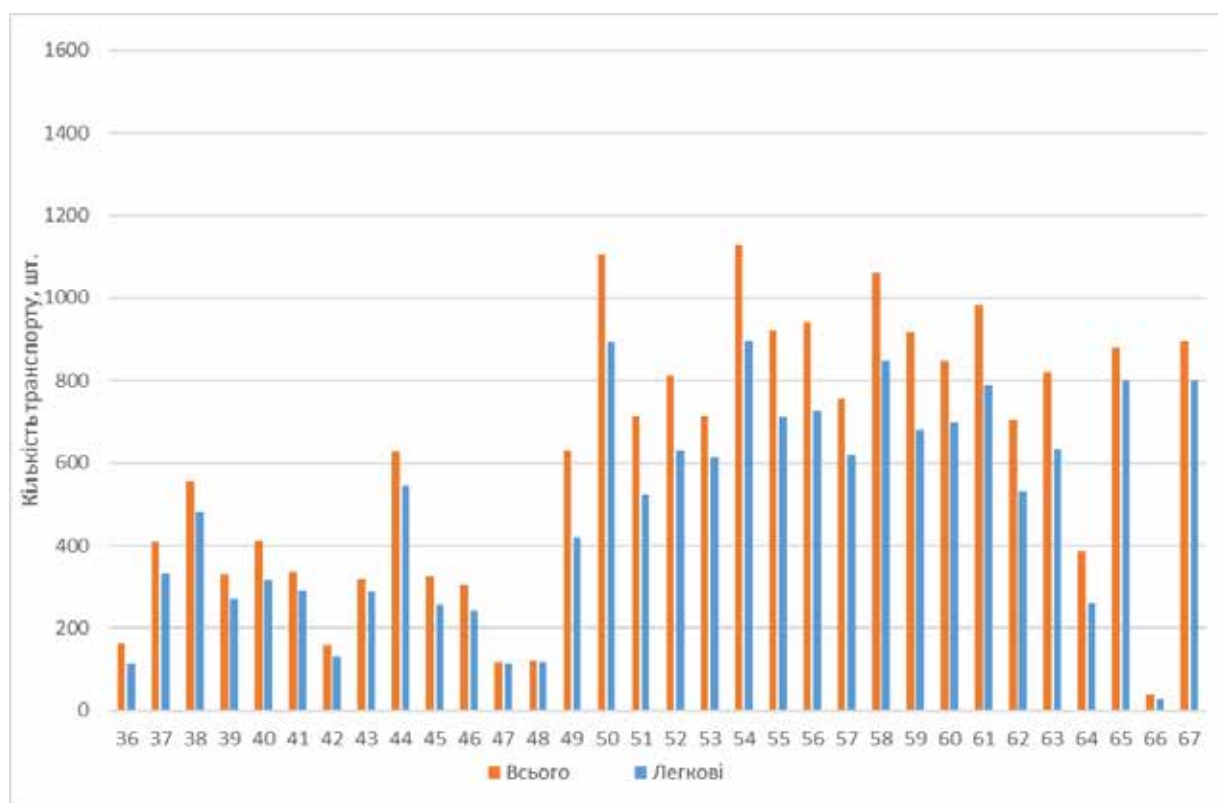


Рис. 3. Інтенсивність руху транспорту на ділянках 36-67 за годину

частина Великотирнівської. На даних ділянках середня кількість автомобілів варіювалася від 1400 до 1600 штук за годину. Суттєві показники актуальні, так як дані вулиці є головними по місту для пересування транспортних засобів та мають статус доріг міжобласного сполучення. Тенденцію в зниженні

і мінімального завантаження вулиць можна спостерігати в спальних районах досліджуваної території, дороги на яких спостерігалася критично мала інтенсивність руху в подальшому дослідженні не враховувалися. Адже, їх значення на фоні значно завантажених доріг буде мінімальним і значного впливу

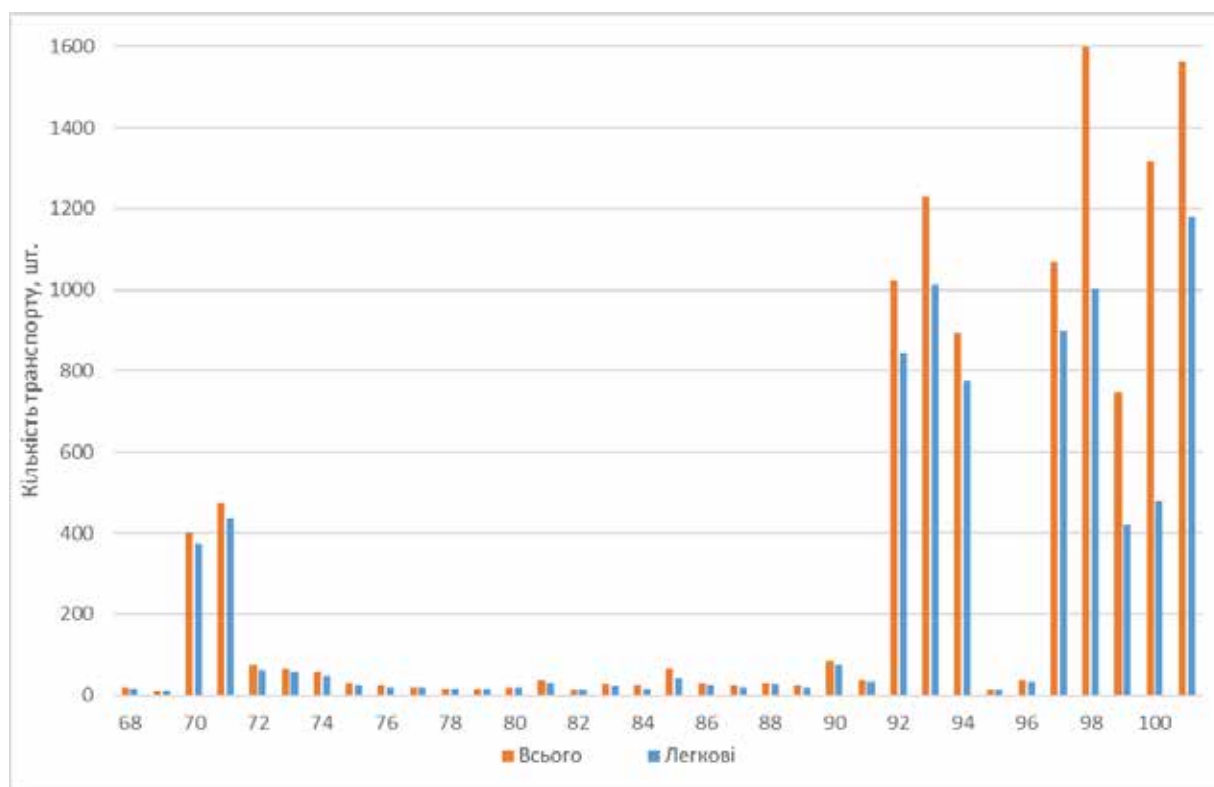


Рис. 4. Інтенсивність руху транспорту на ділянках 68-101 за годину

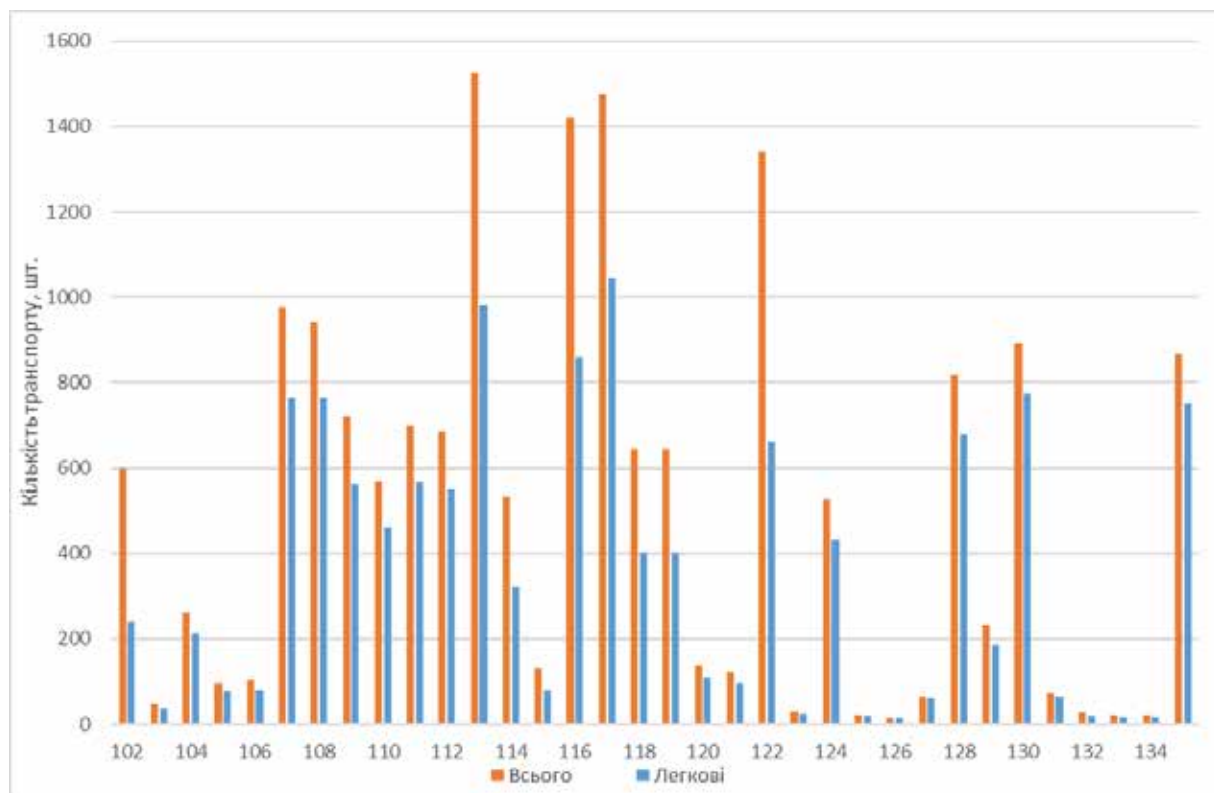


Рис. 5. Інтенсивність руху транспорту на ділянках 102-135 за годину

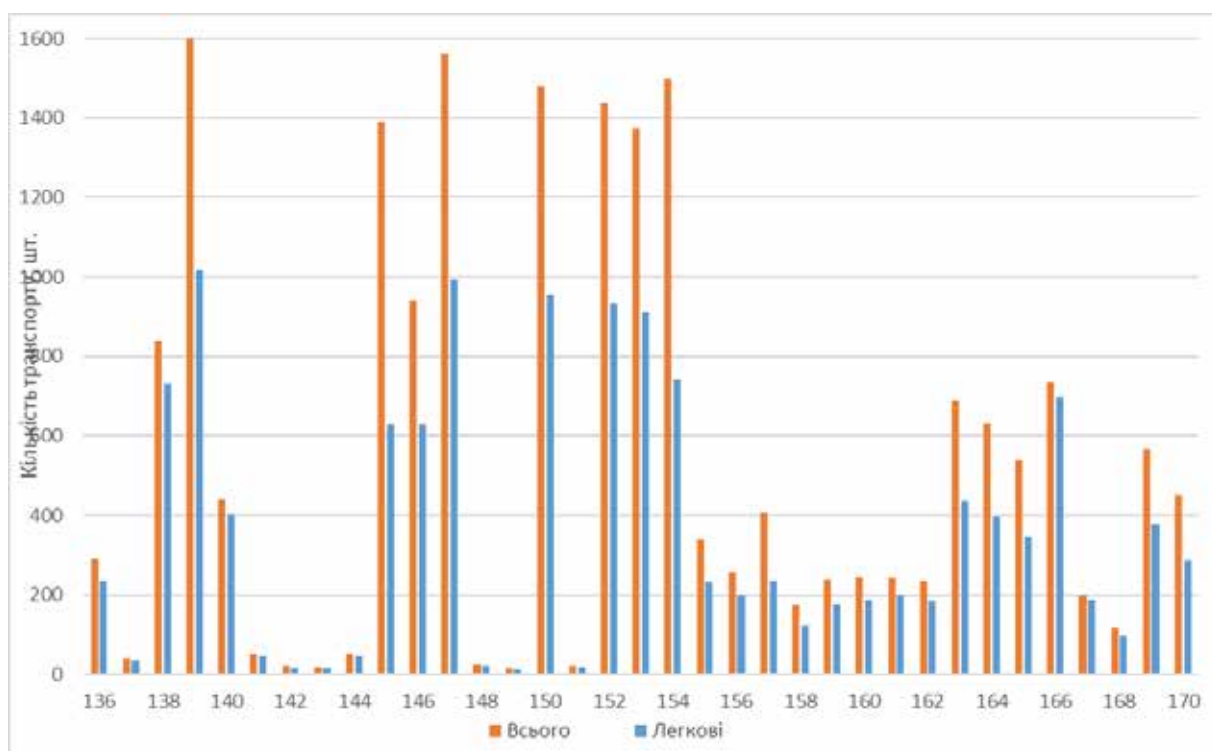


Рис. 6. Інтенсивність руху транспорту на ділянках 136-170 за годину

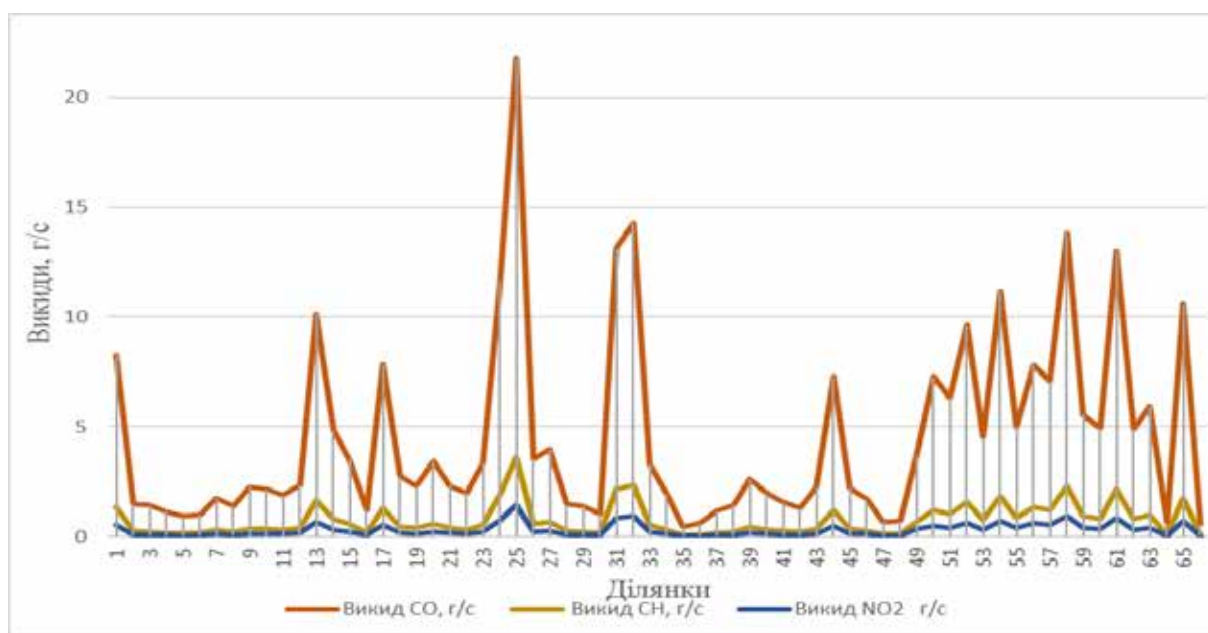


Рис. 7. Динаміка викидів забруднюючих речовин на ділянках № 1-66

на результати дослідження такі ділянки не матимуть. Відсоток легкових автомобілів по відношенню до загальної кількості практично завжди залишався на рівні 70-80%.

За допомогою програми Microsoft Excel проведено розрахунок викидів шкідливих речовин згідно з обраною методикою по визначенню кількості шкід-

ливих речовин при спалюванні одиниці палива [5]. Проведено розрахунок викидів для наступних речовин: CO, C_mH_n і NO₂. Результати розрахунків викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від автотранспорту наведено на рис. 7-9.

Динаміка викидів забруднюючих речовин демонструє, що найбільш критичний рівень викиду спосте-

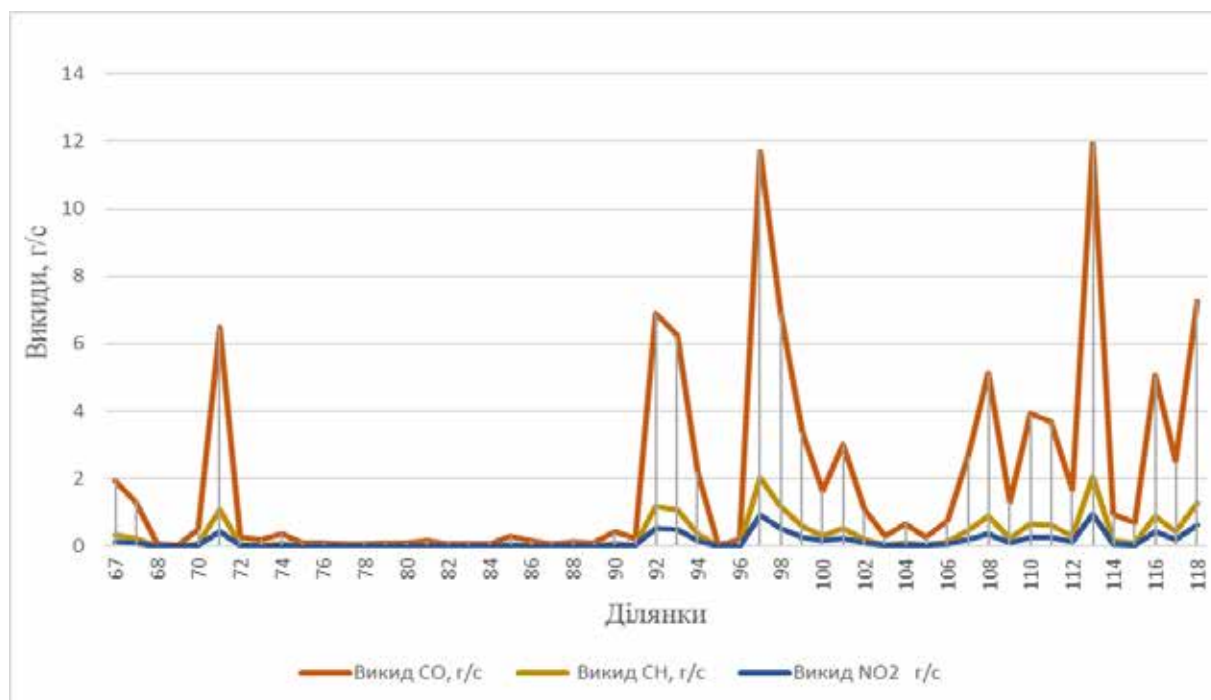


Рис. 8. Динаміка викидів забруднюючих речовин на ділянках № 67-118

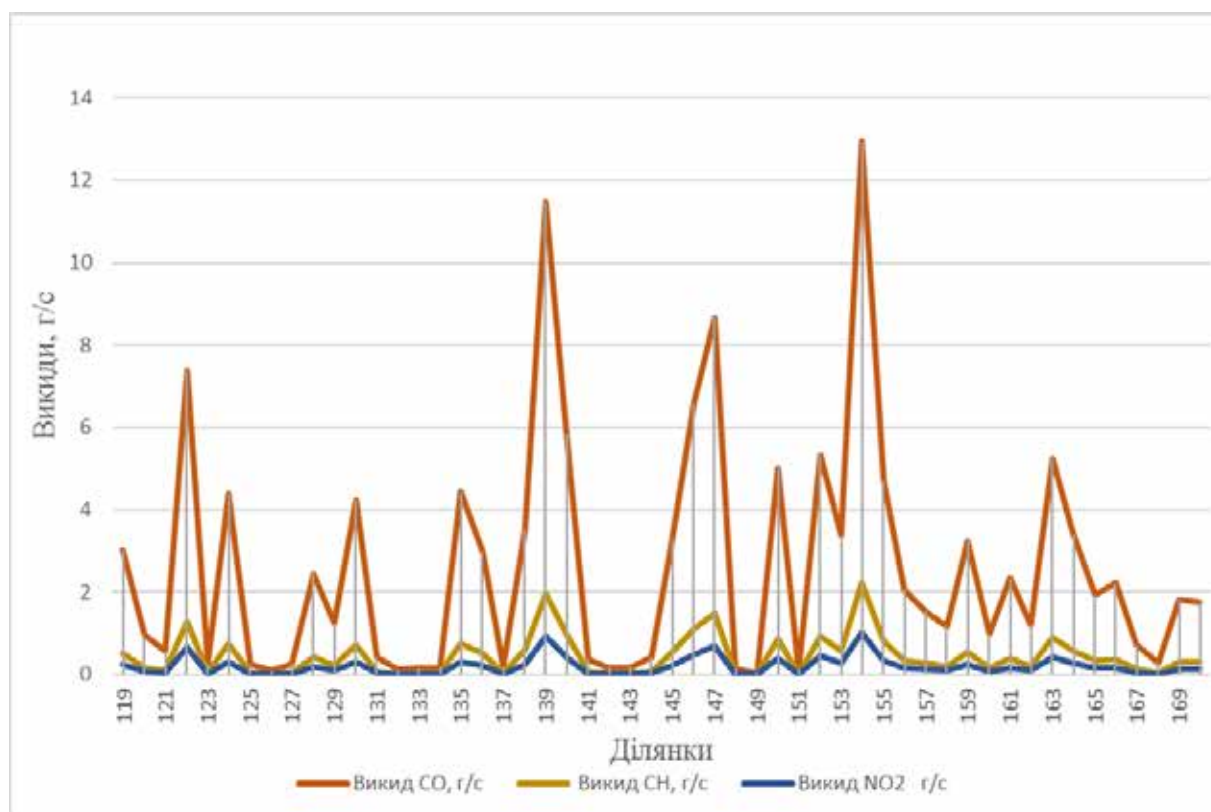


Рис. 9. Динаміка викидів забруднюючих речовин на ділянках № 119-170

рігається на ділянці 25 (вул. Європейська – понад 20 г/с), дещо нижчі рівні в межах від 13 до 15 г/с виявлено на ділянках № 31 (вул. Небесної Сотні буд. 21 – буд.44), 32 (вул. Небесної Сотні буд. 3 – буд.13), 58

(вул. Київське шосе буд. 62 – буд. 92), 61 (вул. Героїв АТО буд. 71 – буд. 83) та № 154 (вул. Великотирнівська 34 – 11). Ще нижчими, проте, суттєвими викидами характеризуються ділянки № 13 (вул. Монастирська

буд.10 – буд.59), 54 (вул. 23 Вересня буд. 8 – буд. 23), 65 (вул. Південна буд.11 – буд.75), 97 (Харківське шосе буд. 6 – буд. 29), 113 (вул. Героїв Чорнобильців 30 А – Сінна 43), 139 (вул. Європейська 68 – 86), тут рівень викиду сягає меж 10-12 г/с.

Таким чином, наведена характеристика досліджуваної території, яка включає в себе географічне розміщення, метеорологічні умови на період дослідження та дані з постів спостереження за станом атмосферного повітря Шевченківського району м. Полтава. Дані, отримані з постів спостережень свідчать про достатньо напружену ситуацію з забрудненням атмосферного повітря.

За результатами спостережень виявлено, що на головних вулицях міста, які є і шляхами міжоблас-

ного сполучення, інтенсивність потоку складала в межах 1400-1600 автомобілів за годину. Також відчутна різниця спостерігалась між вулицями в центральній частині міста та вулицями, що розміщені в селітебних та у віддалених від центру зон Шевченківського району м. Полтава.

На основі отриманих даних, проведено розрахунки викидів забруднюючих речовин автотранспортом, встановлені ділянки району з найбільш критичним рівнем викидів. Встановлено, існує кореляція кількістю викидів та завантаженістю вулиць. Суттєву частину викидів становлять легкові автомобілі, адже їх відсоток по відношенню до загальної кількості практично завжди залишався на рівні 70-80%.

Література

1. Про забруднення атмосферного повітря. веб-сайт. URL: <https://kitaygorodska-gromada.gov.ua/news/1549272314/>
2. Olena Stepova, Anastasiia Kornishyna, Iryna Lutsenko, Dmytro Kondratov, Andrii Borysov, Volodymyr Sydorenko Case study of noise pollution from vehicles and legal mechanisms for road noise control. *Ecological Questions*. 2022. Vol. 33 No. 3. P. 1–36
3. Говорущенко Н.Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте. М.: Транспорт, 1990. 135 с.
4. Природоохоронні технології: навчальний посібник: Захист атмосфери /Л.І. Северин, В.Г. Петрук, І.І. Безвозюк, І.В. Васильківський. Вінниця, 2012. 388 с.
5. Бомба М.Я., Паньків Н.Є., Шувар Н.М. Практикум з екології: навч. посіб. [для студ. ВНЗ] туристичної галузі. Львів: ЛІЕТ, 2015. 132 с.
6. Силуков Ю.Д. Экологическая безопасность на автомобильных дорогах: учеб пособие. Екатеринбург: УГЛУТУ, 2004. 173 с.
7. Офіційний сайт. Шевченківська районна рада у м. Полтава. веб-сайт. URL: <http://okt-rada.gov.ua/>
8. Прогноз погоди. веб-сайт. URL: <https://www.gismeteo.ru/diary/4957/2021/7/>

ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗІОЛОГІЧНОЇ ПОВНОЦІННОСТІ ПИТНОЇ РОЗЛИВНОЇ ВОДИ, ЩО РЕАЛІЗУЄТЬСЯ У ТОРГОВЕЛЬНІЙ МЕРЕЖІ М. ЖИТОМИРА

Валерко Р.А., Герасимчук Л.О., Матвійчук О.С., Забродська Ю.Ю.

Поліський національний університет

бульв. Старий, 7, 10008, м. Житомир

valerko_ruslana@ukr.net, gerasim4uk@ukr.net, matviychuk1999@gmail.com, uliazabrodskia629@gmail.com

Чиста питна вода, яка є безпечною до споживання людиною, повинна відповідати вимогам стандартів за показниками її якості та мати оптимальний вміст мінеральних речовин для забезпечення адекватної фізіологічної потреби організму людини. У статті наведено результати досліджень, що проходили у межах міста Житомира, де були відібрані зразки розливної питної води різних торговельних марок, у яких визначались рівень рН, вміст нітратів, заліза загального та жорсткості, як основних показників фізіологічної повноцінності. Об'єктом дослідження була розливна питна вода, а предметом – показники її фізіологічної повноцінності.

Установлено, що рівень рН не відповідав нормативу у 44 % відібраних зразків у сторону його зниження, що може бути свідченням проблем із системою водопостачання, через яку надходить вода. Концентрація нітратів у досліджуваних зразках питної води була значно нижчою за допустиму, а максимальне їх значення не перевищувало 7,3 мг/дм³, проте, враховуючи потенційну їх шкідливість, необхідним є здійснення постійного контролю вмісту нітратів. У 67 % відібраних зразків взагалі не виявлено заліза загального, що може свідчити про низьку фізіологічну цінність такої води. Вода у 33 % досліджуваних зразків характеризується як м'яка і є оптимальною для вживання людиною. Решта зразків мають дуже м'яку воду, що свідчить про майже повну відсутність у ній розчинених солей та про низьку фізіологічну повноцінність її мінерального складу.

Таким чином, досліджувана вода є цілком безпечною для споживання людиною, проте, більше 50 % досліджуваних зразків води мають низьку фізіологічну цінність та не здійснюють позитивного впливу на здоров'я людини. Оптимальними є торговельні марки «Тала вода», «Дідове джерело», «Долина плюс артезіанська питна вода» і «Твоє джерело». *Ключові слова:* питна вода, фізіологічна повноцінність, рН, нітрати, залізо загальне, жорсткість.

Study of the physiological perfectness of drinking bottle water provided in the commercial network of the city of Zhytomyr.
Valerko R., Herasimchuk L., Matviychuk O., Zabrodskia J.

Clean drinking water, which is safe for human consumption, must meet the requirements of standards for its quality indicators and have an optimal content of mineral substances to ensure adequate physiological needs of the human body. The article presents the results of research that took place within the city of Zhytomyr, where samples of bottled drinking water of various brands were selected, in which the pH level, nitrate content, total iron and hardness were determined as the main indicators of physiological completeness. The object of the study was bottled drinking water, and the subject was indicators of its physiological adequacy.

It was established that the pH level did not meet the standard in 44% of the selected samples in the direction of its decrease, which may be an indication of problems with the water supply system through which water is supplied. The concentration of nitrates in the studied samples of drinking water was significantly lower than the permissible level, and their maximum value did not exceed 7.3 mg/dm³, however, taking into account their potential harm, it is necessary to carry out constant monitoring of the nitrate content. In 67% of the selected samples, total iron was not detected at all, which may indicate the low physiological value of such water. The water in 33% of the studied samples is characterized as soft and is optimal for human consumption. The rest of the samples have very soft water, which indicates the almost complete absence of dissolved salts in it and the low physiological quality of its mineral composition.

Thus, the studied water is completely safe for human consumption, however, more than 50% of the studied water samples have a low physiological value and do not have a positive effect on human health. The optimal brands are «Tala voda», «Grandfather spring», «Dolyna plus artesian drinking water» and «Your spring». *Key words:* drinking water, physiological completeness, pH, nitrates, total iron, hardness.

Постановка проблеми. При споживанні води для людини є головними, у першу чергу, її органолептичні властивості, а саме: відсутність стороннього запаху та присмаку, її прозорість, смак тощо [1]. Але це не є достатнім для того, щоб вірно оцінити придатність питної води до споживання, особливо, якщо вона надходить із колодязів, бюветів або свердловин [2].

В Україні на заміну ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством», який передбачав контроль води за 28-ма показниками якості, у липні 2010 року затверджено ДСанПіН «Гігієнічні вимоги до питної води, призначеної для споживання людиною», що регламентує вимоги до якості водопровідної, колодязної, бюветної та фасованої води, правила облаштування коло-

дязів, свердловин, бюветів питної води, а також формує фізіологічну повноцінність питної води [3].

Актуальність дослідження. Гігієнічні вимоги до питної води мають на меті гарантування безпеки її вживання, що забезпечується переліком найбільш важливих речовин та мікробіологічних показників, які входять до складу води, та потребують обов'язкового контролю їх граничних рівнів. Однак, фахівці у галузі гігієнічної медицини стверджують, що «питна вода є не тільки основою численних біологічних рідин у зовнішньо- та внутрішньоклітинних середовищах, але є й, також, суттєвим джерелом поповнення організму життєво необхідними елементами» [2].

Зв'язок авторського доробку із важливими та практичними завданнями. Вплив на здоров'я людини неякісної питної води є, наразі, одним із найбільших соціальних ризиків. За даними ВООЗ майже 80 % захворювань, що обумовлюють функціональне порушення органів людини, пов'язані із вживанням води, яке не відповідає санітарно-гігієнічним нормативам. Крім того, для здоров'я людини має велике значення не тільки забрудненість води, а й її фізіологічна повноцінність. Дослідження є частиною науково-дослідної роботи «Еколого-соціальна оцінка стану сільських селітебних територій у контексті сталого розвитку» (державний реєстраційний №: 0120U104233), результати якого можуть бути використані населенням при виборі питної води, що реалізується у пунктах розливу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо, що із питною водою людина отримує 8-25 % добової потреби хімічних речовин [4]. Фізіологічні властивості питної води визначаються її мінеральним складом. Життєво важливими для здоров'я людини, є перш за все іони кальцію та магнію [5]. Установлено, що захворюваність серцево-судинної системи збільшується з вживанням м'якої води особливо для літніх людей, які з віком страждають на дефіцит кальцію внаслідок погіршення його засвоєння. Дефіцит магнію призводить до розладів серцево-судинної та нервової систем, серцевих спазмів, а наявність оптимальної концентрації іонів магнію у воді дозволяє збалансувати його вміст в організмі людини [6]. Проте, недостатнє або надмірне надходження хімічних елементів у організм людини призводить до фізіологічних порушень та можуть бути причиною формування патологічних станів в організмі людини [7]. Отже, стає зрозумілим, що дистильована (знесолена) питна вода, якою б чистою вона б не була, не може бути фізіологічно повноцінною [2].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття та новизна. У результаті попередніх власних досліджень було встановлено, що 30 % опитуваного населення споживають бутильовану воду та воду, що реалізується у пунктах розливу,

вважаючи її цілком безпечною для споживання та корисною для здоров'я [1].

Таким чином, метою даного дослідження є оцінка якості питної розливної води, що реалізується у торговельній мережі міста Житомира.

Методологічне або загальнонаукове значення. Для досягнення поставленої мети були відібрані зразки питної води різних торговельних марок, зокрема: «Тала вода», «Бювет № 1», «Нептун», «Дідове джерело», «Питна вода основа», «Долина плюс артезіанська питна вода», «Аква світ», «Твоє джерело», «Artic». Загалом було відібрано 9 зразків води у різних частинах міста (рис. 1).

Дослідження проводились у рамках науково-дослідної роботи «Еколого-соціальна оцінка стану сільських селітебних територій у контексті сталого розвитку» (№: 0120U104233). Аналіз відібраних зразків на вміст нітратів, заліза загального, твердості та показнику рН здійснювали у Вимірювальній лабораторії Поліського національного університету за загальноприйнятими методиками. Отримані значення показників якості води порівнювали із ДСанПіН 2.2.4-171-10 у частині вимог до води фасованої та з пунктів розливу, які є дещо жорсткішими за нормативи для водопровідної та колодязної води (табл. 1).

Викладення основного матеріалу. Відповідно до державних санітарних правил питна вода, яка призначена для споживання людиною, повинна бути безпечною в епідемічному та радіаційному відношенні, а також мати сприятливі органолептичні властивості та нешкідливий хімічний склад. А переважною для виробництва питної води вважають воду підземних джерел, що надійно захищені від будь-якого забруднення. Крім того, при водопідготовці слід надавати перевагу джерелам і технологіям, що забезпечать виробництво питної води з оптимальним вмістом мінеральних речовин за показниками фізіологічної повноцінності її мінерального складу [3].

Основною вимогою до води, що реалізується із пунктів розливу, є те, що вона має бути додатково оброблена і не містити ароматизаторів, підсолоджувачів та інших харчових чи харчо-смакових речовин. Термін зберігання води у пунктах розливу повинен бути не більше 24 годин, а у транспортних ємкостях – не більше 6 годин. У пунктах розливу питної води повинна бути наведена інформація щодо виду, складу та її якості (рис. 2).

У результаті проведених аналітичних досліджень встановлено, що рівень рН не відповідав нормативу у 44 % відібраних зразків, зокрема у питній воді торговельних марок «Бювет № 1», «Нептун», «Дідове джерело» та «Твоє джерело» показник рН є нижчим за норматив, що свідчить про підкислення води (рис. 3).

Водневий показник характеризує наявність у воді вільних іонів водню, що зумовлює її кислотність. Значення показника рН у межах від 5,0 до 6,5 оди-

ниць рН свідчить про слабо кислу реакцію води [8]. Відповідно даних Агентства з охорони навколишнього середовища США, Всесвітньої організації охорони здоров'я з якості питної води та Директиви ЄС щодо питної води, рН води зазвичай не має безпосереднього впливу на здоров'я людини. Проте, це один із найбільш важливих параметрів якості води, який необхідно контролювати, оскільки рН впливає на те як вода взаємодіє із довкіллям. Адже невідповідність показнику рН нормативу може негативно позначитись на зовнішньому вигляді, смаку і запаху питної води та може вказувати на проблеми у системах виробництва та розподілу води, які можуть

нести небезпеку для здоров'я людини [9]. Таким чином, можна припустити, що існують деякі проблеми у системі водопостачання розливної води.

Концентрація нітратів у досліджуваних зразках питної води була значно нижчою за допустиму, а максимальне їх значення не перевищувало 7,3 мг/дм³ (рис. 4).

Вміст нітратів у питній воді є лімітуючим показником, оскільки їх вплив на організм людини є досить суттєвим. Доведено, що окрім метгемоглобінемії, до небезпечних наслідків для здоров'я людини від постійного надходження нітратів із питною водою є колоректальний рак, захворювання щитоподібної

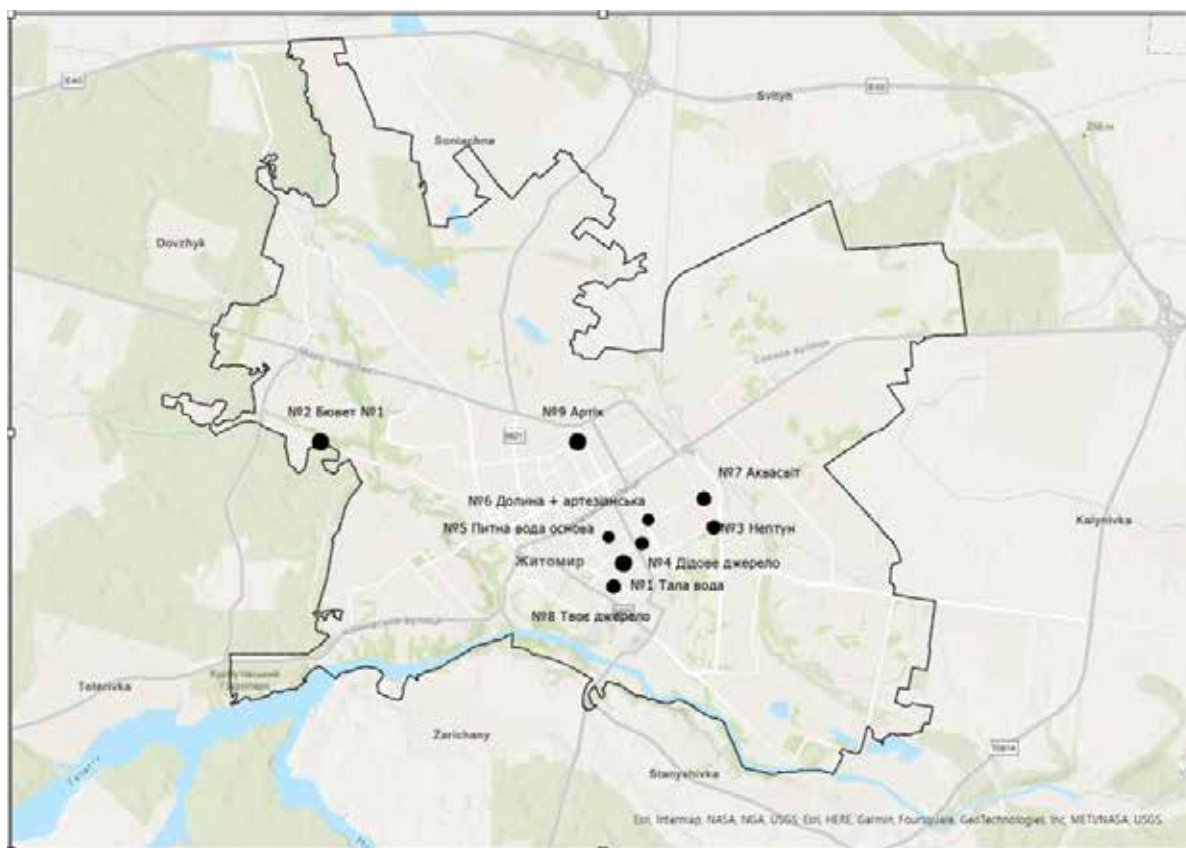


Рис. 1. Місця відбору проб води

Таблиця 1

Санітарно-хімічні показники безпечності та якості питної води [3]

№ з/п	Показник	Одиниці вимірювання	Нормативи для питної води		
			водопровідної	з колодязів та каптажів джерел	фасованої, з пунктів розливу та бюветів
1	Водневий показник	Одиниці рН	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5 (>=4,5)*
2	Залізо загальне	мг/л	≤ 0,2-1,0	≤ 1,0	≤ 0,2
3	Загальна жорсткість	ммоль/л	≤ 7,0-10,0	≤ 10,0	≤ 7,0
4	Нітрати (за NO ₃)	мг/л	≤ 50	≤ 50	≤ 10 (50)**

Примітка: * – рН для газованої води; ** – норматив встановлюється для питної води фасованої газованої, питної води з пунктів розливу та бюветів.

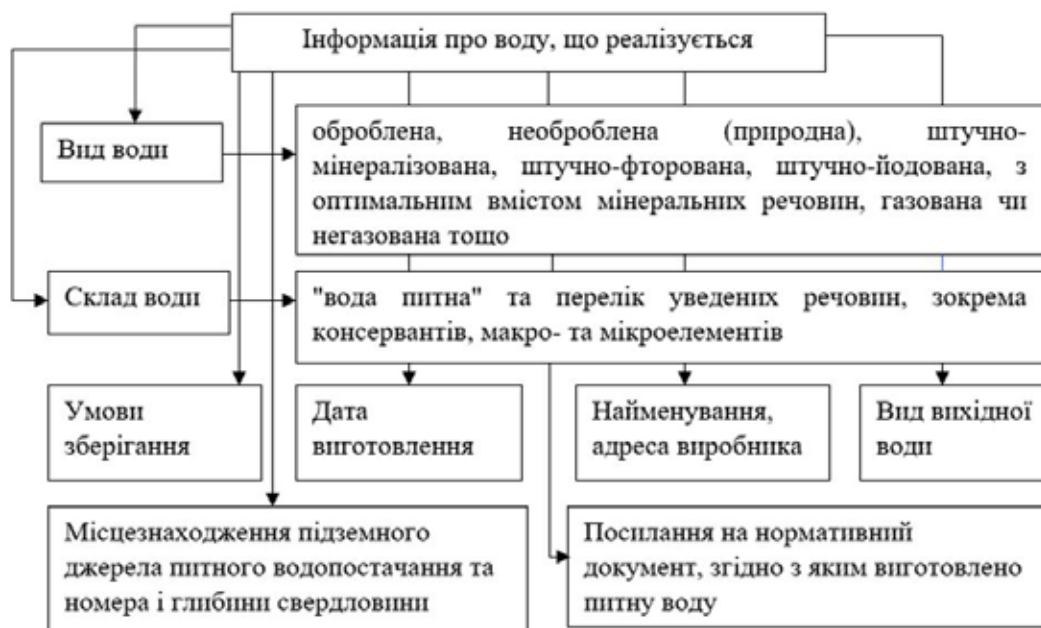


Рис. 2. Інформація, яка має міститись у пунктах реалізації питної води



Рис. 3. Рівень рН у питній воді, що реалізується у пунктах розливу м. Житомира

залози та дефекти нервової трубки. Крім того, підвищений ризик для здоров'я людини може виявлятися навіть при споживанні води, із вмістом нітратів, нижчим за норматив [10]. Тому, контролювання вмісту нітратів у питній воді є надзвичайно важливою ланкою у забезпеченні екологічної безпеки водопостачання.

Граничний вміст заліза загального на рівні 1,8 мг/дм³ виявлено у зразку № 6, що відноситься до торговельної марки «Долина плюс артезіанська питна вода», а у 67 % відібраних зразків взагалі не виявлено даного мікроелементу (рис. 5).

Залізо – це елемент, що зустрічається найбільш часто у природі серед інших та за поширеністю у зем-

ній корі займає друге місце серед металів та є досить важливим елементом для здоров'я людини [11]. Однак, в останні роки дослідників цікавить питання негативного впливу високих рівнів заліза у питній воді на стан здоров'я людини. Доведено, що постійне споживання води з підвищеним вмістом заліза може бути пов'язано із такими небезпечними явищами як хвороби Паркінсона, Хантінгтона, Альцгеймера, серцево-судинні захворювання, гіперкератоз, цукровий діабет, зміни пігментації, захворювання нирок, печінки, респіраторних та неврологічних розладів [12]. Проте, власними дослідженнями доведено, що негативні ефекти для здоров'я людини виникають при перевищенні вмісту заліза у воді у 10 разів

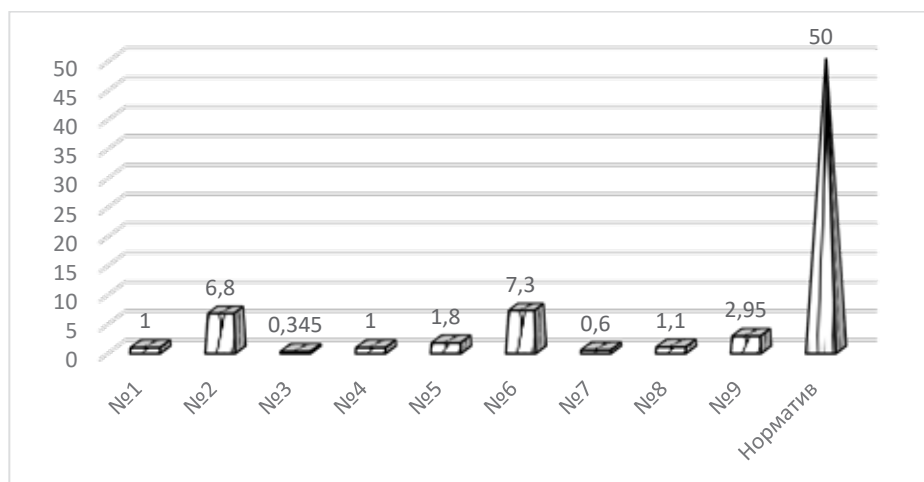


Рис. 4. Вміст нітратів у розливній питній воді різних торговельних марок м. Житомира, мг/дм³

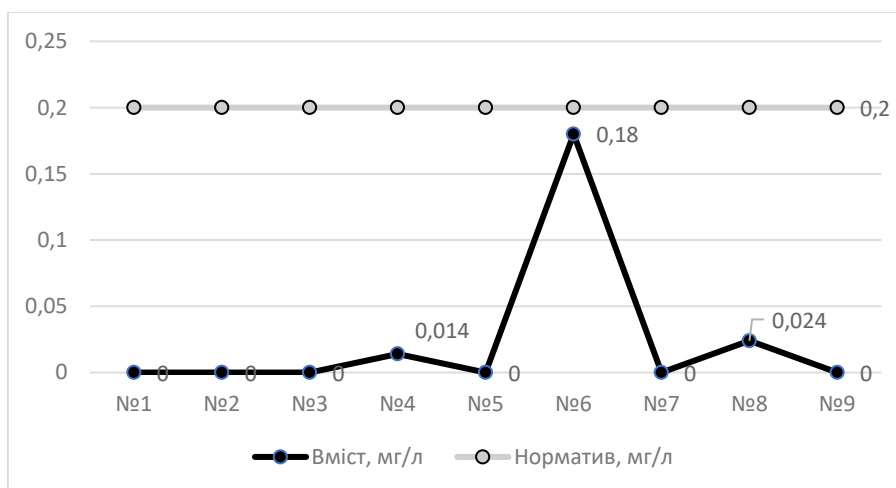


Рис. 5. Вміст заліза загального у питній воді торговельної мережі м. Житомира

і більше [13]. Таким чином, можна вважати, що розливна питна вода є цілком безпечною для вживання людиною стосовно вмісту у ній заліза, а, навпаки, повна його відсутність свідчить про неповну фізіологічну цінність такої води.

Загальна твердість досліджуваної води коливалась у межах від 0,05 до 3,1 ммоль/дм³, що є значно нижчим за установлений норматив (рис. 6).

Загальна жорсткість – показник, що характеризує властивість води, зумовлену наявністю у ній розчинених солей кальцію та магнію (сульфатів, хлоридів, карбонатів, гідрокарбонатів тощо). За показниками фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води оптимальний вміст загальної жорсткості становить 1,5-7,0 ммоль/дм³ [3]. За твердістю воду класифікують таким чином: до 1,5 ммоль/дм³ – дуже м'яка вода, 1,5-4,0 – м'яка, 4,0-8,0 – середня твер-

дість води, 8,0-12,0 – тверда і більше 12 ммоль/дм³ дуже тверда вода. Доведено високий кореляційний зв'язок між підвищеною твердістю і сечокам'яною хворобою та захворюванням нирок у населення [14]. Крім того, доведено, що рівень захворюваності серцево-судинної системи збільшується із споживанням дуже м'якої води, особливо у літніх людей, які страждають на дефіцит кальцію [6]. У 33% досліджуваних зразків вода характеризується як м'яка і є оптимальною для вживання людиною. Решта зразків мають дуже м'яку воду, що свідчить про майже повну відсутність у ній розчинених солей та про низьку фізіологічну повноцінність її мінерального складу.

Висновки. Таким чином, у результаті еколого-експертних досліджень якості питної води, яка реалізується у торговельній мережі міста Житомира та відпускається у тару споживача, установлено від-

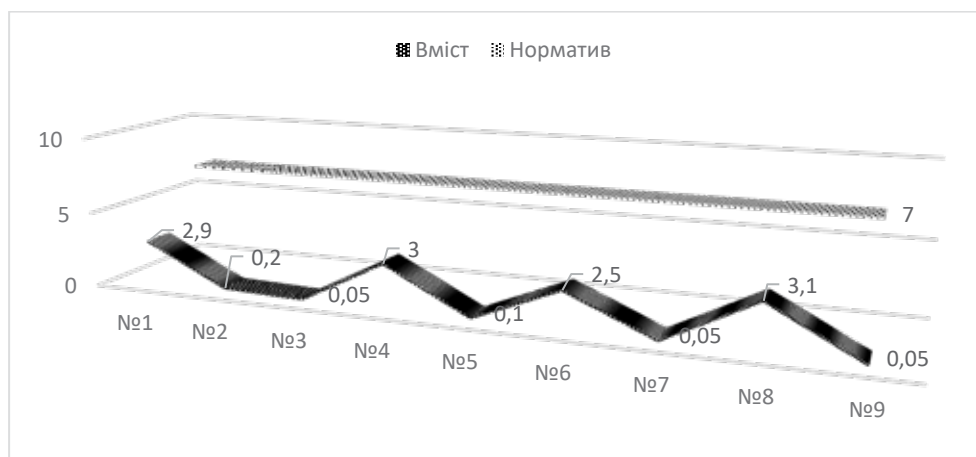


Рис. 6. Твердість загальна у питній воді, що реалізується у торговельній мережі м. Житомира, ммоль/дм³

сутність перевищень будь-яких шкідливих речовин. Проте, враховуючи рівні показників фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води, можна стверджувати, що більше 50 % досліджуваних зразків води мають низьку фізіологічну цінність та не здійснюють позитивного впливу на здоров'я людини. Оптимальними є торговельні марки «Тала

вода», «Дідове джерело», «Долина плюс артезіанська питна вода» і «Твоє джерело».

Перспективи використання результатів дослідження. Результати досліджень можуть бути використані міським та сільським населенням при виборі питної води для власного споживання, що реалізується у пунктах розливу.

Література

- Валерко Р. А., Герасимчук Л. О., Приходько А. П., Соболева В. Г. Суспільна думка щодо якості питної води та ризику для здоров'я населення в Україні. *Екологічні науки*. 2021. № 4(37). С. 28-32. doi: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.есо.4-37.3>.
- Експертне дослідження якості питної води «Феофанівська»: Феофанівська вода з джерел історії : веб-сайт. URL: <https://feofanivska.com.ua/ua/ekspertne-doslidzhennya-yakosti-pitno%20d1%97-vodi-feofanivska>.
- ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. [Чинний від 2010-05-12]. Київ : МОЗ України, 2010. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10>.
- Фетисова Г. К. Роль мінерального складу питної води в формуванні неінфекційної патології населення. Гігієна і санітарія. 2004. № 1. С. 20-22.
- Чернякіна А. Р., Плаксієнко І. Л. Фізіологічна придатність питної води Полтавщини в залежності від фтористого статусу підземних вод. «Біорізноманіття: теорія, практика, формування здоров'язбережувальної компетентності у школярів та методичні аспекти вивчення у закладах освіти»: мат-ли Всеукр. наук.-практ. онлайн-конф. (присвячена пам'яті видатного вченого ботаніка П.С. Сосіна), 30 жовтня 2020 р., м Полтава. С. 228-230.
- Мацієвська О. О. Дослідження вмісту кальцію та магнію у питній воді з пунктів розливу. *Технологический аудит и резервы производства*. 2015. № 6 (26). С. 42-44.
- Тимошук К. А., Шепель М. А. Оцінка впливу хімічних елементів на якість питної води та здоров'я населення. *Студентський вісник НУВГП*. 2017. Вип. 1(7). С. 47-50.
- Valerko R., Herasymchuk L., Hurskyi Y., Pavlenko A. Assessment of drinking water quality within amalgamated territorial communities. *Environmental Problems*. 2021. Vol. 6. Num. 4. P. 201-211.
- What to Know about the pH of Drinking Water : Svalbardi. URL: <https://svalbardi.com/blogs/water/ph>.
- Ward M. H., Jones R. R., Brender J. D., De Kok T. M., Weyer P. J., Nolan B. T., Villanueva C. M., Van Breda S. G. Drinking Water Nitrate and Human Health: An Updated Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2018. 15. 1557. <https://doi.org/10.3390/ijerph15071557>.
- Iron in drinking water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. Geneva : WHO, 2003. 9 p.
- Farina M., Avila D. S., Teixeira da Rocha J. B., Aschner M. Metals, oxidative stress and neurodegeneration: A focus on iron, manganese and mercury. *Neurochemistry International*. 2013 Vol. 62. Iss. 5. P. 575-594. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neuint.2012.12.006>.
- Валерко Р. А., Герасимчук Л. О. Оцінка ризику, пов'язаного з надходженням заліза з питною водою, для здоров'я населення Житомирської області. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2021. № 3. С. 10-16. doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-2>.
- Turbinsky V. B., Maslyuk A. A. Health risks for the population of chemical composition drinking water. *Hygiene and Sanitation*. 2011. № 2. С. 23-27.

АТОМНА СПЕКТРОМЕТРІЯ – ПРІОРИТЕТНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ДОВКІЛЛІ ТА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІЙ ПРОДУКЦІЇ

Войціцький В.М.¹, Хижняк С.В.¹, Корнієнко В.І.¹, Мідик С.В.¹,
Ладогубець О.В.², Дученко К.А.², Гаркуша І.В.²

¹Національний університет біоресурсів і природокористування України
вул. Героїв Оборони, 15; 03041, м. Київ

²Державний біотехнологічний університет
вул. Алчевських, 44, 61002, м. Харків
svit.mid@gmail.com

Важкі метали – одні з найбільш небезпечних для довкілля і здоров'я людини токсичні речовини. Наведені відомості стосовно визначення поняття «важкі метали» як за питомою вагою і атомним номером в періодичній системі хімічних елементів, так і згідно медичної класифікації за проявом токсичності. Акцентується увага, щодо переліку важких металів, окрім хімічних елементи з питомою вагою не менше 5 г/см³, відносяться певні токсичні «легкі метали» (питома вага менше 4,5 г/см³) та деякі напівметали. Причому, у різних країнах існують певні відмінності у належності хімічних елементів до «важких металів».

Надано перелік і наведена загальна характеристика основних джерел важких металів: природних (вулканічні викиди; дегазація і тектонічні рухи земної кори; вивітрювання і виливання гірських порід; пожежі, результати повеней, ураганів, селєвих потоків тощо), а також антропогенних (промислових, у тому числі добування корисних копалин; сільськогосподарських, зокрема, використання металовмісних добрив і пестицидів, скиди відходів різноманітних ферм; викиди і скиди транспортних засобів; промислові і побутові відходи та їх знешкодження; видобуток і переробка руди, яка містить радіоізотопи важких металів; ядерні реактори; засоби лікування і діагностики, прилади для наукових досліджень; військові дії, випробування і знешкодження зброї тощо). Джерелом надходження важких металів до організму людини може бути тара і упаковка харчових продуктів, якщо в хімічному відношенні вони нестійкі до таких продуктів, а також металевий, поливаний і емальований посуд.

Доводиться необхідність визначення важких металів у довкіллі та сільськогосподарській продукції. Серед ряду методів (фотометричний, електрохімічний, електрофоретичний, радіометричний) аргументовано застосування методів атомно-емісійної і атомно-абсорбційної спектроскопії з наведенням принципів цих методів та їх особливостей, а також, як приклад, наведено результати досліджень на вміст деяких важких металів (Cd, Cu, Pb, Zn) у зразках сухого молока. Аналіз отриманих результатів свідчить, що за чутливістю, точністю, вибірковістю, продуктивністю та економічністю методи атомної спектроскопії адекватні щодо визначення важких металів в об'єктах довкілля та сільськогосподарській продукції. Крім того, показано, що атомно-абсорбційна спектроскопія має певні переваги перед атомно-емісійною. *Ключові слова:* атомна спектроскопія, важкі метали, сільськогосподарська продукція.

Atomic spectrometry – priority method for determination of heavy metals in the environment and agricultural products.
Voitsitskiy V., Khyzhnyak S., Korniyenko V., Midyk S., Ladohubets E., Duchenko E., Harkusha I.

Heavy metals are one of the most dangerous toxic substances for the environment and human health. Information is provided regarding the definition of the concept of “heavy metals” both by specific gravity and atomic number in the periodic system of chemical elements, and according to medical classification by manifestation of toxicity. Attention is drawn to the list of heavy metals, in addition to chemical elements with a specific gravity of at least 5 g/cm³, certain toxic “light metals” (specific gravity less than 4.5 g/cm³) and some semi-metals are included. Moreover, in different countries there are certain differences in the belonging of chemical elements to “heavy metals”.

The list and general characteristics of the main sources of heavy metals are provided: natural (volcanic emissions; degassing and tectonic movements of the earth's crust; weathering and outpouring of rocks; fires, the results of floods, hurricanes, mudflows, etc.), as well as anthropogenic (industrial, including extraction of minerals; agricultural, in particular, the use of metal-containing fertilizers and pesticides, discharges of waste from various farms; emissions and discharges of vehicles; industrial and household waste and their disposal; mining and processing of ore containing radioisotopes of heavy metals; nuclear reactors; means of treatment and diagnostics, devices for scientific research; military operations, testing and neutralization of weapons, etc.). The source of heavy metals entering the human body can be containers and packaging of food products, if they are chemically unstable to such products, as well as metal, watered and enameled dishes.

The need to determine heavy metals in the environment and agricultural products is proved. Among a number of methods (photometric, electrochemical, electrophoretic, radiometric), the application of atomic emission and atomic absorption spectrometry methods is argued, with the principles of these methods and their features, as well as, as an example, the results of research on the content of some heavy metals (Cd, Cu, Pb, Zn) in milk powder samples. The analysis of the obtained results shows that in terms of sensitivity, accuracy, selectivity, productivity and economy, atomic spectrometry methods are adequate for the determination of heavy metals in environmental objects and agricultural products. In addition, it is shown that atomic absorption spectrometry has certain advantages over atomic emission spectrometry. *Key words:* atomic spectrometry, heavy metals, agricultural products.

Постановка проблеми. До поширених токсичних поллютантів (англ. *pollutants* – забрудники) довкілля (атмосфери, ґрунту, води і живих організмів) відноситься велика група хімічних елементів під загальною назвою «важкі метали» (англ. *heavy metals*).

Існує певна невизначеність стосовно належності хімічних елементів до цієї групи речовин. Так, згідно розповсюдженого визначення терміну «важкі метали» до них відносяться метали з питомою вагою не менше $4,5 \text{ г/см}^3$ [1]. У той же час є уточнення, що «важкі метали» – це хімічні елементи з питомою вагою не менше 5 г/см^3 і атомним номером в періодичній системі хімічних елементів Д. І. Менделєєва більше 20 [2]. Серед 35 хімічних елементів, які зазвичай потрапляють до організму людини (з продуктами харчування, питною водою, вдихуванням повітрям і контактним шляхом через шкіру та слизові оболонки) до важких металів у більшості країн світу прийнято відносити 22 метали, а саме [2]: Ванадій (V), Хром (Cr), Манган (Mn), Ферум (Fe), Кобальт (Co), Нікель (Ni), Купрум (Cu), Цинк (Zn), Галій (Ga), Аргентум (Ag), Кадмій (Cd), Станун (Sh), Стийбій (Sb), Церій (Ce), Тулій (Tm), Платина (Pt), Аурум (Au), Меркурій (Hg), Талій (Tl), Плюмбум (Pb), Бісмут (Bi), Уран (U), а також напівметал Арсен (As).

Згідно медичної класифікації [2] до важких металів відносять всі хімічні елементи, які в надлишковій кількості мають токсичні властивості (грецьк. *toxikon* – отрута). Однак, токсичність речовини залежить від багатьох причин: доза, час дії, шляхи потрапляння в організм, механізми дії, стан організму тощо.

Крім наведених вище хімічних елементів у багатьох країнах (а в кожній країні існує свій перелік важких металів) відносять лантаноїди (група з 14 хімічних елементів, які в періодичній системі хімічних елементів розміщені за Лантаном (La)), актиноїди (група з 14 хімічних елементів, які розміщені за Актинієм (Ac)), а також деякі «легкі метали» (зокрема, Алюміній (Al), питома вага $2,70 \text{ г/см}^3$, Барій (Ba), питома вага $3,76 \text{ г/см}^3$, Берилій (Be), питома вага $1,85 \text{ г/см}^3$, Стронцій (Sr), питома вага $2,54 \text{ г/см}^3$). У більшості країн світу до важких металів відносять ще наступні хімічні елементи: Скандій (Sc), Селен (Se), Ітрій (Y), Цирконій (Zr), Необій (Nb), Рутеній (Ru), Радій (Rh), Паладій (Pd), Індій (In), Лантан (La), Гафній (Hf), Тантал (Ta), Вольфрам (W) та Іридій (Ir).

Більшість хімічних елементів, які відносять до важких металів, є мікроелементами (вміст в живих організмах знаходиться в межах 10^{-12} – $10^{-3}\%$) і необхідні для підтримання життєздатності організмів. Однак, при зростанні їх кількості в організмі, вони є токсичними.

Важкі метали – класичні забрудники довкілля, тобто можуть бути привнесені у довкілля в перевищеній кількості відносно природного середньо бага-

торічного рівня в межах граничних коливань, або це нехарактерні для довкілля речовини, що здатні привести до негативних наслідків [3].

Потрапляння важких металів у довкілля (атмосфери, ґрунт, вода, біота), що відбувається внаслідок їх міграції від різноманітних природних і антропогенних джерел призводить до забруднення харчових продуктів для людей і кормів для сільськогосподарських тварин та питної води [4–6]. До природних джерел важких металів, відносяться насамперед, вулканічні викиди, вивітрювання і виливання гірських порід, дегазація і тектонічні рухи (деформація або розриви земної кори), пожежі, результати селевих потоків, повеней, ураганів тощо.

До основних антропогенних джерел важких металів належать промислові (створюються всією галуззю промисловості, наприклад, металургійною, хімічною, електротехнічною, добування корисних копалин, або окремими підприємствами цих галузей); сільськогосподарські (використання металовмісних добрив і пестицидів, скиди відходів різноманітних ферм тваринництва); спалювання вугільного палива (вугілля, нафти, газу, торфу, сланцю) як джерела енергії; викиди і скиди транспортного комплексу; промислові і побутові відходи та їх знешкодження; радіоізотопи хімічних елементів (видобуток і переробка руди, ядерні реактори, засоби медичної діагностики та лікування, прилади для наукових досліджень тощо), військові (військові дії, випробування та знищення зброї тощо).

Харчова сировина у більшості випадків потребує технологічної обробки і тоді вона контактує з металевим обладнанням, яке може бути джерелом забруднення харчових продуктів. Таким же джерелом важких металів може бути металева тара чи упаковка, якщо в хімічному відношенні вони нестійкі до харчового продукту. Важкі метали можуть потрапляти до харчових продуктів з металевих посуду або поливаного і емальованого із нанесеним яскравим малюнком. Так, наприклад, неорганічні фарби яскраво-жовтого і червоного кольору містять Плюмбум і Кадмій.

Актуальність дослідження. Суттєвим, зокрема і для України є те, що сільськогосподарські угіддя та водойми піддавалися і продовжують піддаватися забрудненню важкими металами, які не зникають (не розпадаються), а лише можуть вступати у різні хімічні реакції з утворенням відповідних сполук. Таким чином, визначення вмісту важких металів в об'єктах довкілля і сільськогосподарській продукції – одна з надзвичайно важливих й актуальних проблем, яка потребує використання відповідних методів та методик.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Для ідентифікації та кількісного визначення важких металів застосовують ряд методів. Серед них добір науково обґрунтованих та найбільш придатних для визна-

чення конкретного небезпечного забрудника – це проблема, яка стоїть у центрі уваги екоотоксикології.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для якісного і кількісного визначення важких металів використовується, в залежності від мети і задач досліджень, ряд аналітичних методів. Це методи фотометрії (грецьк. *phos* – світло та *metro* – міра, вимір), серед них спектрометрії; електрохімії (потенціометричні і полярографічні), електрофоретичні (зокрема, загальний електрофорез в капілярах), радіометричні (визначення радіоізотопів важких металів), за необхідності мас-спектрометричні (розділення іонів відповідно m/e , де m – маса іону, e – його електричний заряд) [7–12].

Для вирішення поставлених задач при визначенні важких металів, із забезпеченням точності, чутливості, вибірковості, продуктивності, використовується метод полум'яної спектрометрії, а саме: атомно-абсорбційної і атомно-емісійної спектрометрії [9].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Незважаючи на наявність певних наукових розробок щодо методів визначення важких металів, не надано їх порівняльного аналізу, не визначена можливість і доцільність застосування методів атомної спектрометрії.

Новизна. На основі експериментальних досліджень й аналітичних узагальнень з'ясувати доцільність застосування методів атомної спектрометрії для кількісного визначення важких металів в об'єктах довкілля (грунті, воді, атмосферному повітрі) та сільськогосподарській продукції.

Виклад основного матеріалу. Для визначення важких металів у харчових продуктах, зокрема сухому молоці, застосовані методи атомної спектрометрії [7–9].

У методі атомно-емісійної спектрометрії джерело енергії (полум'я, плазма тощо) спричиняє перехід досліджуваного зразка з твердого чи рідкого стану в газоподібний стан, дисоціацію молекул на атоми та їх збудження. Реєструються спектри випромінювання збуджених атомів при їх поверненні в основний (не збуджений) стан, що використовується для ідентифікації хімічних елементів та кількісного їх визначення в дослідному зразку.

В атомно-абсорбційній спектрометрії джерело енергії використовується тільки для переведення досліджуваного зразка в газоподібний стан та атомізації. Реєструються спектри поглинання резонансного випромінювання певної довжини хвиль. Джерелами такого випромінювання, як правило, є так звані «лампи з порожнистим катодом». У них катод виготовляється з того металу, який визначається в досліджуваному зразку. Аналіз спектрів поглинання у цьому методі дає можливість як визначити наявність важких металів в досліджуваному зразку, так і їх кількість. Саме методи атомної спектрометрії були залучені для визначення важких металів у зразках сухого молока.

Результати визначення важких металів (Cd, Cu, Pb і Zn) у зразках сухого молока методом атомно-емісійної спектрометрії (табл. 1) та методом атомно-абсорбційної спектрометрії (табл. 2).

Аналіз результатів дослідження свідчить, що метод атомно-абсорбційної спектрометрії має певні переваги перед атомно-емісійною спектрометрією. Крім підвищеної точності, чутливості і продуктивності, це також:

1) в атомно-абсорбційній спектрометрії немає необхідності збудження атомів полум'ям (тобто використання спеціальних газових сумішей для створення високотемпературного полум'я) або

Таблиця 1

Вміст деяких важких металів у сухому молоці, визначений методом атомно-емісійної спектрометрії

Важкі метали	Результати випробування мг/кг	Межа детектування мг/кг
Кадмій (Cd)	<0,1	0,1
Купрум (Cu)	2,81	0,1
Плюмбум (Pb)	<0,1	0,1
Цинк (Zn)	42,03	0,1

Примітка: використано атомно-емісійний спектрометр IRIS Intrepid II XSP (США) з індуктивно-зв'язаною плазмою.

Таблиця 2

Вміст деяких важких металів у сухому молоці, визначений методом атомно-абсорбційної спектрометрії

Важкі метали	Результати випробування мг/кг	Межа детектування мг/кг
Кадмій (Cd)	0,005	0,002
Купрум (Cu)	2,40	0,006
Плюмбум (Pb)	0,03 (не визначається по причині меншого результату випробування ніж межа детектування)	0,22
Цинк (Zn)	52,38	0,003

Примітка: використано атомно-абсорбційний полум'яний спектрометр Thermo Fisher Scientific ICE 3500 (США).

неполум'яних джерел енергії. Застосування додаткових джерел світла з випромінюванням резонансних довжин хвиль, які поглинаються конкретним хімічним елементом, сприяє визначенню більшого числа важких металів, ніж методом атомно-емісійної спектроскопії;

2) в атомно-абсорбційних спектрах за рахунок модуляції фонового сигналу суттєво знижується фонове (незв'язане з досліджуваними хімічними елементами) випромінювання.

Головні висновки та перспективи використання результатів дослідження. Для якісного і кількісного визначення поширених токсичних поллютантів, а саме: важких металів у довкіллі, сільськогосподарській продукції та питній воді пропонується використовувати методи атомної спектроскопії, причому атомно-абсорбційний метод має переваги перед атомно-емісійним, в першу чергу, за чутливістю, точністю, вибірковістю, продуктивністю та економічністю.

Література

1. Агроекологія: словник-довідник найбільш вживаних агроекологічних термінів / В.В. Данчук, В.О. Ушкалов, В.М. Войціцький, та ін.; за ред. В.О. Ушкалова. К.: ФОП Ямчинський О.В., 2021. 494 с.
2. Глобальне здоров'я, якість і безпека життя: довідник-монографія / В.М. Войціцький, С.В. Хижняк, В.В. Данчук, та ін.; за ред. В.О. Ушкалова. К.: ТОВ ЦП «Компринт», 2019. Т.2. 640 с.
3. Жирнов В.В., Савченко Д.А. Біоконверсія відходів: підручник. Частина І. К.: РРП Експрес-Друк, 2017. 302 с.
4. Волошинська С.С. Важкі метали в ґрунтах урбоєкосистеми м. Ковеля. Біологічні системи. 2012. Т.4. Вип. 2. С. 145-148.
5. Застосування моделювання для прогнозування міграції екотоксикантів наземними і водними екосистемами: науково-практичні рекомендації для установ України екологічного профілю / В.М. Войціцький, С.В. Хижняк, С.В. Мідик та ін. К.: РВВ НУБіП України, 2019. 31 с.
6. Войціцький, В.М., Хижняк, С.В., Данчук, В.В. Надходження і міграція важких металів наземними і водними екосистемами. Біоресурси і природокористування. 2019. 11 (1-2), 59-68.
7. Кучеренко, М.Є., Бабенюк, Ю.Д., Войціцький, В.М. Сучасні методи біохімічних досліджень: учбовий посібник. 2001. Київ: Фітосоціоцентр. 245 с.
8. Васенко О.Г., Мельников А.Ю. Дослідження вмісту важких металів у воді р. Дунай в межах України. Екологічна безпека. 2017. № 2. С. 64-69.
9. Аналітичні методи досліджень. Спектроскопічні методи аналізу: теоретичні основи і методики: навчальний посібник для підготовки студентів вищих навчальних закладів / Мельничук Д.О., Мельничук, С.Д., Войціцький, В.М. та ін. 2016. Київ: ТОВ ЦП Компрінт. 288 с.
10. Войціцький В.М., Хижняк С.В., Грищенко В.А., Баранов Ю.С. Аналітичні методи досліджень. Хроматографічні та електрофоретичні методи аналізу: теоретичні основи і методики: навчальний посібник. К.: ЦП Компрінт, 2017. 268 с.
11. Войціцький, В.М., Стародуб, М.Ф., Хижняк, С.В. Аналітичні методи досліджень. Електрохімічні методи аналізу: теоретичні основи і методики: навчальний посібник. 2017. Київ: ТОВ ЦП Компрінт. 232 с.
12. Кутлахмедов, Ю.О., Войціцький, В.М., Хижняк, С.В. Радіобіологія: підручник. 2011. Київ: РПЦ Київський університет. 543 с.

ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ

УДК 551.493:622:504

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.5-44.5>

МОНІТОРИНГ ЗАГАЗОВАНOSTІ ТЕРИТОРІЇ МІСТА БОРИСЛАВА

Романюк О.І.¹, Ощеповський І.В.², Шевчик Л.З.¹¹Відділення фізико-хімії горючих копалин Інституту фізико-органічної хімії і вуглехімії імені Л.М. Литвиненка Національної академії наук України
вул. Наукова, 3А, 79022, м. Львів²Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005, Львів
romaniuk@ua.fm, romaniuk@ua.fm

Місто Борислав – центр великого нафтопромислового району, виросло на місці нафтогазового родовища і територіально співпадає з ним. Світова практика видобутку нафти і газу не має прикладу ліквідації такого великого і складного нафтогазового об'єкту як Бориславське нафтогазове родовище. Вивчення проблеми загазованості території Бориславського нафтогазового родовища показали, що основні чинники загазованості – геогенна міграція вуглеводневих газів через тектонічні порушення та техногенна міграція є явищами постійними в часі і такими, які не можуть бути ліквідованими повністю, а вимагають сталих зусиль і заходів із зменшення їх впливу на довкілля.

Здійснено моніторинговий контроль загазованості на території м.Борислава. Дослідження проведено на ділянках підвищеного ризику, розташованих в центральній частині міста: вул.Міцкевича, вул.Чорновола, вул.Весняна, а також на ділянках, де в останні роки відновились газопрояви : вул.Гоголя, вул.Городище, вул.Церковна. Встановлено, що вміст вибухонебезпечних газів у дегазаційних свердловинах ДС № 9, ДС № 11 (вул. Весняна) стабільно перевищує допустимі норми. В ДС № 11 вміст метану піднімався до 10%, а в ДС № 9 до 50 % у літні місяці 2017 р. По вулиці Міцкевича ДС № 50, у літні місяці, вміст метану був в межах норми, а в осінні – перевищував нижню межу вибухонебезпечності в 2-4 рази. Сильне забруднення зафіксовано на ділянці ДС № 1096, 512 (вул. Гоголя). За досліджуваний період вміст метану у газах свердловини № 1096 коливався в межах 40-80 %. Також у ДС № 1018 вул.Церковна виявлено високий вміст метану (< 60 %), вул.Городище ДС № 959 (> 90 %, горіння факелу). Ці свердловини потребують негайного втручання з метою запровадження заходів з дегазації та одночасного використання для потреб міста. Постійного моніторингового контролю та підключення до вентиляційних кіосків потребують дегазаційні свердловини в центральній частині міста по вул Весняній ДС № 11, ДС № 9 та вул.Чорновола ДС № 3, ДС № 16, ДС № 29.

Ключові слова: моніторинг, загазованість, нафтогазове родовище

Monitoring of gas pollution in the territory of the city of Boryslava. Romaniuk O., Oshchapovskiy I., Shevchik L.

There was no example of the liquidation of such large and complex oil- and gas-bearing object in the world practice as Boryslav oil and gas deposit. The investigation of gassiness of the territory of Boryslav deposit revealed that its main causes are a geogenic migration of hydrocarbon gases through tectonic breakdowns and technogenic migration. These phenomena are permanent and can not be completely mitigated. They require permanent effort and countermeasures in order to diminish their influence on the environment.

Monitoring of gassiness on the territory of Boryslav town was carried out. The investigations were conducted on areas of increased risk, located in the central part of the town: Mitskevycha Str., Chornovola Str., Vesnyana Str. and also at the areas, where showings of gas were resumed: Gogolya Str., Gorodyshe Str., Tserkovna Str. It was established, that the contents of explosive gases in outgassing bore-wells DS № 9, DS № 11 (Vesnyana Str.) constantly exceeded permissible limits. The methane content in DS № 11 increased up to 10 %, in DS № 11 increased up to 50 % in summer of the 2017 year. The methane content in DS № 50, located in Mitskevycha Str. was within permissible limits in summer, while in autumn – exceeded lower explosive limit in 2-4 times.

Strong pollution was observed at bore-wells DS № 1096, 512 (Gogolya Str.). Methane content in the gases of bore-well № 1096 ranged from 40 to 80%. Also high methane content (<60%) was detected in bore-well DS № 1018 too, located in Tserkovna Str., as well as in DS № 959 (Gorodyshe Str.), accompanied by burning gas flare. These bore-wells require immediate intervention in order to apply outgassing measures with simultaneous use of gas for town's needs. Permanent monitoring is required by bore-wells DS № 11, DS № 9 (Vesnyana Str.) and DS № 3, DS № 16, DS № 29 (Chornovola Str.).

Key words: monitoring, gassiness, oilgas deposit

Постановка проблеми та актуальність. Місто Борислав – центр великого нафтопромислового району, виросло на місці нафтогазового родовища і територіально співпадає з ним. На сьогоднішній день місто має всі ознаки нафтохімічного забруднення обумовленого як природними так і техногенними причинами. До природних слід віднести нафтогазоносність надр, геолого-структурні та

ландшафтно-геохімічні умови району, що сприяють довготривалому динамічному впливу на довкілля Борислава мігруючих підземних вуглеводневих флюїдів, розвантаження яких та продуктів їх окислення відбувається у приповерхневу атмогідролітосферу. Каналами міграції супутніх газів є розривні порушення різного генезису – насуви, скидо-зсуви, лінійні зони підвищеної тріщинуватості [1].

Геологічна будова Бориславського нафтового родовища сприяє міграції газу та нафти з великих глибин в приповерхневі порожнини і пори з виходом на поверхню. Здійснена у 1973-1988 роках газогеохімічна зйомка на площі 20 км² виявила 172 газові аномалії у приповерхневих відкладах з вмістом вуглеводнів 0,6-6,0 %.

Причини техногенних процесів – це свердловини, пробурені до 1939 р., обсадні колони яких не цементовані, а тампоновані глиною, а тому негерметичні (ліквідованих свердловин числиться 1136, із них виявлено на місцевості 567 і не виявлено – 569; декілька шахт та 340 розвідувальних озокеритових свердловин [2], ліквідація яких проведена з порушенням технологічних вимог (виникли газові грифони); забуті свердловини і криниці-копанки, що заповнюються газом і слугують джерелом постійного забруднення; газопроводи, апарати, факели, запобіжні клапани, смності, димові труби, постійно діючі свічі, викиди в аварійних ситуаціях; втрати від випаровування при зберіганні, заповненні (опорожненні) резервуарів і транспортних ємностей.

В м.Бориславі ведуться роботи по ліквідації загазованості міста. Проведені геохімічні дослідження території та об'єктів Бориславського нафтогазового родовища показали, що заходи з дегазації знизили рівень загазованості із 216 до 60 зон. Однак, міграція вуглеводнів на поверхню землі повністю не ліквідована. У присклепінній частині родовища в зонах тектонічних порушень негерметичних свердловин та криниць-копанок міграція продовжується, що підтверджується високою концентрацією газу від 1,25 до 6% об. у 67 дегазаційних свердловинах [3-5]. Найбільш небезпечно для здоров'я людини надходження вуглеводневих газів у приземний шар повітря, звідки утруднене їх розсіювання. Багато будинків старих житлових кварталів м.Борислава розміщені в безпосередній близькості до дегазаційних свердловин або на старих криницях-копанках і є свого роду екраном для вловлювання забруднювачів. Населення, що проживає на таких територіях, отримує шкоду для свого здоров'я. Штильовий період сприятливий для накопичення газів, особливо це стосується важких вуглеводнів, що можуть накопичуватись в складках місцевості, ямах, підвалах. При певних обставинах забруднення вуглеводневими газами може спричинити надзвичайні ситуації, вибухи в каналізаційних системах, підвалах будинків, пониженнях рельєфу.

Так, 17 липня 2012 року, відбувся залповий викид нафти з недіючої свердловини № 494 по вул. Довженка, пробуреної ще в 1905 р. Загрозлива ситуація з п'ятиповерховим багатоквартирним будинком по вул.Чорновола, де відбувся викид нафти та газу в 2010 р., а потім і в серпні 2014 р. [6].

Така ситуація вимагає постійного моніторингового контролю з метою недопущення кризових та

надзвичайних станів, своєчасного реагування, прийняття адекватних управлінських рішень.

Моніторинг, як система постійних режимних спостережень, оцінки і контролю за станом навколишнього середовища, попередження про критичні ситуації, небезпечні для людей та біосфери, розробки природоохоронних заходів і рекомендацій відіграє важливу роль у запобіганні загостренню екологічної і відповідно соціальної ситуації у м.Бориславі.

Мета роботи – моніторинг загазованості території м.Борислава, оцінка негативних змін, розробка рекомендацій по зменшенню загазованості.

Методика досліджень. Гази відбирались з дегазаційних свердловин методикою (ГОСТ 17.2.4.02-81), шляхом витіснення соляного розчину з скляних ємностей і зберігались під соляним затвором ($t=10^{\circ}\text{C}$) не більше 3 діб.

Аналіз газів дегазаційних свердловин на вміст вуглеводнів при концентрації останніх $> 0,5\%$ проводили на хроматографі CHROM-5, газ-носії гелій (розхід 30 мл/хв.) на колонці 2,5 м, наповненій Полісорбом-1 з катарометром по теплопровідності, при програмуванні температури колонки від 30° до 150°C . При вмісті вуглеводнів у повітрі $< 0,5\%$ аналіз проводили на хроматографі ЛХМ-80 з полум'яно-іонізаційним детектором на колонці довжиною 2,5 м, наповненою CHROMATON NAW –DMCS + 5% apiezon L.

Математична обробка результатів досліджень здійснювалась з використанням програм Excel, Surfer.

Виклад основного матеріалу. Багаторічні моніторингові спостереження [1, 2, 4, 5], проведені нами впродовж 2003-2015 рр. дали змогу встановити ділянки підвищеного ризику, щодо загазованості, для яких необхідний постійний моніторинговий контроль.

Це ділянки на яких концентрація горючих газів критична, а сезонні коливання вмісту летких вуглеводнів – значні (рис. 1, рис. 2).

Тому саме на цих ділянках проводились щомісячні спостереження в 2017 році. Встановлено, що концентрація метану в ДС № 29 (вул. Чорновола) у 2017 р. була значно нижче норми вибухонебезпечності. Однак, у інших дегазаційних свердловинах за цією ж адресою, зокрема, в дегазаційних свердловинах ДС № 3 та ДС № 16 вміст метану у літні місяці перевищував допустимі норми в 3-4 рази. В осінні місяці концентрація метану в цих свердловинах зменшилась: у ДС № 3 в 2 рази, у свердловині ДС № 16 – до допустимої. Такі коливання вмісту метану у газоповітряних сумішах ДС впродовж 2017 року, можна пояснити як сезонними змінами (вологість, температура, аерація), так і складними процесами міграції вуглеводневих газів через техногенні та природні канали газовміщуючих порід. Не останню роль тут відіграють і процеси підтоплення природних чи техногенних каналів, в тому числі озокеритової шахти.

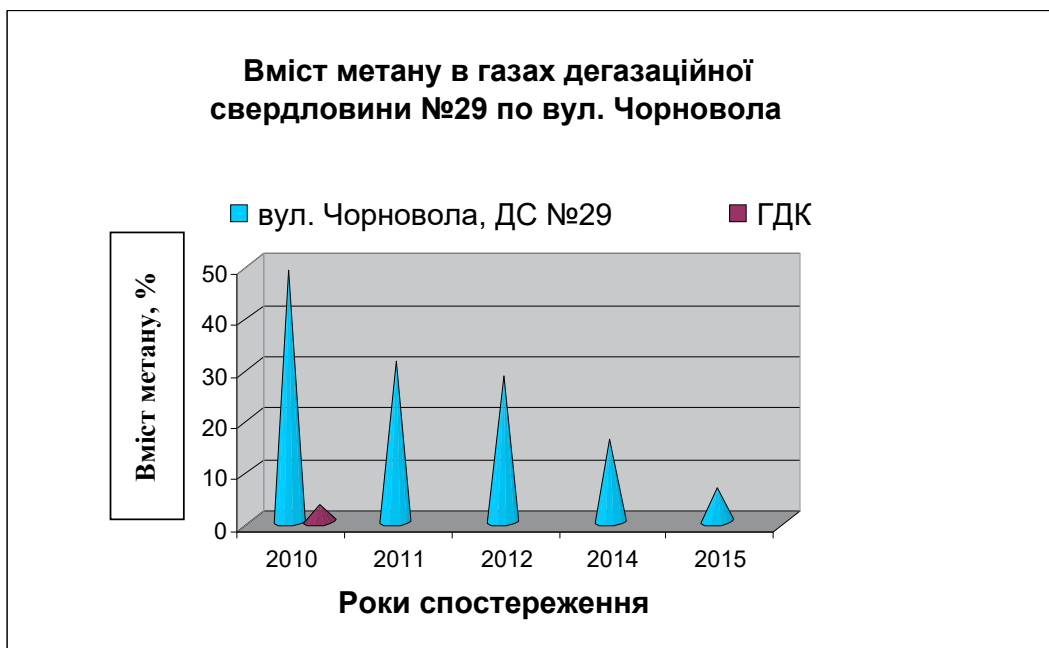


Рис. 1. Вміст метану в газах ДС№ 29 по вул. Чорновола, 12

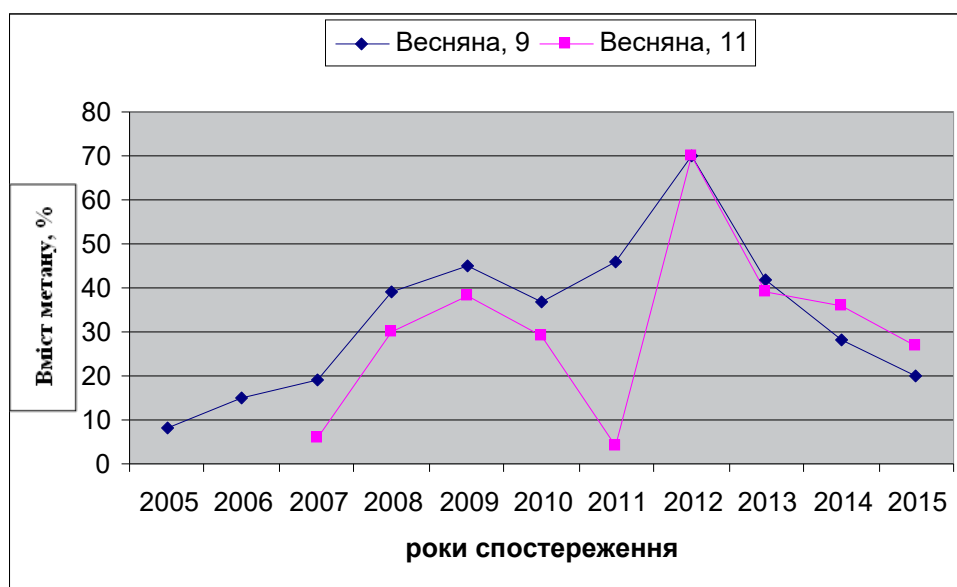


Рис. 2. Вміст метану в газах дегазаційних свердловин № 9 та № 11 по вул. Весняній

Небезпечною залишається ситуація з свердловинами ДС №№ 9,11 по вул.Весняній, що знаходяться в центральній частині міста (базар), де є велике скупчення людей. Не дивлячись на проведені роботи з дегазації, вміст вибухонебезпечних газів у цих свердловинах стабільно перевищує допустимі норми (рис. 2). Особливо це стосується свердловини № 9, вміст метану в газах якої сягав більше 50 % у літні місяці 2017 р. (рис. 4), та 10 % у ДС № 11. Таким чином, проведені спостереження у 2017 р. свідчать про стабільно високий вміст метану у ДС № 9 та ДС № 11 (рис. 4, 5).

Що стосується вмісту горючих газів у ДС№ 50 по вулиці Міцкевича, то тут навпаки, у літні місяці 2017 рр. вміст метану був в межах норми, а в осінні місяці перевищував нижню межу вибухонебезпечності в 2-4 рази. Як бачимо, ситуація з загазованістю є нестабільною, а тому потребує постійного контролю.

Також обстежувались ліквідовані свердловини на околицях м.Борислава з метою виявлення потенційно небезпечних, в яких відновились газопроями (табл. 1).

Як видно з даних, наведених в табл. 1 у св. №№ 1018, 959 вул. Городище виявлено високий вміст

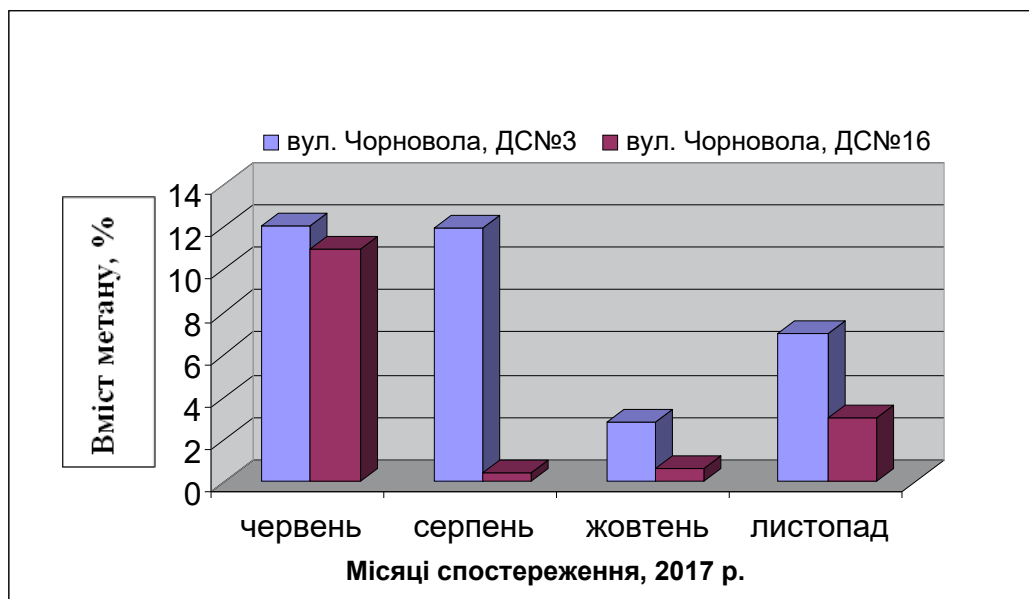


Рис. 3. Вміст метану у газах дегазаційних свердловин по вул. Чорновола

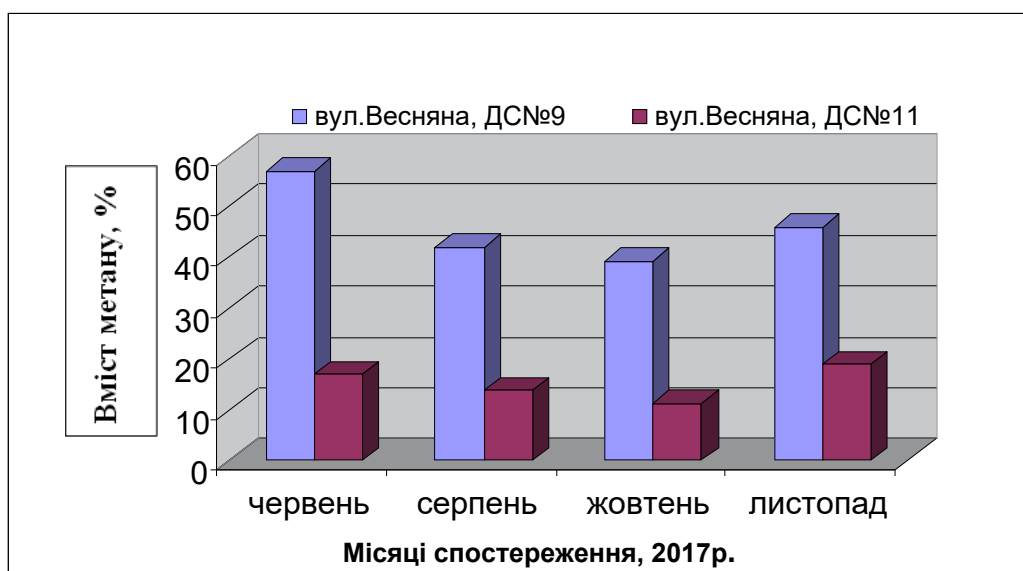


Рис. 4. Вміст метану у газах дегазаційних свердловин по вул.Весняній, 2017 р.

метану (рис. 7, рис. 8), ці свердловини потребують особливого контролю та ліквідації витоків газу.

Сильне забруднення спостерігається також на ділянці, де розташовані догазаційні свердловини № 1096, 512 по вул. Гоголя (рис. 9).

За досліджуваний період вміст метану у газах свердловини № 1096 коливався в межах 40-80 %. Не дивлячись на те, що ця свердловина була заново облаштована у 2005р. і відбулось значне зниження концентрації метану до 10-30%, однак в 2017 рр. спостерігається зворотна тенденція – зростання вмісту метану (рис. 9), обумовлене, швидше за все, процесами, пов'язаними з затопленою шахтою.

Висновки:

Світова практика видобутку нафти і газу не має прикладу ліквідації такого великого і складного нафтогазоносного об'єкту як Бориславське нафтогазове родовище. Вивчення проблеми загазованості території Бориславського нафтогазового родовища показали, що основні чинники загазованості – геогенна міграція вуглеводневих газів через тектонічні порушення та техногенна міграція є явищами, постійними в часі і такими, які не можуть бути ліквідованими повністю, а вимагають сталих зусиль і заходів із зменшення їх впливу на довкілля.

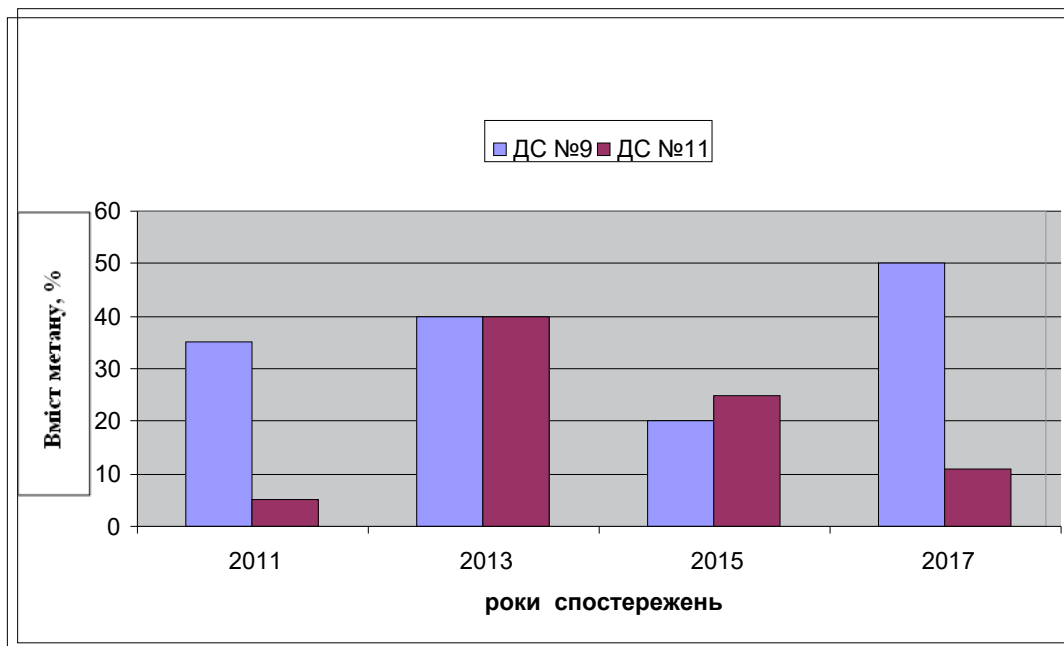


Рис. 5. Вміст метану у газах дегазаційних свердловин по вул. Весняній, 2011-2017 рр., м. Борислав

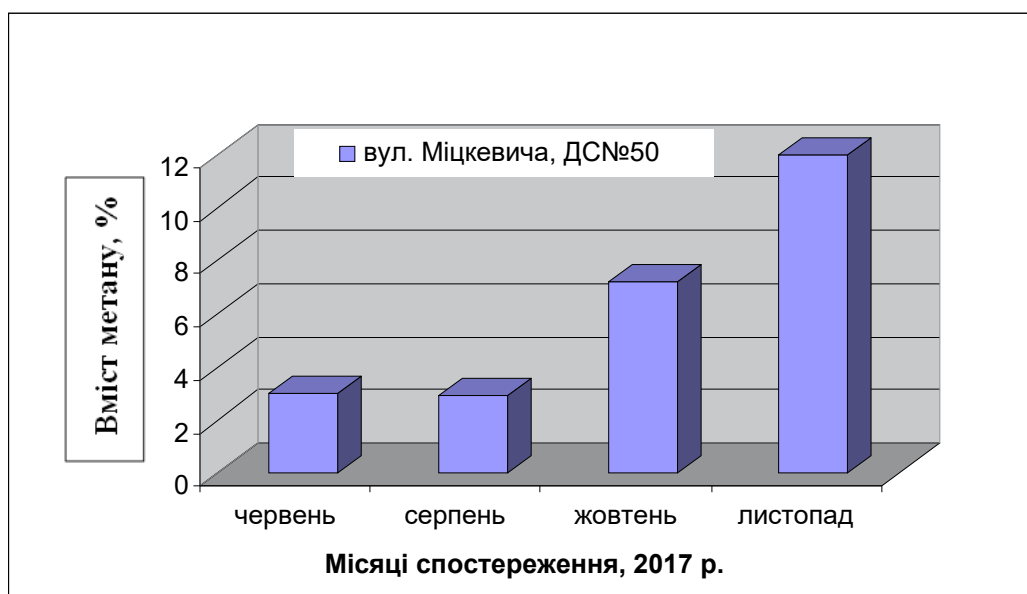


Рис. 6. Вміст метану у газах дегазаційних свердловин по вул. Міцкевича

Пріоритетними на даний час і на майбутнє є постійне ведення наземного моніторингу загазованості з метою попередження надзвичайних ситуацій, прийняття своєчасних управлінських рішень і заходів з ліквідації небезпечних витоків газу та недопущення надзвичайних ситуацій.

Постійного моніторингового контролю та підключення до вентеляційних кіосків потребують дегазаційні свердловини в центральній частині міста по вул Весняній Дс№ 11, Дс№ 9, вул.

Чорновола Дс№ 3, Дс№ 16, Дс№ 29 вміст метану в яких перевищує допустимі норми, а також свердловини, розташовані в безпосередній близькості до багатоповерхових житлових будинків вул. Міцкевича Дс№ 50, № 47.

Активізація газопроводів (від 60% до 90% метану) у ряді ліквідованих свердловин по вул.Церковній № 1018, вул. Городище № 959; потребують негайного втручання з метою запровадження заходів з дегазації та одночасного використання для потреб міста.



Рис. 7. Витоки вибухонебезпечних газів з ліквідованої свердловини № 959, вул. Городище м. Борислав



Рис. 8. Факел. Витоки вибухонебезпечних газів, вул. Городище м. Борислав

Таблиця 1

Вміст метану у дегазаційних свердловинах м. Борислава, 2017 р.

Адреса	Вміст метану, %
вул. Церковна, св. № 1688	0,1
Ліс, св. № 1018	>60,0
Ліс, св. № 99	0,1
вул. Городище, св.без №	>90,0
вул. Городище, св № 959	>90,0
Шпр. № 155	0
Шпр. № 176	0
Шпр. № 241	0
Шпр. № 250	0
Шпр. № 40	0

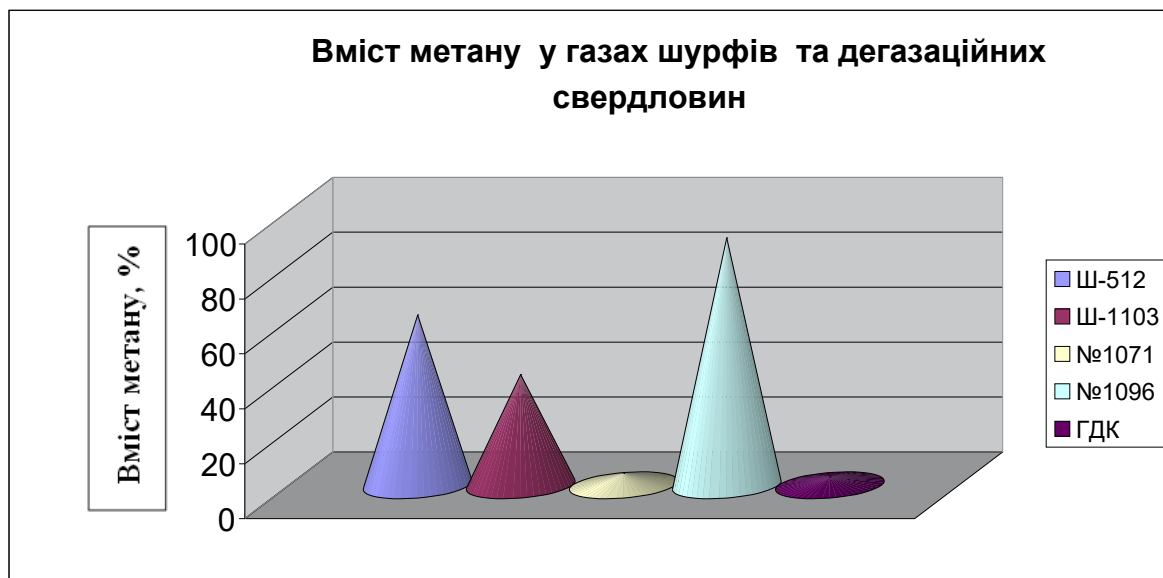


Рис. 9. Вміст метану у газах дегазаційних свердловин розташованих в зоні впливу озокеритової шахти (Ш-512; Ш-1103 – шурфи по вул. Гоголя; № 1096, № 1071 – дегазаційні свердловини)

Література

1. Романюк О. [та ін.]. Запровадження та проведення екологічного моніторингу підземних вод, загазованості, забруднення ґрунтів на території м.Борислава. Звіт про науково-дослідну роботу Д1-03. Львів: Відділення ФХГК ІнФОХВ імені Л. М. НАН України, 2003. С3.
2. Романюк О. [та ін.]. Проведення екологічного моніторингу підземних вод, загазованості, забруднення ґрунтів на території м.Борислава 2006-2010 рр. Звіт про науково-дослідну роботу Д 1-2010. Львів: Відділення ФХГК ІнФОХВ імені Л. М. Литвиненка НАН України, 2011. С. 10
3. Романюк О. [та ін.]. Проведення екологічного моніторингу підземних вод, загазованості, забруднення ґрунтів на території м.Борислава. Звіт про науково-дослідну роботу Д 1-11. Львів: Відділення ФХГК ІнФОХВ імені Л. М. Литвиненка НАН України, 2011. С. 8.
4. Регіональна оцінка стану геологічного середовища в районах розвідки та видобутку вуглеводнів в межах території діяльності ДП „Західукргеологія”. Звіт. Книга 1. Львів, 2002.
5. Романюк О. І., Шевчик Л. З. Комплексний екологічний моніторинг нафтозабруднених територій на прикладі м. Борислава. Вісник Вінницького політехнічного інституту. Екологія, екологічна кібернетика та хімічні технології. 2013. № 5. С. 19 – 22.
6. Романюк О. [та ін.]. Проведення екологічного моніторингу підземних вод, загазованості та забруднення ґрунтів на території м. Борислава. Звіт про науково-дослідну роботу Д1-14. Львів: Відділення ФХГК ІнФОХВ імені Л. М. Литвиненка НАН України, 2014.

СТАН, ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ЗОНИ «ЗАПОРІЗЬКА» ТА АГЛОМЕРАЦІЇ «ЗАПОРІЖЖЯ»

Скуйбіда О.Л.

Національний університет «Запорізька політехніка»

вул. Жуковського, 64, 69063, м. Запоріжжя

eskuybida@gmail.com

Запорізький регіон характеризується вкрай високим рівнем техногенного навантаження, пов'язаного з наявністю значної кількості джерел атмосферного забруднення: промислових підприємств, що є хімічно небезпечними об'єктами; електростанцій, в т.ч. Запорізької АЕС, яка є найбільшою атомною електростанцією в Європі; аеропорту, річкового та морського портів, перевантажувальних терміналів, а також транспортних засобів; об'єктів утворення, оброблення та утилізації відходів, місць видалення відходів. З початком воєнних дій на території України значно зросла небезпека забруднення атмосферного повітря, в т.ч. внаслідок аварійних викидів хімічних та радіоактивних речовин. В цьому контексті моніторинг стану атмосферного повітря набуває вкрай важливого значення. До основних забруднювальних речовин зони «Запорізька» та агломерації «Запоріжжя» відносяться оксид азоту, оксид вуглецю, діоксид сірки, речовини у вигляді суспендованих твердих частинок, метали та їх частинки (арсен, кадмій, ртуть, свинець, нікель), озон, бензол, бенз(а)пірен, формальдегід та ін. Зафіксовано перевищення рекомендованих Всесвітньою організацією охорони здоров'я безпечних концентрацій дрібнодисперсного пилу PM_{2,5} та дрібнодисперсного пилу PM₁₀; перевищення гігієнічних нормативів в атмосфері м. Запоріжжя за сірковуглецем, сірководнем, фенолом, формальдегідом, оксидом вуглецю, ароматичними вуглеводами. Рівень забруднення атмосферного повітря міста за оцінкою потенційного ризику для здоров'я населення відповідає 3-му класу небезпеки (значний ризик для здоров'я).

Існуюча система моніторингу передбачає наявність стаціонарних пунктів спостережень ДСНС / Запорізького ЦГМ, пересувних пунктів ДУ «Запорізький обласний центр контролю та профілактики хвороб МОЗ України», а також роботу мобільної лабораторії моніторингу довкілля. В рамках здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря в зоні «Запорізька» та агломерації «Запоріжжя» консолідовані зусилля органів місцевого самоврядування, промислових підприємств, науковців, громадськості та проводиться аналіз результатів спостережень, моделюються полігони найбільших концентрацій для кожної забруднювальної речовини, визначаються місця оптимального розташування нових постів спостережень, речовини, які необхідно контролювати на існуючих постах, розробляються та впроваджуються природоохоронні заходи щодо скорочення обсягів викидів забруднювальних речовин. *Ключові слова:* атмосферне повітря, моніторинг, забруднювальні речовини, техногенне навантаження, стаціонарні джерела забруднення, пересувні джерела забруднення, радіаційне забруднення.

The state, problems and prospects of atmospheric air monitoring of Zaporizhzhia zone and agglomeration. Skuibida O.

The Zaporizhzhia region is characterized by an extremely high level of technogenic load associated with the presence of a significant number of sources of atmospheric pollution: industrial enterprises, which are chemically dangerous objects; power plants, including Zaporizhzhia NPP, which is the largest nuclear power plant in Europe; airport, river and sea ports, transshipment terminals, as well as vehicles; objects of waste generation, processing and utilization, waste disposal sites. With the beginning of military actions on the territory of Ukraine, the danger of atmospheric air pollution increased significantly, including in the result of accidental releases of chemical and radioactive substances. In this context, monitoring the state of atmospheric air becomes very important. The main pollutants of Zaporizhzhia zone and agglomeration include nitrogen oxide, carbon monoxide, sulfur dioxide, substances in the form of suspended solid particles, metals and their particles (arsenic, cadmium, mercury, lead, nickel), ozone, benzopyrene, formaldehyde, etc. Exceeding safe concentrations of PM_{2.5} fine dust and PM₁₀ fine dust particles recommended by the World Health Organization as well as exceedings of hygienic standards in the atmosphere of Zaporizhzhia city for carbon sulfide, hydrogen sulfide, phenol, formaldehyde, carbon monoxide, aromatic carbohydrates were registered. According to the assessment of the potential risk to the health of the population the level of atmospheric air pollution of the city corresponds to the 3rd class of danger (significant risk to health).

The existing monitoring system provides the presence of stationary points placement for observation of atmospheric pollution of the State Emergency Service of Ukraine / Zaporizhzhia Hydrometeorological Center, mobile points of the Zaporizhzhia Regional Center for Disease Control and Prevention of the Ministry of Health of Ukraine, as well as work of the mobile environmental monitoring laboratory. Within the framework of state monitoring in the field of atmospheric air protection in Zaporizhzhia zone agglomeration, the efforts of local self-government bodies, industrial enterprises, scientists and public are consolidated and analysis of the results of observations is carried out, polygons of the highest concentrations are modeled for each pollutant, the location of new placement for observation points is set, substances that need to be controlled at existing points are defined, environmental protection measures are developed and implemented to reduce pollutant emissions. *Key words:* atmospheric air, monitoring, pollutants, technogenic load, stationary sources of pollution, mobile sources of pollution, radiation pollution.

Постановка проблеми.

Агломерація «Запоріжжя» та зона «Запорізька» є одним з найбільш техногенно навантажених регіонів України, в якому зконцентровані підприємства машинобудівної, металургійної, хімічної промисловості, електроенергетики, сільського господарства. Здійснюється виробництво сталі, чавуну, титанової губки, феросплавів, коксу, хімічної продукції, графітових електродів, вогнетривких виробів, трансформаторів, деталей авіабудування, кранів, виробів харчової промисловості та ін. На початок 2021 р. індекс промислового виробництва в регіоні становив 95,5 % (середнє значення по Україні – 92,9 %). З діяльністю промислових підприємств в значній мірі пов'язано забруднення атмосферного повітря [1, 2], що викликає порівняно високий рівень захворюваності населення; при цьому, даними осередками джерела викидів не обмежуються. Зона «Запорізька» та агломерація «Запоріжжя» характеризуються потужною транспортною складовою, а саме морський та річковий порти, три зернових перевантажувальних термінали, розвинену систему шосейних доріг та залізничних колій. Іншим джерелом викидів в атмосферу та небезпек для людини і навколишнього середовища є Запорізька атомна електростанція, Запорізька теплова електростанція, Дніпровська гідроелектростанція.

Актуальність дослідження. Здійснення моніторингу атмосферного повітря в Україні регулює низка нормативних документів загальнодержавного рівня – Закони України «Про охорону атмосферного повітря», «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про метрологію та метрологічну діяльність», Постанова Кабінету Міністрів України «Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря» від 14.08.2019 р. № 827, Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 25.02.2021 № 147 «Про затвердження форми програми державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря», Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 01.08.2022 № 268 «Про затвердження Порядку розроблення та затвердження планів поліпшення якості атмосферного повітря», а також проєкт наказу Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України «Про затвердження Порядку розроблення та затвердження короткострокових планів дій» та проєкт Методичних рекомендацій з підготовки та затвердження Програм державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України та іншими. Важливим є дотримання нормативних документів ЄС у сфері оцінки якості атмосферного повітря, зокрема Директиви 2008/50/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 21.05.2008 р. про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи.

Проблема моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря та управління якістю атмосферного повітря агломерації «Запоріжжя» та зони «Запорізька» є серйозною та актуальною, особливо в контексті високого техногенного навантаження, а також загрози хімічної та радіаційної аварій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Питання сучасного стану забруднення атмосферного повітря м. Запоріжжя та Запорізької області розглянуто в наукових публікаціях Рильського О.Ф., Севальнєва А.І., Іванової Г.М., Тулушева Є.О., Гришко С.В. та ін. Більшість вчених вказує на недоліки в існуючій системі моніторингу, викликаних недосконалістю керівних документів в галузі охорони атмосферного повітря. Наразі останні дослідження пов'язані з розробкою дієвих програм державного моніторингу, що базуватимуться на науково обґрунтованому комплексному підході до контролю якості атмосферного повітря, а також розробленні науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття управлінських рішень в сфері охорони навколишнього природного середовища.

Мета роботи – аналіз інформації про якість атмосферного повітря зони «Запорізька» та агломерації «Запоріжжя», оцінка впливу забруднення атмосферного повітря на навколишнє природне середовище, здоров'я та життєдіяльність населення на основі даних та інформації, отриманої в результаті здійснення державного моніторингу атмосферного повітря, а також поширення інформації про якість атмосферного повітря регіону.

Викладення основного матеріалу. Індикаторами зменшення забруднення атмосферного повітря міста може виступати зменшення викидів в атмосферне повітря від стаціонарних та пересувних джерел, а також показники якості атмосферного повітря. Так, в роботі К.В. Белоконь, І.М. Пірогової [3] представлені результати оцінки якості атмосферного повітря м. Запоріжжя на основі розрахунку індексу забруднення атмосфери та комплексного індексу забруднення атмосфери. Встановлено, що найбільший рівень комплексного індексу забруднення атмосфери спостерігається на постах, які розташовані в безпосередній близькості до основного промислового комплексу міста та сягають 5,4...9,8, що відповідає високому рівню забруднення.

Забруднення атмосферного повітря Запоріжжя традиційно асоціюється з виробництвом електроенергії, металургією, переробною промисловістю, в т.ч. виробництво коксу, неметалевої мінеральної продукції, а також харчової продукції, що здійснюють найбільший внесок в загальний обсяг викидів. За інформацією Головного управління статистики у Запорізькій області, Міністерства захисту довкілля України, департаменту захисту довкілля Запорізької облдержадміністрації (нині – Запорізька обласна військова адміністрація), управління з питань екологічної безпеки Запорізької міської ради загальна

кількість підприємств, що здійснюють викиди забруднювальних речовин в атмосферне повітря, в 2021 р. склала 164 одиниці. Загальна кількість (одиниць) діючих дозволів на викиди забруднювальних речовин в атмосферне повітря, об'єкт якого належить до першої групи становила 4 для агломерацій «Запоріжжя» та 9 для зони «Запорізька»; до другої та третьої груп – 731 та 1325 відповідно. Викиди забруднювальних речовин від стаціонарних джерел в 2020 р. склали 64,7 тис. т в агломерації та 90,8 тис. т в Запорізькій зоні.

Згідно з Регіональною доповіддю про стан навколишнього природного середовища в Запорізькій області, опублікованої на сайті Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України 20.12.2021 р., на території Запорізької зони впродовж року було здійснено близько 27 тис. досліджень атмосферного повітря (ДУ «Запорізький обласний лабораторний центр МОЗ України», мобільна лабораторія моніторингу довкілля). В 2020 р. було виявлено перевищення гранично-допустимих концентрацій забруднювальних речовин у 4,5% досліджень атмосферного повітря області (для порівняння, в 2019 р. перевищення складали 2,5 %). В м. Запоріжжя в 2020 р. було здійснено близько 18 тис. досліджень, з них 19,7% показали перевищення гранично-допустимих концентрацій (в 2019 р. перевищення складали 14,8 %).

Мережа пунктів спостережень за станом атмосферного повітря станом на початок 2022 р. передбачає наявність числених стаціонарних пунктів спостереження, що реєструють пил, діоксид сірки, діоксид азоту, оксид вуглецю, сірководень, фтористий водень, розчинні сульфати, важкі метали (свинець, кадмій, нікель), фенол, формальдегід, бенз(а)пірен, хлористий водень.

В Запоріжжі здійснюються спостереження за такими забруднювачами як оксид вуглецю, аміак, оксид азоту, діоксид азоту, діоксид сірки, сірководень, озон, формальдегід, хлор, фенол, сірковуглець, бензол, ксилол, толуол, ртуть, пил PM_{2,5}, пил PM₁₀, зважені речовини (пил), фтористий водень, хром та його сполуки, сірчана кислота, марганець та його сполуки, фтористі сполуки погано розчинені неорганічні, сірковуглець, хлористий водень, свинець, ацетон, бензол, ксилол, толуол, бензин, зважені речовини, сажа та ін. Системний екологічний моніторинг здійснюється з використанням мобільної лабораторії моніторингу довкілля, яка, зокрема, реагує на звернення громадян щодо погіршення якості атмосферного повітря.

Як зазначають експерти, стан здоров'я населення м. Запоріжжя формувався під довготривалим впливом суттєвого забруднення атмосферного повітря з систематичним перевищенням ГДК забруднювальних речовин в повітрі. За даними [4], концентрація бенз(а)пірену з 2014 р. перевищувала значення середньодобової ГДК до 9,7 разів у Заводському

районі, до 8,9 разів в Вознесенівському районі, до 6,2 разів в Комунарському районі, до 2,4 разів у Дніпровському районі.

В 2020 р. зафіксовано перевищення рекомендованих Всесвітньою організацією охорони здоров'я безпечних концентрацій дрібнодисперсного пилу PM_{2,5} та дрібнодисперсного пилу PM₁₀; перевищення гігієнічних нормативів в атмосфері Запоріжжя за такими речовинами як сірковуглець (42,2%), сірководень (40,5%), фенол (24% відхилень від загальної кількості проб), формальдегід (10,3%), оксид вуглецю (3,7%), ароматичні вуглеводи (1,9%) [5]. Найбільше забруднення атмосферного повітря спостерігалось в Заводському, Шевченківському, Дніпровському, Вознесенівському та Олександрівському районах міста. В 2022 р. якість атмосферного повітря житлових районів суттєво погіршилася, особливо в Шевченківському районі.

В атмосферному повітрі Запоріжжя міститься близько 80 поллютантів, з них біля 50 пріоритетних забруднювальних речовин та 17 канцерогенів [6]. Найпоширенішими шкідливими речовинами в повітрі міста є фенол, двоокис азоту, формальдегід, окис азоту, пил; практично кожного року для них спостерігається перевищення ГДК / гігієнічних нормативів. Рівень забруднення атмосферного повітря міста за оцінкою потенційного ризику для здоров'я населення відповідає 3-му класу небезпеки – значний ризик для здоров'я.

Дослідження, проведені в м. Запоріжжя показали, що відносний ризик для захворюваності й розповсюдженості хвороб у дорослих як при високому, так і при помірному рівні виробництва, вірогідно вищий, ніж у дітей (1,98-2,04 та 2,39-2,56 умовн. од. відповідно). Авторами встановлено, що найбільш сильний вплив на розвиток хвороб органів дихання у дорослих мають діоксид марганцю (D-55,1; $p < 0,05$), кобальт та його сполуки (D-49,8; $p < 0,05$), ацетон (D-49,5; $p < 0,05$), бенз(а)пірен (D-48,6; $p < 0,05$), бутилацетат (D-48,6; $p < 0,05$), у дітей – бензол (D-45,7; $p < 0,05$), діоксид марганцю (D-40,6; $p < 0,05$) та інші забруднювальні речовини [7].

Однією з характеристик забруднення атмосферного повітря є рівень радіації. В 2020-2021 р. спостереження за потужністю експозиційної дози гамма-випромінювання здійснювалися на 7 метеорологічних станціях, розташованих в м. Запоріжжя, м. Мелітополь, м. Гуляйполе, м. Бердянськ, смт. Пришиб, с. Семенівка Пологівського району, с. Ботієве Приазовського району. За даними спостережень, радіаційний стан залишався стабільним (10-14 мкр/год).

Запорізька АЕС є найбільшою атомною електростанцією в Європі та третьою в світі за сукупною потужністю. Практично з початку воєнних дій на території України ЗАЕС працює з ризиком порушення норм радіаційної та пожежної безпеки. Наслідки припинення охолодження ядерного палива

та обстріл сховища відпрацьованого ядерного палива викликають високий ризик масштабного викиду радіоактивних та хімічних речовин в атмосферу, що може значно перевищити наслідки аварій на Чорнобильській АЕС та Фукусімській АЕС [8]. В машинних залах енергоблоків № 1 та № 2 розміщена війська техніка зі зброєю та вибухівкою, що є фактичним мінуванням енергоблоків; замінована берегова лінія ЗАЕС за лінією ставка-охолоджувача і прилеглого берега Каховського водосховища [9]. В ЗМІ регулярно оприлюднюються відомості щодо небезпечних ситуацій на ЗАЕС. Наприклад, за інформацією Енергоатома від 29.09.2022 р. на периметрі станції стався черговий вибух на лінії подачі напруги на азотно-кисневу станцію від енергоблоку № 6, в результаті якого сталося замикання одного з трансформаторів напруги.

В 2022 р. Запорізький обласний центр контролю та профілактики хвороб МОЗ України здійснював оцінювання рівня радіації за даними вимірювань у м. Запоріжжя, м. Енергодар, м. Кам'янка-Дніпровська, м. Оріхів, м. Вільнянськ, м. Василівка, смт. Новомиколаївка, смт. Михайлівка. Відповідно до результатів щоденних вимірювань радіаційний фон з початку воєнних дій є таким, що не перевищує властивий для цих територій природний фон.

В регіоні проводиться регулярне інформування населення щодо результатів моніторингу стану повітряного середовища із залученням ЗМІ та мережі Інтернет. Оприлюднення інформації щодо речовин, за якими зареєстровано перевищення максимально разової ГДК здійснюється Виконавчим комітетом Запорізької міської ради та Запорізьким обласним центром з гідрометеорології на офіційному сайті Запорізької міської ради щоденно. Інформація щодо середньої за місяць концентрації забруднювальних речовин за постами спостережень (в кратності ГДК) надається Запорізьким обласним центром з гідрометеорології на офіційному сайті Запорізького обласного центру з гідрометеорології щомісяця. Запорізький обласний центр з гідрометеорології надає інформацію про щоденні середньодобові концентрації забруднювальних речовин в атмосферному повітрі для оприлюднення на офіційному сайті Міндовкілля України terg.gov.ua. Проводиться регулярне оприлюднення інформації на офіційних сайтах та соціальних мережах щодо рівня радіаційного фону.

В регіоні постійно здійснюються зусилля щодо налагодження спільних дій стейкхолдерів щодо забруднення та охорони атмосферного повітря. Для вирішення проблеми забруднення атмосферного повітря міста укладено Меморандум про спільні дії Запорізької міської ради та промислових підприємств (ПАТ «Запоріжсталь», ПрАТ «Запоріжжкокс», ПрАТ «Запоріжвогнетрив», ТОВ «Запорізький ливарно-механічний завод») у сфері покращення стану довкілля м. Запоріжжя. Меморандум передба-

чає виконання 8 природоохоронних заходів, спрямованих на скорочення обсягів викидів забруднювальних речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел із очікуваним загальним зниженням викидів на 171,13 т/рік [10].

В 2020 р. між Запорізькою міською радою та 23 промисловими підприємствами міста укладено Угоду про спільні дії у сфері покращення стану довкілля, що передбачає виконання 49 природоохоронних заходів, спрямованих на скорочення викидів забруднювальних речовин від стаціонарних джерел із очікуваним загальним зниженням викидів на 765,3 т/рік.

З 2019 р. працює комісія з моніторингу стану та охорони атмосферного повітря м. Запоріжжя. Здійснюється перевірка природоохоронних заходів, які підприємства проводять відповідно до виданих дозволів на викиди забруднювальних речовин в атмосферу, відсоток та терміни їх виконання; дій щодо скорочення викидів в атмосферу під час несприятливих погодних умов; ефективності роботи пило-, газоочисного обладнання на джерелах викидів забруднювальних речовин; користування автотранспортом [11]. Державний моніторинг у галузі охорони атмосферного повітря та управління якістю атмосферного повітря здійснюється з 2020 р. консолідованими зусиллями представників органів виконавчої влади, депутатського корпусу, науковців-екологів, представників основних промислових підприємств, обласного лабораторного центру МОЗ та інших державних і комунальних установ, сфера діяльності яких стосується питання захисту атмосферного повітря. В 2021 р. Головою обласної адміністрації було підписано розпорядження про створення комісії з питань державного моніторингу та охорони атмосферного повітря; до складу комісії увійшли державні службовці, науковці, екоактивісти, представники промислових підприємств (ПАТ «Запоріжсталь», ПрАТ «Запоріжжкокс», ПрАТ «Укрграфіт», ПрАТ «Запоріжбразив», АТ «Запорізький завод феросплавів», ЗТЕЦ, ЗАЕС), депутати обласної ради, представники лабораторного центру МОЗ України, Держпродспоживслужби та обласного центру з гідрометеорології.

В 2021 р. розроблені програми державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря зони «Запорізька» та агломерації «Запоріжжя». Ці програми є рамковими документами, що визначають стратегію і тактику державного моніторингу атмосферного повітря та можуть переглядатися, корегуватися, доповнюватися новими масивами інформації, організаційними заходами тощо.

Наразі управління з питань екологічної безпеки міської ради готує проєкт розпорядження міського голови про затвердження складу робочої групи по вирішенню питань покращення атмосферного повітря м. Запоріжжя.

Головні висновки. Питання покращення якості атмосферного повітря зони «Запорізька» та агломерації «Запоріжжя» залишається актуальним на протязі довгого часу. За рік обсяг викидів забруднювальних речовин від стаціонарних джерел в атмосферне повітря Запорізької зони склали близько 90,8 тис.т, м. Запоріжжя – близько 64,7 тис. т. Фіксується стабільне перевищення ГДК фенолу, двоокису азоту, формальдегіду в атмосферному повітрі, рівень твердих часток перевищує рекомендовані ВООЗ середньодобові концентрації дрібнодисперсного пилу. Військові дії загострили існуючі загрози забруд-

нення атмосферного повітря, зокрема внаслідок можливої радіаційної катастрофи та створив нові виклики для здійснення моніторингу стану забруднення атмосферного повітря та управління його якістю. В регіоні ведуться роботи по удосконаленню діючої системи моніторингу та її адаптації до загроз, які виникають під час воєнного стану. При цьому особливу увагу слід приділяти моніторингу рівня радіації, враховуючи не лише значення гама-фону, але і іонізуюче випромінювання за окремими радіоактивними елементами, що визначає перспективи подальших досліджень.

Література

1. Air pollution mapping with nitrogen and sulfur dioxides in the South-Eastern part of Ukraine using satellite data / Stankevich Sergey, Titarenko Olga, Mykhailo Svideniuk and others. *Mining Science*. 2016. Vol. 23. P. 21–31.
2. Сучасний стан атмосферного повітря міста Запоріжжя та його вплив на здоров'я населення / Гришко С. В., Непша Я. Ю., Стегареску Х. І. *Здоров'я та суспільство: Матеріали II Всеукраїнської наук.-практ. конф.* (Кропивницький, 5 листопада 2020 р.). Кропивницький, 2020. – С. 24-30.
3. Белоконь К.В., Пірогова І.М. Аналіз та оцінка рівня забруднення атмосферного повітря м. Запоріжжя. *Збірник наукових праць ДДТУ*. 2021. № 1(38). С. 149-158.
4. Пірогова І.М., Рильський О.Ф. Проблема регулювання якості повітря м. Запоріжжя при несприятливих метеоумовах. *Молодий вчений*. 2020. № 7 (83). С. 128-132.
5. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища Запорізької області у 2020 році. Запоріжжя, 2021. URL: <https://mepr.gov.ua/files/docs/EkoMonitoring/2021/regional/%D0%A0%D0%B5%D0%B3%D1%96%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%20%D0%B4%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D1%96%D0%B4%D1%8C%D0%B7%D0%B0%2020%D0%97%D0%B0%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%96%D0%B7%D1%8C%D0%BA%D0%B0%20%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8C.pdf> (дата звернення 07.09.2022).
6. Турос О.І., Петросян А.А. Охорона атмосферного повітря. Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря. URL: <https://mepr.gov.ua/files/08092021/o-turos-dea.pdf> (дата звернення 07.09.2022).
7. Гребняк М.П., Федорченко Р.А. Закономірності формування забруднення атмосферного повітря та детермінація впливу на здоров'я населення. *Еко Форум – 2018* : збірник тез доповідей II спеціалізованого міжнар. Запорізького екологічного форуму (Запоріжжя, 30 травня – 1 червня 2018 р.). Запоріжжя: Запорізька міська рада, Запорізька торгово-промислова палата, 2018. – С. 8-10.
8. Щигельська Г., Боднар В. Загрози надзвичайних ситуацій на атомних електростанціях в умовах нового етапу російсько-української війни. *Воєнні конфлікти та техногенні катастрофи: історичні та психологічні наслідки*: II Міжнародна наукова конференція (Тернопіль, 21 – 22 квітня 2022 р.), Тернопіль, 2022. – С. 99-101.
9. Російські військові обстрілюють ЗАЕС, щоб знищити її інфраструктуру та відімкнути від енергосистеми України. URL: <https://www.energoatom.com.ua/o-0608221.html> (дата звернення 07.09.2022).
10. Моніторинг виконання Стратегії розвитку до 2028 року та I етапу Плану заходів з її реалізації за підсумками 2018-2020 років. Запоріжжя, 2021. URL: https://zp.gov.ua/upload/editor/zvit_strategii_rozvitku_zaporizhzhya_ta_planu_zahodiv_z_ii_realizacii_2018-2020_roki.pdf (дата звернення 07.09.2022).
11. Міська комісія здійснює моніторинг охорони атмосферного повітря. URL: <https://zp.gov.ua/uk/articles/item/6869/miska-komisiya-zdiysnyue-monitoring-ohoroni-atmosferного-povitrya> (дата звернення 07.09.2022).

ГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ УПРАВЛІННЯ МОНІТОРИНГОМ СКЛАДНИХ ТЕХНОГЕННИХ СИСТЕМ ЗАСОБАМИ БПЛА-КАРТОГРАФІЇ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

Шевченко Р.Ю.

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

Досліджено ефективність геоінформаційного управління, що ґрунтується на засадах географічного та картографічного вивчення території, перманентних космічних та аерофотозйомки матеріалів, даних польових рекогносцирувальних експедицій. У складних техногенних системах : критична інфраструктура промисловості, транспортне сполучення та зв'язок, інженерні системи забезпечення безпеки життєдіяльності, а також комп'ютерні оптико-волоконні мережі, національні сервери, хмари даних геодезичної інформації високоточних вимірювань, бібліотеки, банки та бази даних зберігання таємної державної та військової геоінформації. Під час війни це найбільш вразливі для ворога компоненти безпеки держави. Тому оптимальною технологією моніторингу складних техногенних систем є засоби БПЛА-картографування та геоінформаційного управління сигнатурами цифрової геоінформації для її акумулювання, зберігання та шифрування на час бойових дій.

Для забезпечення оперативної реалізації моніторингу руйнування природного та техногенного ландшафтів України розроблені спеціалізовані технологічні схеми проведення еколого-топографічної аерофотозйомки промислових майданчиків найбільш небезпечних промислових об'єктів України – атомних електростанцій. Визначені три основні композиційні маршрути планування знімального коридору та колони, що отримало назву авіа(аеро)кільватера. Складений проєкт трьох основних маршрутних ліній, азимутальних галсів, геодезичних ліній безперебійного та безперешкодного знімання поточних змін стану техногенного ландшафту. Це прийоми одночасного повороту, послідовних поворотів, заняття референтно-індикативної позиції у найкоротший термін під час активних бойових дій (обстрілів). Перша методика найбільш зручна та безпечна в хмарну погоду, коли не має істотних опадів та мала видимість. Ідентифікація флоту БПЛА забезпечується GPS-навігацією із паралельним геокартографічним управлінням у ГІС-середовищі. Методика послідовних поворотних знімань тактично виправдана на щільно забудованих територіях промислових агломерацій. Спеціальна методика квадрокоптерного зйомки розроблена на час активних обстрілів та оперативного еколого-техногенного геоінформаційного управління та картографування. Вона також застосовується винятково військовими для потреб координування цілей противника. Запропонована методика представлена демонстраційно-технічними схемами організації польотного вивчення довкілля.

Розроблений математичний апарат для забезпечення та функціонування роботи технологічних схем аерорекогносцирування об'єктів інфраструктури складних техногенних систем, наголошено на векторно-алгебраїчних функціях розрахунку швидкісно-просторових значень геолокалізації безпечного аеророзташування флоту квадрокоптерів.

У праці представлені авторські світлини унікального висотного фундаментального репера Державної геодезичної мережі України «Хотин» із ексклюзивним лазерним відбивачем, що застосовується в спеціалізованому геоінформаційному управлінні рухом моніторингового БПЛА-флоту для потреб фіксації екологічних злочинів країни-агресорки. Прив'язка геопросторових даних до даного вихідного референтного пункту дає змогу укладання високоточних оціночних геоінформаційних карт екологічних небезпек від бойових дій на території України. *Ключові слова:* геоінформаційне управління, аерокільватер, БПЛА, складні техногенні системи, екологічний стан, довкілля.

Geoinformation management of the monitoring of complex technological systems using UAV-cartography in the conditions of the state of War. Shevchenko R.

Geoinformation management is based on the principles of geographic and cartographic study of the territory, permanent Space and aerial photography materials, data of field reconnaissance expeditions. Complex man-made systems include: critical infrastructure of industry, transportation and communication, life safety engineering systems, as well as computer fiber optic networks, national servers, data clouds of geodetic information of high precision measurements, libraries, banks and databases of secret storage state and military geoinformation. During the war, these are the most vulnerable components of the state's security to the enemy. Therefore, the optimal technology for monitoring complex man-made systems is the means of UAV-mapping and geoinformation management of digital geo-information signatures for its accumulation, storage and encryption during hostilities.

To ensure the operational implementation of monitoring the destruction of natural and man-made landscapes of Ukraine, specialized technological schemes have been developed for carrying out ecological and topographical aerial photography of industrial sites of the most dangerous industrial facilities of Ukraine – nuclear power plants. Three main composite routes for the planning of the shooting corridor and convoy, which was named the air (aero) wake, were determined. The compiled project of three main route lines, azimuthal bearings, geodetic lines for uninterrupted and unobstructed filming of current changes in the state of the man-made landscape. These are techniques of simultaneous turning, successive turning, taking a reference-indicative position in the shortest possible time during active combat operations (strikes). The first method is the most convenient and safe in cloudy weather, when there is no significant precipitation and low visibility. The visibility of the UAV fleet is provided by GPS-navigation with parallel geocartographic control in the GIS environment. The method of consecutive rotary shooting is tactically justified in densely built-up areas of industrial agglomerations. A special technique of quadcopter filming was developed for the time of active shelling and operational ecological

and technogenic geoinformation management and mapping. It is also used exclusively by the military for the needs of coordinating enemy targets. The proposed technique is presented as a demonstration of technical schemes for the organization of flight searches of the environment.

The mathematical apparatus for ensuring and functioning of technological schemes of aerial reconnaissance of infrastructure objects of complex man-made systems has been developed. Emphasis is placed on the vector-algebraic functions of calculating the speed-space values of geolocalization of the safe aerial location of the fleet of quadcopters.

The work presents the author's photos of the unique high-altitude fundamental rapper of the State Geodetic Network of Ukraine «Khotyn» with an exclusive laser reflector, which is used in the specialized geo-informational control of the movement of the monitoring UAV fleet for the needs of recording environmental crimes of state-aggressors. Linking geospatial data to this initial reference point makes it possible to compile highly accurate geoinformational maps of environmental hazards of hostilities on the territory of Ukraine. *Key words:* geoinformation management, air wake, UAV, complex man-made systems, ecological state, environment.

Постановка проблеми. Україна знаходиться у війні із найбільшою країною у світі, внаслідок її зухвалого нападу. Але незважаючи на різні фактори військово-технічного оснащення ворога, вітчизняні технології БПЛА-картографії мають перевагу у контексті визначення ступенів нанесеної шкоди країною-агресоркою навколишньому природному середовищу, несанкціонованій зміні та руйнації техногенного ландшафту, трансформації та насильницької зміні структури роботи інфраструктури складних промислових комплексів нашої держави. Важливою науковою проблемою на сьогодні є розробка технологічних схем організації дистанційного зондування та аерофотозйомки із безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та запровадження геоінформаційного управління складними техногенними системами в умовах надзвичайної ситуації воєнного характеру.

Актуальність дослідження. Технології геоінформаційного управління є наступним етапом еволюції експертних геоінтелектуальних систем прийняття екологічних рішень в Україні. Під час війни дистанційні методи моніторингу довкілля, в поєднанні із картогеоінформаційними системами фіксації, моніторингу та контролю, – це один з пріоритетних напрямків розвитку національної системи оборони.

БПЛА-картографування застосовується для цифрового геоінформаційного знімання у масштабі ряди 1 : 500 – 1 : 2000. Відповідна мірильна класифікація найбільш апробована для складання цифрових планів промислових майданчиків при надзвичайних ситуаціях техногенного характеру. Під час активних бойових дій відповідний картоінформаційний класифікатор найбільш технічно апробується в локальній аерофотозйомці атомних електростанцій, зруйнованих об'єктів транспортної інфраструктури, критичних модулів державної оптико-волоконної мережі, картографуванні опорних споруд Державної геодезичної мережі України тощо.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження кореспондується із Державною програмою моніторингу нанесеної шкоди навколишньому природному середовищу, біорізноманіттю та техногенному ландшафту, соціально-економічній інфраструктурі України державою, що є спон-

сором тероризму на території Східної Європи [4]. Практичною реалізацією роботи постає картографічне та геоінформаційне документування екологічних злочинів на території України, акумуляція та накопичення аерофотознімальних фотограмметричних геопросторових даних у ГІС про екоруйнування та їх наслідки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питаннями екологічної фотограмметрії та використання даних дистанційного зондування малих ділянок займалися в різний час професори: Р. Тукай, О. Дорожинський, Р. Рудий (Україна); Anna Bentkowska-Kafel (Хорватія) та Lindsay MacDonald (США). Вітчизняними вченими для потреб цивільного геоінформаційного управління складними техногенними системами обґрунтовані методики моделювання геозображень у вигляді двовимірних локальних поліноміальних сплайнів на основі В-спланів другого-шостого порядків, які близькі до інтерполяційних у середньому [2]. Реалізовані дослідження із застосування лінійних операторів на основі спеціальних моделей для обробки цифрових даних аерофотозйомки (на прикладі вирішення задачі навігації літального апарату із застосуванням оптичного каналу [1]).

Кафедра екологічного моніторингу та геоінформаційних технологій ДЕА також має низку наукових напрацювань з питань рубрикації завдань екологічного моніторингу засобами БПЛА, аеро- та космічного знімання, а також обробки даних в середовищі геоінформаційних систем (геопортал ПЗФ України: www.gis.dea.edu.ua/portal/home/) [3].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячена означена стаття. Вищезазначені дослідження зовсім не адаптовані для реалізації в умовах воєнного стану. Тому мета праці – висвітлити нові схеми геоінформаційного управління процесом БПЛА-картографування складних техногенних систем в умовах бойових дій, активних фаз (обстріли промислової інфраструктури) та в умовах «закритого неба».

Новизна. Розроблена технологічна схема спеціалізованого аерокільватуру та математичний розрахунок польотів флоту БПЛА для потреб геоінформаційного управління та оціночного картографування наслідків бойових дій на об'єктах критичної інфра-

структури та складних техногенних систем.

Апробація відповідної методики була проведена на полігоні підготовки пілотів малої авіації та безпілотних літальних апаратів тренувальної бази окремого батальйону спеціального призначення «Азов» в Оболонському районі м. Києва. На основі математичного апарату геоінформаційного моделювання аеролокалізації безпілотних малих повітряних суден, створена модель програми-тренажера для керування симуляційним польотом флоту БПЛА декількома пілотами.

Методологічне або загальнонаукове значення. Розроблені наукові та методичні засади геоінформаційного управління складними техногенними системами, їх дистанційний моніторинг за допомогою прийомів, засобів та методів БПЛА-картографії під час надзвичайного воєнного стану. Для української екологічної фотограмметрії та геоінформатики відповідне дослідження є необхідним для найшвидшого впровадження до системи державного екологічного моніторингу зруйнованих природних та антропогенно-промислових (техногенних) ландшафтів. Для методології військової географії та картографії, зазначені вишукування вирішують поточні проблеми математичної обробки даних фотограмметричних знімків для потреб топографо-геодезичної прив'язки об'єктів місцевості.

Виклад основного матеріалу. Найбільш раціональним методом моніторингу та пошуку зруйнованих/пошкоджених складних техногенних систем території є прийоми геоінформаційної побудови фронтальних теодолітно-пикетажних ходів із променевим прокладенням на електронній топографічній карті, що забезпечуватиме виявлення потенційно-небезпечних джерел забруднення із визначеною ймовірністю.

Укладання управлінського сегмента у середовищі геоінформаційної системи та його функціонування

ініціалізується такими способами: одночасного повороту, послідовних поворотів, заняття референтно-індикативної позиції у найкоротший термін під час активних бойових дій (обстрілів).

Під час реалізації будь-якого вищезазначеного методу геоінформаційного управління та побудови цифрового пикетажного журналу прив'язки зруйнованих або пошкоджених складових інфраструктури складних техногенних систем України, обов'язковим є наявність розгорнутої мережі референтних станцій та індикативних пунктів.

Геоінформаційне управління способом одночасного повороту передбачає обробку даних синхронізованої квадрокоптерної зйомки декількох повітряних коридорів руху БПЛА у вигляді аерокільватеру. Відстань між кільватерними коридорами БПЛА повинна змінюватися, а самі коридори зйомки повинні поетапно трансформуватися в розімкнений коридор авіакільватера. Відстані між коридорами аерофотозйомки повинні бути рівними відстані між ними та симетричними один до одного, що забезпечуватиме безперервність отримання геопросторових даних про наземний техногенний ландшафт у разі виведення з ладу одного з коридору БПЛА-кільватера. Відповідна методика реалізації БПЛА-кільватерії представлена на рис. 1.

Маршрутна лінія AC одночасного повороту колони БПЛА від референтної станції спостереження B повинна бути у розрахунковій відстані від меж пошуку на показник D_1 . Це забезпечуватиме вирівнювання коридору після повороту та зміну швидкості до зазначеної в геоінформаційному пакеті управлінських даних.

Вибудовування в повітрі розімкненого галсового коридору кільватеру повинно закінчуватися до моменту геовізуалізації камери першого коптера на референтну точку A . Референтна точка B – є реперним початком галсової ротації коридору знімання



Рис. 1. Методика БПЛА-зйомки складних техногенних систем за допомогою модулів геоінформаційного управління моніторингом

БПЛА. Відстань початку формування галсового променя у повітрі визначається величиною відстані S на цифровій топографічній карті зони бойових дій та визначається за формулою:

$$S = \frac{(N-1)V_{np}(D-d)}{V_{np} - V_{лр}} \quad (1)$$

де, N – кількість літальних апаратів флоту БПЛА; V_{np} та $V_{лр}$ – швидкості прискореного руху та левітованого руху (руху зависання над об'єктом місцевості); D – відстань між квадрокоптерами в колоні руху; d – відстань між літальними апаратами у знімальному коридорі галсу.

Розглянемо особливості практичної реалізації методики БПЛА-моніторингу складних техногенних систем на прикладі критичної ситуації з ракетними обстрілами промислового майданчику Запорізької АЕС.

Припустимо, що S прокладається в середовищі ГІС від референтної точки A по лінії азимуту курсу руху флоту БПЛА. В результаті чого визначається проєктна точка B , я якій геокартографічними прийомками будується розімкнений коридор аерокільватера. З референтної точки B до точки A флагманський БПЛА прямує прискореним рухом. Інші квадрокоптери рухаються рівномірно та левітують на однаковій один від одного відстані. З часом швидкість руху безпілотників збільшуються або прискорюється. Такі маневрування зменшують появу на цифрових знімках «мертвих зон», «шумів зображення» та спуфінгу (свідомої кібератаки на GPS-сигнал БПЛА з метою спотворення координатних значень об'єктів місцевості). Коли флагманський квадрокоптер досягає співпадіння з висковою лінією та нормаллю у точці A , весь флот БПЛА розгортають датчики сканування та пошуку в різних спектрах ДЗЗ. Для отримання повної геопросторової інформації весь флот безпілотників вирівнюється в лінію AC (рис. 1). Синхронне та асинхронне знімання забезпечуватиме отримання геоданих як за окремими частинами промайданчика, так і за стратегічними та потенційно-небезпечними спорудами АЕС.

Другий прийом геоінформаційного управління моніторингом складних техногенних систем за допомогою БПЛА-технологій – це методика аерофотозйомки способом послідовних поворотів. Принципова схема знімання змінюється наступним чином: флагманський безпілотник та всі наступні апарати повертають на курс коридору знімання в одній точці A . α – це азимутальний кут відхилення квадрокоптера від генерального курсу K_n , який орієнтовно складає 60° . Детально схема аерофотозйомки представлена на рис. 2.

В процесі БПЛА-картографічної зйомки, квадрокоптери з парними номерами повертають праворуч, а з не парними – ліворуч. Квадрокоптер, що повертатиметься першим, летить у більш віддалену

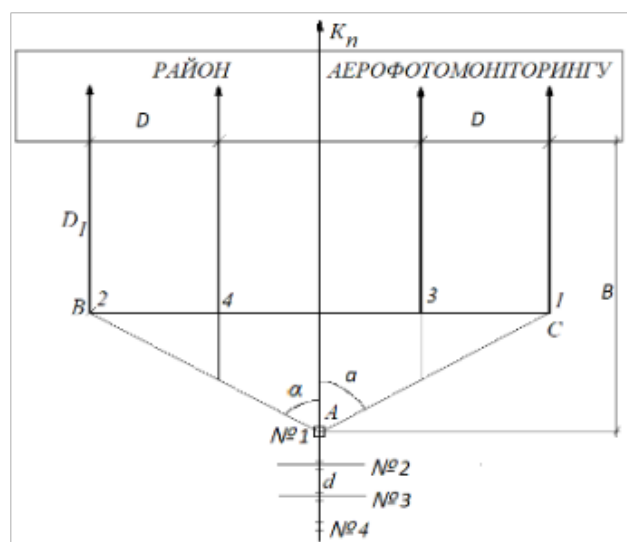


Рис. 2. Методика послідовних поворотів БПЛА-зйомки

позицію коридору аерокільватера. Коли азимут кута повороту безпілотника дорівнює $\alpha = 42^\circ$, генеральна швидкість флоту БПЛА відповідає середньому ходу, а при значенні $\alpha = 60^\circ$ – малій топографічній швидкості. Час маневрування у повітрі під час не активних бойових дій в районі локалізації інфраструктури складних техногенних систем України розраховується за наступними формулами:

$$\text{при азимутальному куті } \alpha = 42^\circ, t = \frac{1,5 \left(D' - \frac{R_u}{2} \right)}{V_{лр}}; \quad (2)$$

$$\text{при азимутальному куті } \alpha = 60^\circ, t = \frac{1,15 (D' - R_u)}{V_{лр}}; \quad (3)$$

де, D' – відстань квадрокоптера в коридорі аерокільватера від середньої точки колони; R_u – радіус циркуляції активної повітряної турбулентності, яка викликана рухом інших повітряних тіл руху, наприклад, ворожих квадрокоптерів або ракетами.

В процесі БПЛА-картографування місцевості, флот безпілотників зависає деякий час над потенційно-небезпечними об'єктами (у так званому «курсі розходження») для потреб зенітно-надірної зйомки. Потім, кожний окремий апарат, самостійно переходить на генеральний азимут курсу моніторингу та виконує завдання цифрового ВІМ-картографування. Швидкість переміщення безпілотника в повітрі повинна бути рівновеликою та дорівнювати генеральній швидкості у відповідності до вимог щодо побудови аерофототріангуляції, прив'язаної до Державної геодезичної мережі. В процесі аерорекогносцирування території виникає необхідність світловіддалекомірної оптично-лазерної прив'язки знімків до висотної (нівелірної) мережі з метою контролю рівнів повітряних коридорів та забезпечення безпеки польоту, а також захисту геопро-

сторової інформації, яка передається онлайн. На рис. 3 представлений аналогово-цифровий репер Державної геодезичної мережі України із вмонтованим лазерним відбивачем.

Необхідно зазначити, що, коли флот безпілотників проходить пікетажну лінію BC (рис. 2), дрони розходяться і вистроюються у повітрі у шаховому порядку. Це забезпечує правильне поздовжнє та поперечне покриття у цифрових зображеннях, а також в їх аналогових фотокопіях, які автоматично зберігатимуться у хмарному геопорталі.

Для забезпечення технологічної правильності передачі геоінформації необхідно дотримуватися квадратичних значень зсуву (зміщення) безпілотників відносно один одного для отримання перманентної одномасштабової інформації. При $\alpha = 42^\circ$, це значення відстані дорівнюватиме 0,75 км. між БПЛА у коридорі аерокільватера, а при значенні $\alpha = 60^\circ$, показник дорівнює 0,5 км. відповідної аеровідстані від базису BC (рис. 2).

Під час польоту безпілотники вирівнюються автоматично командою геоінформаційного модуля управління рухом за азимутом флагманського квадрокоптера і підтримується на відповідному показнику до виходу із аеромоніторингової зони БПЛА-картографування техногенного ландшафту. Відповідне значення максимально критичної відстані відхилення дирекційного кута R від реперної точки A у середовищі ГІС розраховується за формулами:

$$\text{для } \alpha = 42^\circ, R = 0,56 L + D_1 \quad (4)$$

$$\text{для } \alpha = 60^\circ, R = 0,29 L + D_1 \quad (5)$$

де, $L = BC$ – ширина коридору колони БПЛА.

Дана технологія застосовується з астрономо-геодезичної практики при вивченні швидкоплинних об'єктів Глибинного Космосу вченими Південно-Європейської астрономічної обсерваторії у Чилі (Південна Америка).

У практику БПЛА-картографування складних техногенних систем пропонується впровадити гібридний варіант модуля геоінформаційного управління побудови моніторингового аерокільватера наступними геометричними повітряними побудовами БПЛА. Квадрокоптери займають проєктні повітряні позиції у найкоротший термін під час активних бойових дій та обстрілів, коли постає необхідним термінове фотокартографічне документування еколого-техногенних злочинів країни-агресорки у середовищі оперативних ГІС. Цей метод пропонується іменувати – способом заняття референтно-індикативної позиції. На рис. 4 представлена його технологічна схема.

Графічна побудова коридору БПЛА-знімання території техногенного ландшафту способом геоінформаційного управління проєктних моніторингових аеропозицій в найкоротший термін визначається



Рис. 3. Модернізований фундаментальний висотний репер Державної геодезичної мережі України із лазерним відбивачем (м. Хотин, Чернівецька область), світлина автора, серпень 2022 р.

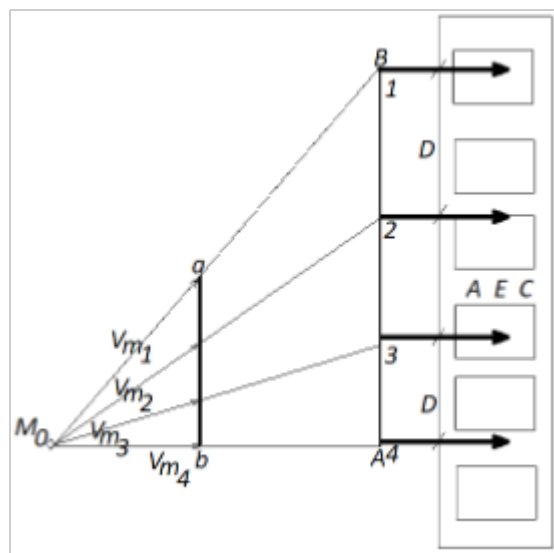


Рис. 4. Геоінформаційне управління аерокільватером БПЛА-картографування території АЕС

наступними параметрами: D – відстані між потенційно-небезпечними об'єктами промислового майданчика АЕС, дирекційна лінія AB , яка на геоінформаційній карті проводиться паралельно межі району

БПЛА-знімання. На ній у ГІС наносяться за GPS-координатами позиції: 1, 2, 3, 4, які повинні зайняти безпілотники, які проводять геопросторову аерофоторозвідку та оперативне еколого-ландшафтне картографування. Призначається точка M_0 – вихідний реперний позиційний пункт. Лінії прокладення, які з'єднують цю точку з призначеними позиціями є дирекційними лініями курсу руху квадракоптерів.

Флагманський безпілотник визначає курс для заняття найбільш віддаленої аерогеолокації та переміщується із максимальною швидкістю V_{m1} . Інші геопросторові показники дронів розраховуються у ГІС АероV2. Це крейсерська швидкість та розрахунок аеропроектних позицій одночасно із флагманським квадракоптером для унеможливлення збиття сегментів флоту ворогом. Для цього, геоінформаційний модуль оперативного управління відкладає на картографічній моделі за курсом флагманського БПЛА вектор швидкості V_{m1} . Він проводиться автоматично у ГІС з кінця лінії ab , яка паралельна геодезичній (дирекційній) лінії AB . Відповідний напрямок визначає курс коридорів аерокільватера для моніторингового знімання за наступними геотраверсами руху (геовекторами): V_{m2} , V_{m3} , V_{m4} . Рухаючись за дирекційними напрямками всі безпілотники займають геодезично правильні, запроектовані у ГІС, аерогеопозиції у повітрі над наземним об'єктом одночасно та реалізують знімально-картографічні дії. Після виконання покладеного завдання, флот дронів повертається на генеральний геодезичний курс, вирівнюється до геотраверсів аерокільватеру та прямує на базу.

Час БПЛА-картографічної сесії розраховується за наступними формулами:

$$\text{для } \alpha = 42^\circ, t = \frac{1,5 \left(D' - d' - \frac{R_q}{2} \right)}{V_{np}} \quad (6)$$

$$\text{для } \alpha = 60^\circ, t = \frac{1,15 \left(D' - d' - R_q \right)}{V_{np}} \quad (7)$$

В технології геоінформаційного управління складними техногенними системами засобами БПЛА-картографування дозволяється зміна дирекційного кута курсу руху моніторингового аерокільватеру наступними способами. Це метод заходження, спосіб двох напівповоротів, пошукового повороту, пошукового повороту із попереднім зміщенням курсу на 180° . Найбільший час для повороту літального апарату флоту БПЛА при обстрілах буде необхідний крайньому квадракоптеру № 1 (рис. 1). Цей час розраховується як сума двох відрізків часу t_1 та t_2 :

$$t_1 = \frac{S_1}{V_n}; t_2 = \frac{S_{p1}}{V_{p1}} \quad (8)$$

де, t_1 – час відльоту квадракоптеру № 1 на лінію повороту; S_1 – геодезична лінія шляху до повороту;

t_2 – час заняття дроном № 1 свого аеромісця у аерокільватері на азимутальному русі; S_{p1} – відносна відстань для визначення свого місця в аерокільватері, який розрахований у координатах конформної рівнокутної проєкції Гауса-Крюгера.

Загальна формула розрахунку допустимого показника зміщення від геодезичного курсу для БПЛА-картографування території АЕС розраховується за наступною формулою, яка адаптована для модулів будь-якої геоінформаційної системи управління:

$$C = 0,5L * \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad (9)$$

де, L – ширина аерокільватера, α – геодезичний азимут повороту.

Висновки. Для потреб геоінформаційного управління складними техногенними системами у військовий час перевага надається технологіям БПЛА-картографії, дистанційним методам моніторингу довкілля, а також механіці та технології квадракоптерного знімання в особливих умовах.

Геоінформаційне управління за допомогою БПЛА включає розрахунок та картографічне визначення авіакільватеру в районі проведення дистанційного моніторингу довкілля. Як правило, вихідні умови для проектування відповідних спеціалізованих аеромаршрутів рекогносцирування місцевості визначаються наступними параметрами: геодезичний азимут, геодезична дистанція від реперних референтних та індикативних станцій, GPS-координати потенційно-небезпечних об'єктів промислового ландшафту, що потребує багатовимірною зондування та крупномасштабного картографування.

Представлені схеми-конструкції трьох основних моделей маршрутних абрисних аерокільватерів для потреб оперативного управління поточною еколого-техногенною ситуацією (наприкладі Запорізької АЕС). Запропоновані варіанти вирішення технічних завдань, а саме: визначення заданої реперної точки стояння, показники спеціального напрямку повороту БПЛА, підліт до проблемної зони місцевості із розрахунком «безпечного часу присутності». Таким чином, розроблені наукові та методичні засади геоінформаційного управління складними техногенними системами під час російсько-української війни.

Перспективи використання результатів дослідження. Розроблена авторська методика апробовується військово-топографічним управлінням Генерального штабу ЗС України та за потреби буде перманентно оновлюватися. Перспективними напрямками є аналіз та розрахунок «стелі» БПЛА-знімання в залежності від географічної широти та довготи, природно-кліматичних умов, часу експлуатації БПЛА при веденні активних бойових дій із застосуванням зброї масового знищення.

Література

1. *Застосування безпілотних авіаційних систем у сфері цивільного захисту: монографія* / Д.В. Бондар, А.В. Гурник, А.О. Литовченко та ін. Київ, 2022, 312 с.
2. *Приставка П.О., Чолишкіна О.Г.* Поліноміальні сплайни в задачі альтернативної навігації за даними аерозйомки. Монографія. Київ: МАУП, 2022. 128 с.
3. *Рубрикатор завдань у сфері екологічного моніторингу за допомогою космічних систем дистанційного зондування землі (ДЗЗ) та географічних інформаційних систем (ГІС).* Нормативно-методичний документ. Київ. 2018. 35 с.
4. *Стрілець Р.* Шкода довкіллю за пів року війни досягла майже 1 трильйона гривень. Київ. 2022. URL: <https://mepr.gov.ua/news/39680.html>

ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ З УТЕПЛЕННЯ БУДІВЕЛЬ З УРАХУВАННЯМ КЛІМАТИЧНИХ УМОВ

Коваленко Ю.Л., Дядін Д.В., Ярчук Д.С.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

вул. Маршала Бажанова 17, 61002, м. Харків

yurii.kovalenko@kname.edu.ua, dmytro.diadin@kname.edu.ua, darya.yarchuk@kname.edu.ua

Виконано порівняльну оцінку втрат тепла протягом опалювального сезону через зовнішні огорожувальні конструкції типових будинків 60-х – 80-х років минулого сторіччя. Розглянуто три характерні варіанти виконання зовнішніх стін: керамзитобетон товщиною 0,25 м; силікатна цегла товщиною 0,38 м; керамічна цегла товщиною 0,38 м. В усіх варіантах стіни вкриті шаром піщано-цементної штукатурки. Також розглянуто різні варіанти застосування найбільш поширених теплоізоляційних матеріалів: екструдованого пінополістиролу, мінеральної вати та резольно-формальдегідного пінопласту. При цьому враховувалися вимоги щодо вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення житлових, громадських і промислових будівель під час проведення нового будівництва, реконструкції, капітального ремонту (термомодернізації). Обґрунтовано оптимальні параметри теплоізоляції з урахуванням кліматичних особливостей регіонів України. Для їх характеристики враховувалися середня температура зовнішнього повітря опалювального сезону та його тривалість. Використовувався показник градусодіб опалювального сезону, визначений виходячи з нормативної температури повітря в середині приміщення 20°C та кліматичної характеристики таких пунктів дислокації об'єктів досліджень: Харків, Київ, Запоріжжя, Одеса, Ялта. Екологічну ефективність в результаті зниження витрат тепла на опалення об'єкта оцінювали шляхом визначення потенційного скорочення кількості викидів парникових газів (CO₂), які утворюються в результаті спалювання палива, за рахунок скорочення витрат теплової енергії. Використовувалися статистичні дані для визначення вуглецевісткості енергетики – середніх питомих викидів CO₂ при виробленні одиниці енергії в країнах Європи. Встановлено, що використання пінополістиролу товщиною 0,04 м для утеплення зовнішніх стін типового житлового 5-ти поверхового, 5-ти секційного будинку із керамзитобетонних плит, забудови 1960-х – 1970-х років, який розташований у північних або північно-східних регіонах України, може зберегти протягом опалювального сезону до 250 000 кВт·год. Потенційне скорочення кількості викидів парникових газів (CO₂) складе до 63 т за сезон. Термін окупності заходу – 2,7 роки. *Ключові слова:* втрати тепла, теплоізоляційні матеріали, енергозбереження, кліматичні умови, викиди, оцінка впливу на довкілля, парникові гази.

Assessment of the energy and environmental efficiency of building insulation measures considering the climate conditions.
Kovalenko Yu., Diadin D., Yarchuk D.

A comparative estimation of heat losses during the heating season through the external envelope of typical houses built around 1960-1980s is carried out. Three typical options of external walls are considered: expanded clay concrete 0.25 m thick; silicate brick 0.38 m thick; ceramic brick 0.38 m thick. In all variants the walls are covered with a layer of sand-cement plaster. Various options for the use of the most common thermal insulation materials are also considered: extruded polystyrene foam, mineral wool and resin-formaldehyde foam. At the same time, the requirements for the choice of thermal insulation material for residential, public and industrial buildings during new construction, reconstruction, overhaul (thermal modernization) were considered. The optimal parameters of thermal insulation are substantiated taking into account the climatic features of the regions of Ukraine. To characterize them, the mean outdoor air temperature and duration of the heating season were taken into account. The heating season degree index was used, determined based on the standard air temperature in the middle of the room 20 °C and the climatic characteristics of the locations of the research objects: Kharkiv, Kyiv, Zaporizhzhia, Odesa, Yalta. The environmental efficiency as a result of reducing the heat consumption for heating the object was estimated by determining the potential reduction in greenhouse gas emissions (CO₂), which are emitted from fuel combustion, by reducing the consumption of thermal energy. Statistical data were used to determine the carbon efficiency of energy – the average specific CO₂ emissions per unit of energy produced in European countries. It was established that the use of polystyrene foam with a thickness of 0.04 m to insulate the external walls of a typical dwelling house 5-story, 5-section building made of expanded clay concrete slabs, built in the 60s-70s of the last century, which is located in the northern or northeastern regions of Ukraine can save up to 250,000 kWh during the heating season. The potential reduction in greenhouse gas (CO₂) emissions will be up to 63 tons per season. The payback period of the event is 2.7 years. *Key words:* heat loss, thermal insulation materials, energy saving, climatic conditions, emissions, environmental impact assessment, greenhouse gases.

Постановка проблеми.

Обмеженість природних ресурсів, зростання антропогенного навантаження, пов'язаного з використанням традиційної енергетики, зумов-

люють актуальність завдання енергозбереження. Підвищення вартості енергоносіїв стимулює розвиток і вдосконалення технологій енергозбереження.

Комунальне господарство є одним із значних споживачів теплової енергії, значна кількість енергоресурсів витрачається на опалення будинків у зимовий період. Зовнішні огорожувальні конструкції типових будинків 60-х – 80-х років минулого сторіччя мають недостатні теплозахисні властивості та потребують заходів із термомодернізації. Розробці оптимальних параметрів термомодернізації зовнішніх огорожувальних конструкцій з урахуванням кліматичних умов їх використання присвячено цю роботу.

Актуальність дослідження.

Загальний потенціал енергозбереження в житлово-комунальному господарстві у пострадянських країнах, в тому числі в Україні, за рахунок скорочення втрат тепла через огорожувальні конструкції житлових і громадських будівель становить не менше 40% [1]. Крім того, енергозбереження має екологічний ефект, пов'язаний зі зниженням рівня негативного впливу на навколишнє середовище в результаті скорочення видобутку, транспортування і спалювання палива [2].

З результатів досліджень потенціалу енергозбереження України, проведених у 2011 році, [3] випливає, що термін окупності заходів по теплоізоляції зовнішніх стін становить в середньому для України 19,9 років. Це означає, що у разі дії чинних у період досліджень тарифних умов пройде ще досить багато часу, перш ніж інвестиції в заходи з енергозбереження окупляться.

У зв'язку з підвищенням тарифів на енергоносії в Україні та світі в період з 2011 по 2022 рік, ситуація істотно змінилася і актуальність заходів з енергозбереження істотно зросла.

У Європі в цілому будівельний сектор є найбільшим споживачем енергії, на нього припадає близько 43% загального енергоспоживання та близько 25% викидів парникового газу – діоксиду вуглецю (CO_2). Будівельний сектор пропонує значний потенціал для підвищення енергоефективності завдяки використанню високоефективної ізоляції та енергоефективних систем [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Результати дослідження ефективності термомодернізації фасадів офісних будівель наведено у [5]. Це допомагає зменшити споживання енергії та зменшити викиди CO_2 . Частка зекономленої енергії після реконструкції фасадів різних типів становить від 48-59% до 65-67%.

Утеплення фасадів із застосуванням екструдованого пінополістиролу має найкращі теплові показники за рахунок його вологостійкості та низької теплопровідності [6]. За результатами досліджень [7] має перевагу застосування зовнішньої теплоізоляції але, поряд з цим, в роботі запропоновані технології застосування внутрішньої теплоізоляції. Для формування математичної моделі розрахунку тепловтрат об'єктів використовуються традиційні методики теплотехнічних розрахунків і нормативні

значення теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій [8, 9, 10].

Авторами [11] наводиться приклад визначення технологічних параметрів утеплення будівель, необхідних для досягнення нормативного рівня тепловтрат для конкретних конструкцій об'єктів, кліматичних умов та використаних матеріалів.

Викладення основного матеріалу.

Метою даної роботи є обґрунтування вибору матеріалу та товщини шару теплоізоляції з урахуванням кліматичних умов регіонів України, найбільш поширених теплоізоляційних матеріалів та конструктивних параметрів стін типової багатоповерхової житлової забудови 60-х – 70-х років минулого століття. Для досягнення поставленої мети у роботі необхідно вирішити такі завдання:

- розробити методику розрахунку оптимальної товщини шару теплоізоляції з урахуванням кліматичних умов розміщення будівлі, матеріалу та товщини стін будівлі;
- визначити оптимальні параметри теплоізоляції для варіантів об'єкта досліджень;
- виконати їх енергетичну, економічну та екологічну оцінку.

За об'єкт досліджень приймався житловий 5-ти поверховий, 5-ти секційний будинок типової забудови 60-х – 70-х років минулого століття. Вибір об'єкту зумовлений його високим потенціалом енергозбереження та широким розповсюдженням у населених пунктах України та інших країн. Так, наприклад, за даними відкритих джерел статистичної інформації, площа подібних будинків у Києві: «Хрущовка», «Чешка», «464» складає близько 14,1% від загальної площі житлового фонду міста.

Зовнішні стіни будинку мають три характерні варіанти виконання:

- керамзитобетон товщиною 0,25 м;
- силікатна цегла – 0,38 м;
- керамічна цегла – 0,38 м.

Кожний з цих варіантів має шар цементно-піщаної штукатурки товщиною 0,01 м. Загальна площа зовнішніх стін – 2585 м². Об'єкт досліджень підключено до мереж центрального тепlopостачання.

У ході розробки технічних пропозицій враховувалися вимоги [10] щодо вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення житлових, громадських і промислових будівель під час проведення нового будівництва, реконструкції, капітального ремонту (термомодернізації). Виходячи з цього розглянуто варіанти застосування екструдованого пінополістиролу, мінеральної вати та резольно-формальдегідного пінопласту. Товщина шару теплоізоляції для екструдованого пінополістиролу та резольно-формальдегідного пінопласту розглядається, згідно з поширеною номенклатурою в торгівій мережі України, в межах з 0,02 м по 0,1 м; мінеральної вати – з 0,05 м по 0,1 м.

Для оцінки впливу кліматичних умов, характерних для різних регіонів України, розглянуто варіанти

впровадження заходу в Харкові, Києві, Запоріжжі, Одесі та Ялті. Загальний вигляд об'єкта досліджень наведено на рис. 1.

Оптимальна товщина шару теплоізоляції з урахуванням кліматичних умов розміщення будівлі, матеріалу та товщини стін будівлі розраховувалася за методикою, наведеною нижче.

Кількість тепла, що втрачається з будівлі через зовнішні стіни протягом опалювального сезону E , Дж:

$$E = k \cdot F \sum_1^{\Delta t_{\max}} \Delta t_i \cdot \tau_i$$

де: k – коефіцієнт теплопередачі через стіну, Вт/(м² К);

F – площа стін, м²;

Δt_i – значення перепаду температури повітря зовні та в середині приміщення, К;

τ_i – тривалість часового інтервалу, у якому спостерігається перепад температури повітря Δt_i зовні та всередині приміщення, с.

Використовуючи показник градусодіб опалювального сезону (ГДОС), кількість тепла, яке втрачається з будівлі через зовнішні стіни протягом опалювального сезону буде:

$$E = 86400 \cdot k \cdot F \cdot \text{ГДОС}$$

Питомі витрати тепла з будівлі через 1 м² зовнішніх стін протягом опалювального сезону буде:

$$E = 86400 \cdot k \cdot \text{ГДОС}$$

Значення коефіцієнту теплопередачі через стіну k , Вт/(м² К):

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_3} + \frac{h_1}{\lambda_1} + \frac{h_2}{\lambda_2} + \frac{h_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_6}},$$

де: α_3 – коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції, Вт/(м² К);

α_6 – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, Вт/(м² К);

Середні розрахункові значення $\alpha_6 = 8,7$ Вт/(м²·К) $\alpha_3 = 23$ Вт/(м²·К) визначені чинними нормативними документами [10].

h_1 – товщина стіни, м;

h_2 – товщина шару піщано-цементної штукатурки, м;

h_3 – товщина шару теплоізоляції, м;

λ_1 – теплопровідність стіни, Вт/(м·К);

λ_2 – теплопровідність штукатурки, Вт/(м·К);

λ_3 – теплопровідність теплоізоляції, Вт/(м·К).

Довідкові значення теплопровідності будівельних матеріалів, які було використано у розрахунках наведено у таблиці 1.

Значення ГДОС визначені, виходячи з нормативної температури повітря в середині приміщення $t_b = 20^\circ\text{C}$ та кліматичної характеристики обраних пунктів дислокації об'єктів досліджень наведено в таблиці 2.

Приймалися чинні для населення в опалювальному сезоні 2021/2022 тарифи на теплову енергію, що поставляється КП «Київтеплоенерго». Вартість 1 Гкал тепла – 1654,41 грн із ПДВ [12]. Ціни на матеріали та послуги з монтажу теплоізоляційних матеріалів, з урахуванням проведення подальших штукатурних і малярських робіт, приймалися по результатам дослідження ринку будівельних робіт в Україні станом на травень 2022 р.

Враховуючи, що найважливішим моментом для оцінки екологічної ефективності є оцінка скорочення викидів парникових газів, насамперед CO₂ при виробленні енергії, для проведення екологічної оцінки використовувалися статистичні дані [13] для визначення вуглецевмісткості енергетики – середніх питомих викидів CO₂ при виробленні одиниці енергії



Рис. 1. Секційний будинок типової забудови 1960-х – 1970-х років

Таблиця 1

Розрахункові значення теплопровідності будівельних матеріалів

№ з/п	Будівельний матеріал	Теплопровідність, Вт/(м·К)
1	Керамзитобетон на керамзитовому піску густиною 1800 кг/м ³	0,66
2	Цегла силікатна повнотіла на цементно-піщаному розчині	0,7
3	Цегла керамічна порожниста густиною 1400 кг/м ³ (брутто) на цементно-піщаному розчині	0,47
4	Розчин цементно-піщаний густиною 1800 кг/м ³	0,58
5	Екструдований пінополістирол, густина 35 кг/м ³	0,035
6	Мінеральна вата на основі базальтового волокна, густина 100 кг/м ³	0,038
7	Резольно-формальдегідний пінопласт, густина 50 кг/м ³	0,041

Таблиця 2

Значення ГДОС пунктів дислокації об'єктів досліджень

№ з/п	Пункт дислокації об'єкта досліджень	ГДОС
1	Харків	3365
2	Київ	3273
3	Запоріжжя	2938
4	Одеса	2575
5	Ялта	1535

в країнах Європи. Виходячи з цього вважалося, що при виробленні 1 кВт·год енергії в атмосферу потрапляє 250 г CO₂.

Для проведення оцінки енергетичного та екологічного ефекту авторами виконано розрахунки втрат тепла протягом опалювального сезону через зовнішні стіни секції будівлі. Стіни виконано з керамзитобетону товщиною 0,25 м та шару піщано-цемент-

ної штукатурки товщиною 0,01 м. Стіни утеплювали екструдованим пінополістиролом густиною 35 кг/м³. Товщина шару утеплювача змінювалася від 0,02 м до 0,1 м. Розрахунки виконано для кліматичних умов міст Харків, Київ, Запоріжжя, Одеса та Ялта.

На рис. 2 наведено результати дослідження залежності питомих, віднесених до 1 м², тепловтрат протягом опалювального сезону, E, кВт·год, від товщини шару теплоізоляції, h, м, виконаної із екструдованого пінополістиролу для кліматичних умов різних міст України.

На рис. 3 наведено результати дослідження залежності питомої, віднесеної до 1 м², економії тепла, отриманої за рахунок утеплення стіни, протягом опалювального сезону, E, кВт·год від товщини шару теплоізоляції, h, м, виконаної із екструдованого пінополістиролу для кліматичних умов різних міст України.

Очевидно, що по мірі збільшення товщини шару теплоізоляції, також зростає кількість заощадже-

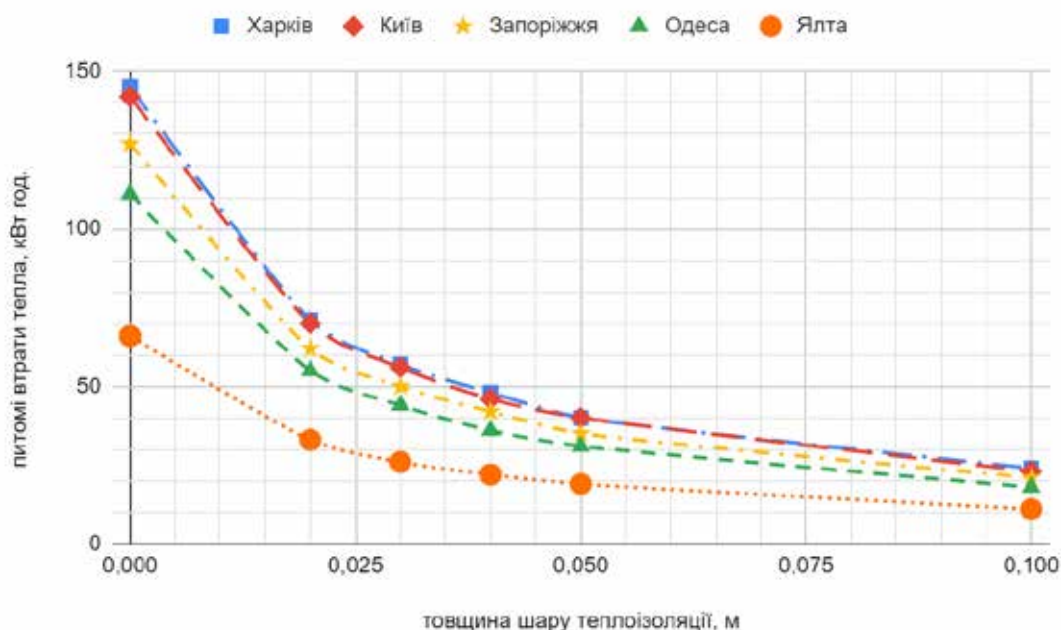


Рис. 2. Залежність питомих тепловтрат від товщини шару теплоізоляції

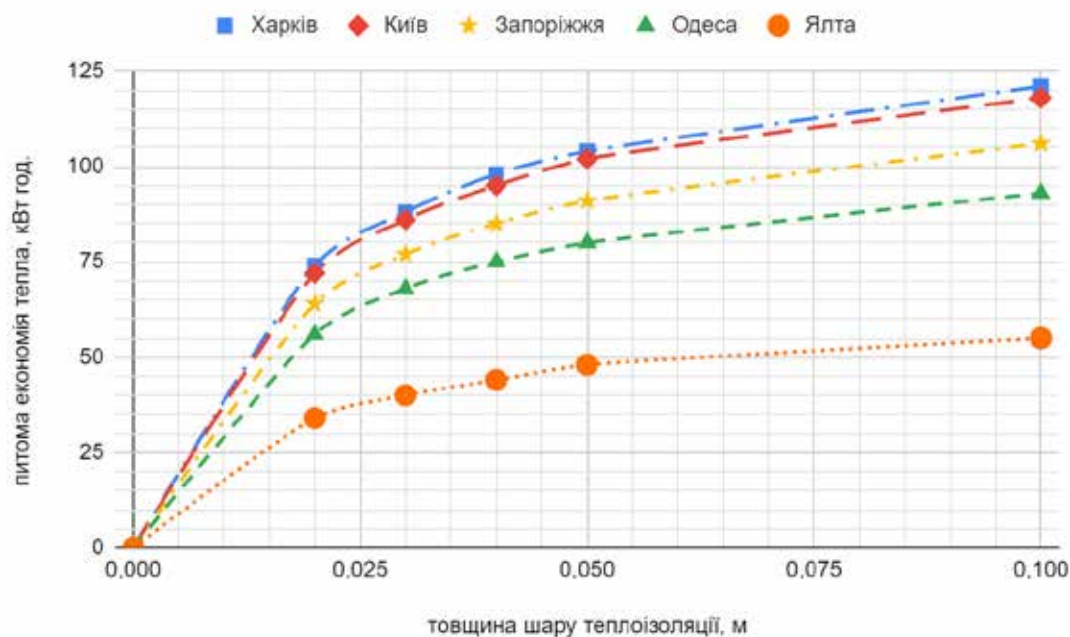


Рис. 3. Залежність питомої економії тепла, отриманої за рахунок утеплення стіни, протягом опалювального сезону, E , кВт·год, від товщини шару теплоізоляції, h , м, виконаної із екструдованого пінополістиролу

ної енергії, поступово наближаючись до величини тепловтрат. Використання пінополістиролу товщиною 0,04 м для утеплення зовнішніх стін із керамзитобетонних плит в кліматичних умовах м. Харків протягом опалювального сезону може скоротити втрати енергії з кожного квадратного метра стіни до 97 кВт·год. У такому випадку, теплоізоляція зовнішніх стін типового житлового 5-ти поверхового, 5-ти секційного будинку із керамзитобетонних плит, забудови 60-х – 70-х років минулого століття дозволить економити протягом опалювального сезону до 250 000 кВт·год.

Одночасно з цим зростає вартість матеріалів та робіт із утеплення стіни. Залежність вартості матеріалів та робіт з утеплення стіни (з урахуванням вартості матеріалів та робіт з монтажу, штукатурки та фарбування) від товщини шару теплоізоляції, виконаної з екструдованого пінополістиролу, мінеральної вати та пінопласту наведено на рис. 4.

На підставі отриманих даних визначено термін окупності заходів з теплоізоляції стін, виготовлених з керамзитобетону товщиною 0,25 м та шару піщано-цементної штукатурки товщиною 0,01 м для різної товщини шару теплоізоляції, h , м, виконаної із екструдованого пінополістиролу для кліматичних умов різних міст України. При цьому враховувалися чинні для населення України в опалювальному сезоні 2021/2022 тарифи на теплову енергію. Результати наведено на рис. 5.

Для стін, виготовлених з керамзитобетону товщиною 0,25 м та шару піщано-цементної штукатурки

товщиною 0,01 м, для кліматичних умов різних міст України, мінімальний термін окупності має теплоізоляція, виконана із екструдованого пінополістиролу товщиною шару близько 0,04 м. Термін окупності скорочується по мірі зростання показника ГДОС. У північних та північно-східних регіонах України, де мають місце мінімальні значення середніх температур зовнішнього повітря протягом опалювального сезону та максимальна його тривалість, термін окупності заходу з теплоізоляції стін складає менше трьох років.

Результати дослідження залежності мінімального терміну окупності теплоізоляції від матеріалу стіни будинку для різних кліматичних умов наведено на рис. 6.

Найбільш пріоритетними є заходи з утеплення стін із керамзитобетону. При утепленні стін із силікатної цегли мінімальний термін окупності навіть у найбільш холодних регіонах України складає близько чотирьох років, а у разі стін з керамічної цегли – шість років. Утеплення стін будинків з керамічної цегли у регіонах, де ГДОС менше, ніж 2100 не ефективно, термін окупності перевищує 10 років.

Результати дослідження залежності мінімального терміну окупності теплоізоляції від товщини її шару для пінополістиролу, мінеральної вати та пінопласту наведено на рис. 7.

Мінімальний термін окупності забезпечує пінополістирол з товщиною 0,04 м, пінопласт – 0,03–0,04 м, мінеральна вата (з урахуванням поширеної номенклатури виробів у торговельній мережі) – 0,05 м.

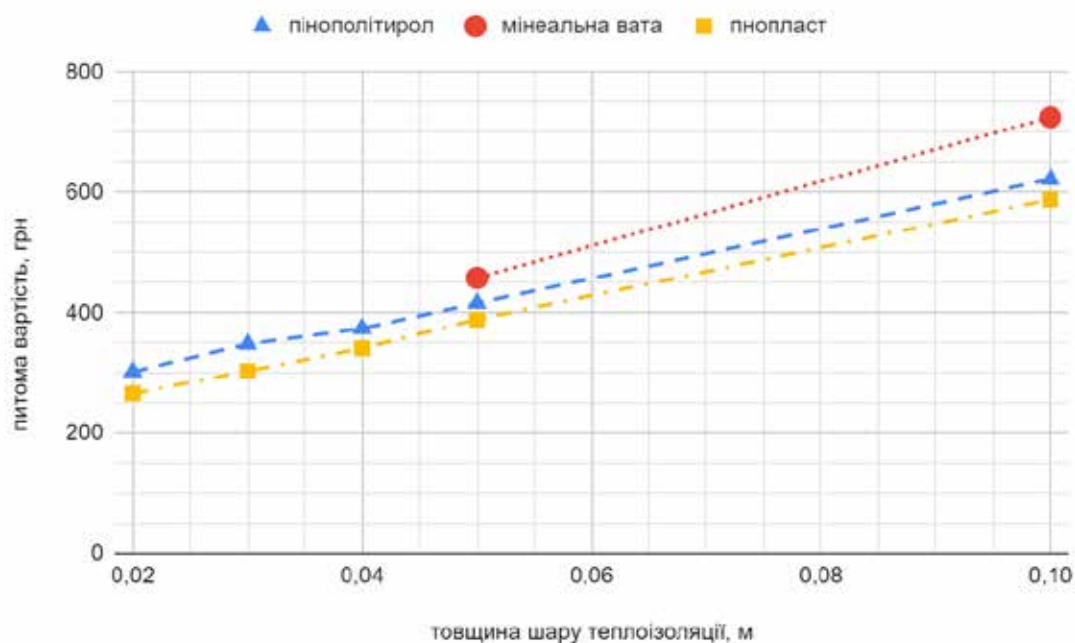


Рис. 4. Залежність вартості матеріалів та робіт з утеплення стіни від товщини шару теплоізоляції, виконаної з екструдованого пінополістиролу, мінеральної вати та пінопласту

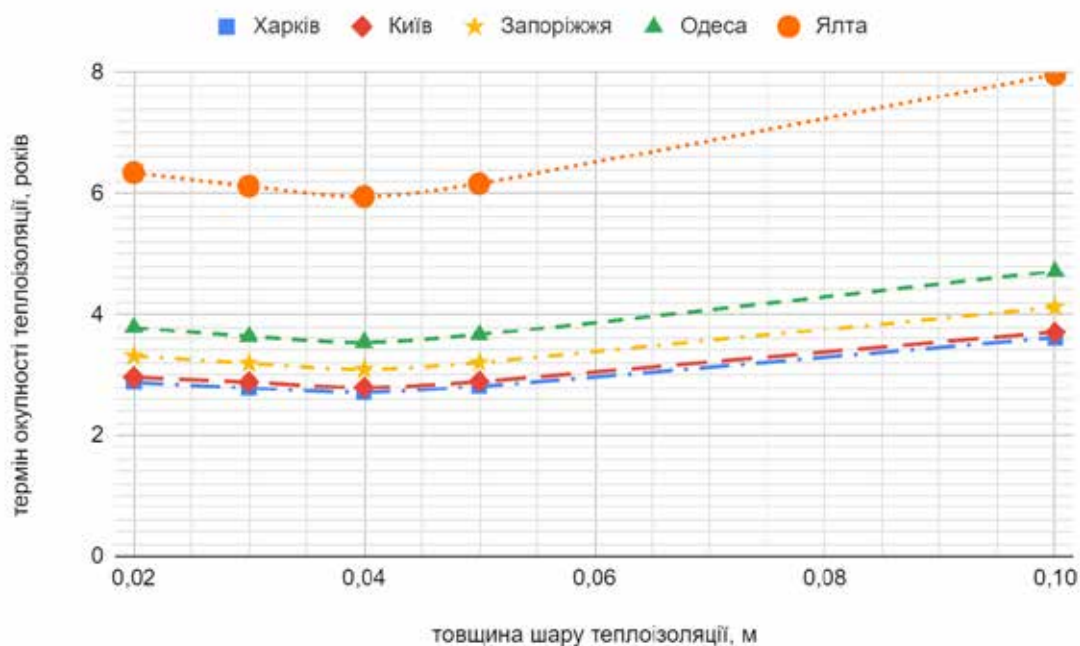


Рис. 5. Залежність терміну окупності теплоізоляції від товщини її шару

Екологічну ефективність у результаті зниження витрат тепла на опалення об'єкта оцінимо шляхом визначення потенційного скорочення кількості викидів парникових газів (CO_2), які утворюються в результаті спалювання палива, за рахунок скорочення витрат теплової енергії.

Використовувалися значення вуглецевмістості енергетики – середніх питомих викидів CO_2 при виробленні одиниці енергії в країнах Європи. Результати дослідження залежності потенційного скорочення кількості викидів парникових газів, в наслідок утеплення зовнішніх стін об'єкта

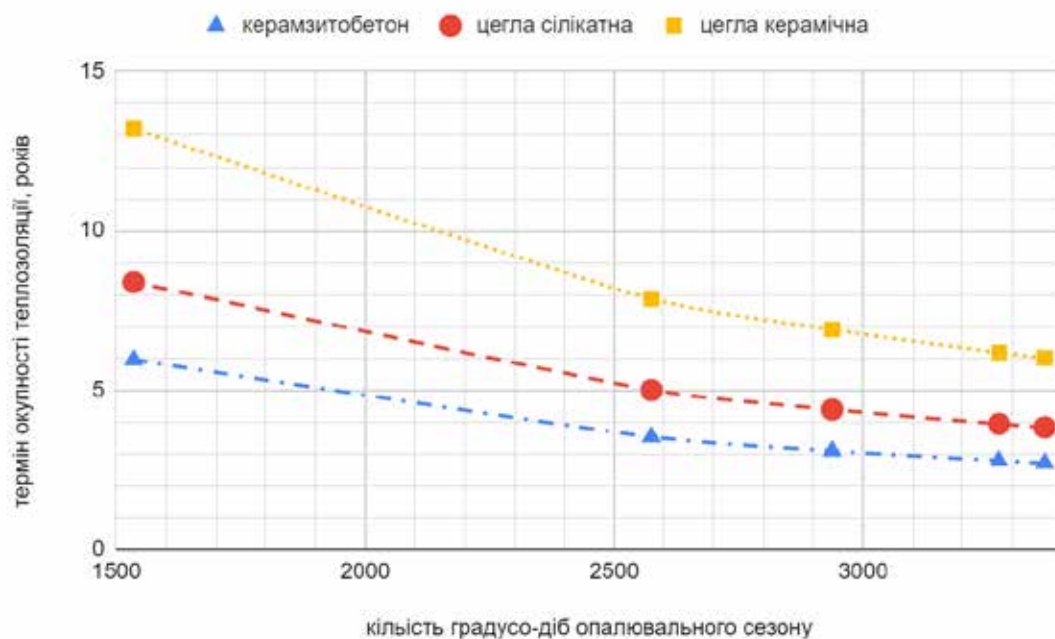


Рис. 6. Результати дослідження залежності мінімального терміну окупності теплоізоляції від матеріалу стіни будинку для різних кліматичних умов

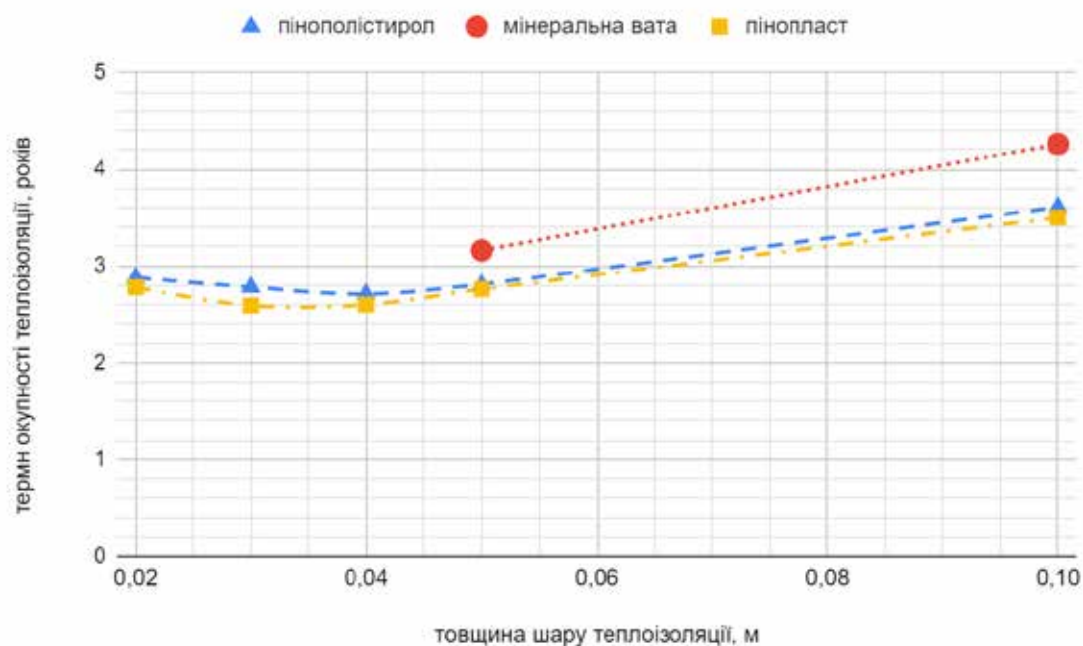


Рис. 7. Результати дослідження залежності мінімального терміну окупності теплоізоляції від товщини її шару для пінополістиролу, мінеральної вати та пінопласту

дослідження пінополістиролом, від кліматичних умов наведено на рис. 8.

Виходячи з цього, потенційне скорочення викидів CO_2 на об'єкті досліджень, у разі його розташування у північних та північно-схід-

них регіонах України, протягом опалювального сезону складе від 28 т до 63 т. Найбільше потенційне скорочення викидів CO_2 має місце при проведенні термомодернізації стін із керамзитобетонних плит.

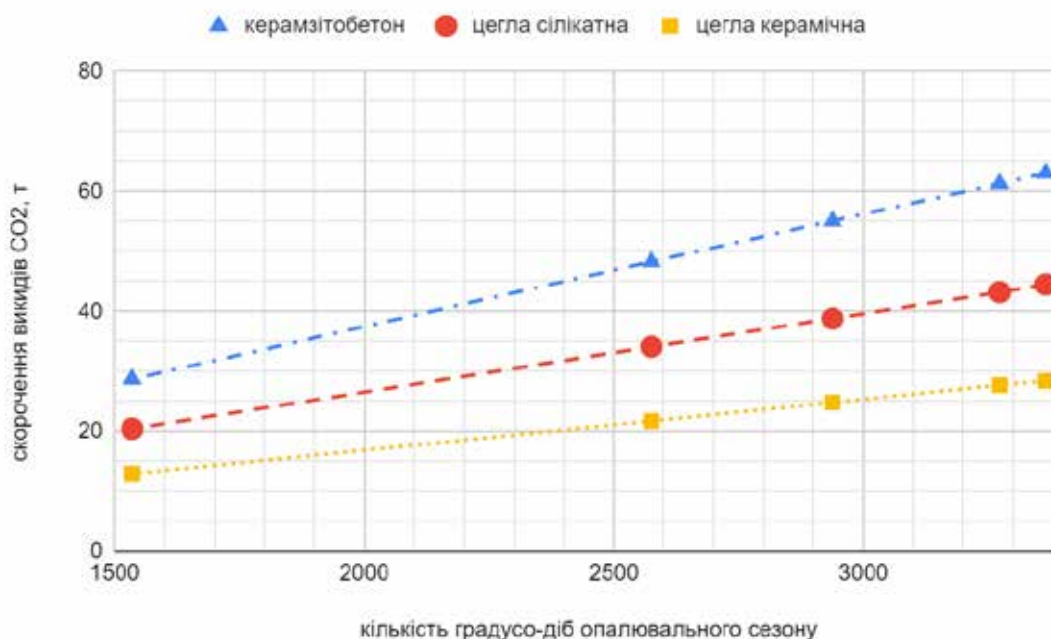


Рис. 8. Результати оцінки впливу на довкілля внаслідок утеплення зовнішніх стін об'єкта дослідження пінополістиролом

Головні висновки.

Наведена методика розрахунку оптимальної товщини шару теплоізоляції з урахуванням кліматичних умов розміщення будівлі, матеріалу та товщини стін будівлі дозволяє визначити оптимальні параметри теплоізоляції для варіантів об'єкта досліджень, виконати їх енергетичну, економічну та екологічну оцінку. Встановлено, що використання пінополістиролу товщиною 0,04 м для утеплення зовнішніх стін типового житлового 5-ти поверхового, 5-ти секційного будинку із керамзитобетонних плит, забудови 60-х – 70-х років минулого століття який розташований у північних або північно-східних регіонах України може зберегти протягом опалювального

сезону до 250 000 кВт·год. Потенційне скорочення кількості викидів парникових газів (CO_2) складе до 63 т за сезон. Термін окупності заходу – 2,7 роки.

Перспективи використання результатів дослідження.

Результати досліджень можуть бути використані будівельними компаніями, організаціями, відповідальними за експлуатацію будинків, приватними особами – власниками будинків у процесі прийняття рішень та виконання робіт з термомодернізації та енергозбереження. Це дасть змогу отримати максимальний позитивний екологічний та енергетичний ефект при мінімальному рівні матеріальних витрат.

Література

1. Овчинников Ю. В., Григорьева О. К., Францева А. А. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учеб. пособие. Изд-во НГТУ, 2015. 258 с.
2. Маляренко В. А., Немировский И. А. Энергосбережение и энергетический аудит: учебн. пособие. Харьков: ХНАГХ, 2008. 253 с.
3. Дослідження ринку – житловий сектор України: правові, регуляторні, інституційні, технічні та фінансові аспекти. Фінальний звіт, підготовлено для ЄБРР. Інститут місцевого розвитку, Worley Parsons, 2011. 223 с. URL: http://tepdydim.mdi.org.ua/static/storage/filesfiles/Market%20Assessment%20Report%20-%20Final_UKR_2011-08-31.pdf (дата звернення 20.09.2022)
4. Ibrahim M., Wurtz E., Biwole P. H., Achard P. Performance evaluation of buildings with advanced thermal insulation system: A numerical study. *Journal of Facade Design and Engineering*. 2016. 4. P. 19–34. DOI: 10.3233/FDE-160048
5. Hannoudi L. A., Christensen J. E., Laurant, M. Façade system for existing office buildings in Copenhagen. *Energy Procedia*. 2015. 78. P. 937–942. DOI: 10.1016/j.egypro.2015.11.023
6. Umnyakova N., Bessonov I., Zhukov A., Zinoveva E. The effectiveness of facade systems. *MATEC Web of Conferences*. 2019. 298, 00013. DOI: 10.1051/mateconf/201929800013
7. Lucchesi F., Svendsen S., Koldtoft K. Internal Insulation of Preservation Worthy Facades. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. 2069 (1), [012084]. DOI: 10.1088/1742-6596/2069/1/012084
8. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. Теплопередача: учебн. для вузов. Москва: Энергия, 1975. 488 с.

9. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. Київ: Мінрегіонбуд, 2017. 30 с.
10. ДСТУ Б В.2.6-189:2013. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. Київ: Мінрегіонбуд, 2014. 55 с.
11. Gamayunova O. Petrichenko M., Musorina T., Gumerova E. Feasibility study of the insulation of the enclosing walls of high-rise buildings. *MATEC Web of Conferences*. 2018. 245, 06006. DOI: 10.1051/mateconf/201824506006
12. Про встановлення тарифів на теплову енергію, виробництво теплової енергії, транспортування теплової енергії, постачання теплової енергії, послуги з постачання теплової енергії і постачання гарячої води для населення комунальному підприємству виконавчого органу київради (київської міської державної адміністрації) «Київтеплоенерго»: розпорядження КМДА від 19.10.2021 № 2176. URL. shorturl.at/hJ247 (дата звернення 19.09.2022)
13. Greenhouse Gas Emission Intensity from Electricity Generation. European Environmental Agency. URL: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/co2-emission-intensity-10#tab-googlechartid_googlechartid_googlechartid_googlechartid_chart_11111 (дата звернення 22.09.2022)

ЕКОЛОГІЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ

УДК 504.45

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.5-44.9>

ЗАСОБИ МАТЕМАТИЧНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

Безсонний В.Л.¹, Пляцук Л.Д.², Третяков О.В.³¹Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця
пр. Науки, 9А, 61166, м. Харків²Сумський державний університет

вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми

³Національний авіаційний університет

пр. Гузара Любомира 1, м. Київ

vitalii.bezsonnyi@hneu.net

Обґрунтовано вибір для математичного прогнозування екологічного стану поверхневих водних об'єктів модель Стрітера-Фелпса та її модифікації (розчинений кисень-біохімічне споживання кисню). Біохімічне споживання кисню є одним з найважливіших критеріїв рівня забрудненості водойми, визначає кількість легкоокислюваних органічних забруднюючих речовин у воді. В умовах відсутності належної лабораторної бази показники розчиненого кисню та біохімічного споживання кисню можна використовувати як інтегральні показники забруднення водойми, відповідно і моделі даного типу є найбільш простими та інформативними, оскільки вони можуть враховувати широкий спектр легкоокислюваних органічних сполук, що знаходяться у воді. Простота вимірювання біохімічної потреби в кисні та розчиненого кисню, наочність та доступність даних роблять цей метод одним з найкращих стандартних методів аналізу якості води. Удосконалена шляхом доповнення коригувальними коефіцієнтами прогнозна модель Стрітера-Фелпса дозволяє з високою точністю прогнозувати екологічні умови водойми та оцінювати вплив техногенно-небезпечних об'єктів на поверхневі води задля потреб екологічного моніторингу та оптимального управління екологічною безпекою басейну поверхневого водного об'єкту. Розраховано параметри k_1 (коефіцієнт біохімічного окислення органічних речовин) та k_2 (коефіцієнт реаерації) моделі Стрітера-Фелпса для водотоку. Враховуючи значення температури на розчинність кисню та на швидкість біохімічних процесів розрахунків параметрів k_1 та k_2 виконано для кожного місяця року. Перевагами проведеного дослідження є можливість оперативної обробки даних моніторингу поверхневих джерел водопостачання. Використана модель дає змогу проводити розрахунки без застосування спеціальних комп'ютерних програм. *Ключові слова:* математичне прогнозування, кисневий режим, біохімічне споживання кисню, розчинений кисень, модель Стрітера-Фелпса.

Means of mathematical forecasting of assessment of ecological condition of surface water objects. Bezsonnyi V., Plyatsuk L., Tretiyakov O.

The choice of Stritter-Phelps model and its modification (dissolved oxygen-biochemical oxygen consumption) for mathematical forecasting of the ecological state of surface water bodies is substantiated. Biochemical oxygen consumption is one of the most important criteria for the level of water pollution, determines the amount of easily oxidizable organic pollutants in water. In the absence of a proper laboratory base indicators of dissolved oxygen and biochemical oxygen consumption can be used and integrated indicators of water pollution, respectively, and models of this type are the simplest and most informative, as they can take into account a wide range of easily oxidizable organic compounds in water. The simplicity of measuring the biochemical oxygen demand and dissolved oxygen, the clarity and the availability of data make this method one of the best standard methods of water quality analysis. The Stritter-Phelps forecast model, improved by adjusting the correction factors, allows to accurately predict the ecological conditions of the reservoir and assess the impact of man-made hazardous objects on surface waters for environmental monitoring and optimal environmental safety management of the surface water body basin. The parameters k_1 (coefficient of biochemical oxidation of organic substances) and k_2 (reactor coefficient) of the Stritter-Phelps model for watercourse were calculated. Taking into account the value of temperature for oxygen solubility and the speed of biochemical processes, the calculation of parameters k_1 and k_2 was performed for each month of the year. The advantages of this study are the ability to quickly process monitoring data of surface water sources. The model used allows calculations to be performed without the use of special computer programs. *Key words:* mathematical forecasting, oxygen regime, biochemical oxygen consumption, dissolved oxygen, Streeter-Phelps model.

Постановка проблеми. Прогнозування є важливою складовою частиною системи планування та управління. В галузі управління водними об'єктами важливе значення мають програма та план роботи, оскільки через них реалізується досягнення прогнозованих результатів. Математичне прогнозування являє собою найбільший науковий інтерес.

Воно полягає в використанні наявної інформації про об'єкт прогнозування, математичної обробки інформації шляхом отримання залежності, що пов'язує характеристики з часом або іншими незалежними змінними, та обрахуванні характеристик об'єкту в заданий момент часу при заданих значеннях інших незалежних змінних. Відмінна якість води є незамін-

ним елементом у забезпеченні сталого розвитку водних ресурсів. Це тісно пов'язано з пунктами 3 (міцне здоров'я та благополуччя), 6 (чиста вода та належні санітарні умови) та 14-го (збереження морських ресурсів) переліку Цілей сталого розвитку ООН [1].

Під дією забруднюючих речовин відбувається порушення природної рівноваги багатоконпонентної системи, якою є природні води. Водний об'єкт «мобілізує сили», що протидіють порушенню природних умов та прагнуть повернути всю систему в початковий стан. Оцінка напрямку та інтенсивності процесу самоочищення вимагає наявності інформації про кількісні характеристики: параметри водного об'єкта, властивості, сполуки і режими надходження забруднюючих воду речовин.

Актуальність дослідження. Сучасний незадовільний стан водних об'єктів показує, що проблеми у сфері охорони вод від забруднення та виснаження не тільки не знайшли вирішення, а й значно загострилися, особливо в останні роки. Відсутність басейнового принципу контролю, управління і відповідальності за стан поверхневих вод призводить до того, що найчастіше основні забруднюючі об'єкти промисловості, що впливають на екологічний стан поверхневих вод, розташовані на території одних областей, а споживання води з цього джерела відбувається на території інших. В цих умовах є актуальним використання математичних інструментів моделювання та прогнозування стану поверхневих вод.

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

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням побудови математичних моделей для прогнозу та оцінки якості річкових вод присвячені сотні публікацій. Зокрема, досить повні огляди наведені у публікаціях [1 – 3]. Моделі якості вод описують просторові та часові зміни досліджуваних компонентів у водному об'єкті, котрі відбуваються в результаті дії фізичного (адвекційного чи дифузійного) переносу, а також хімічних та біологічних реакцій. Але і в тому і в іншому випадках повинна бути відома картина потоків та швидкості течії. Отже, структура моделей якості води визначається трьома компонентами [2]: рівняннями руху; рівняннями переносу; рівняннями процесів реакцій. Усі відомі моделі можна розбити на два класи – оптимізаційні та імітаційні. Перші призначені для визначення оптимальної стратегії господарювання й для вибору оптимального плану водоохоронних заходів. Відповідні математичні моделі дозволяють обґрунтувати різні види платежів і нормативні документи. Вони сприяють виробленню раціональної стратегії із визначеними пріоритетами водоохоронної діяльно-

сті, з точною адресністю фінансових вкладень, певними нормативами й забезпеченням правових і контролюючих функцій [1]. При цьому розгляд ведеться в масштабах цілого регіону, наприклад, басейну ріки або великої його частини. Обґрунтування регіональної стратегії базується на спрощених моделях зміни якості води й методах оптимізації. При всій ефективності оптимізаційних моделей для відбору й аналізу способів управління якістю води, за їх допомогою не можливо точно прогнозувати усі наслідки, які можуть виникнути в результаті вибору будь-якої політики управління. Прикладом подібного роду моделювання можуть служити такі моделі лінійного програмування, як моделі управління якістю води або міжрегіональні моделі [5].

Імітаційні моделі використовуються для одержання довгострокових (перспективних) прогнозів і для оперативного управління водними ресурсами. При оперативному управлінні імітаційні моделі використовуються для прогнозування безпосереднього впливу на стан водного середовища будь-якої події (аварійного скидання забруднюючих речовин тощо). Отримані результати використовуються для вибору екстрених заходів, що забезпечують зниження або повне запобігання збитку від подібних випадків [1].

При побудові математичних моделей стану водного середовища необхідно оцінювати якість води за допомогою однієї або декількох числових величин, тобто провести формалізацію параметра «якість води». Якість природних вод характеризується сукупністю фізичних, хімічних і біологічних показників, що визначають ступінь придатності води для конкретних видів водокористування й охорони навколишнього середовища, що відповідають вимогам [6 – 9]. Воно характеризується складом і кількістю розчинених і зважених у воді речовин, змістом біомаси й мікроорганізмів, температурою й іншими фізичними характеристиками. Дійсне число компонентів екосистеми може бути нескінченно великим, можна виділяти десятки і сотні різних параметрів [10]. Тому індивідуальний облік у моделі кожної з них неможливий і марний. Залежно від характеру завдання та на основі наявних результатів дослідження екосистеми більшою частиною компонентів зневажають. Як правило, реальні методи використовують кілька найпростіших параметрів: розчинений кисень, біологічне споживання кисню, концентрація домішок тощо.

На сьогодні існує досить великий клас моделей якості поверхневих вод, починаючи з перших класичних моделей Фелпса та Стритера [1, 2, 4], що запропонували формули для розрахунку динаміки біохімічної потреби кисню (БПК) і розчиненого кисню (РК), і закінчуючи сучасними програмними розрахунковими комплексами, що детально моделюють основні гідрологічні й гідрохімічні процеси [10 – 12]. Найбільш відомі в цей час наступні моделі якості води: імовірнісна модель для стохастичних

навантажень консервативних забруднювачів; Модель Стритера-Фелпса для потоку РК і БПК; спрощені моделі зважених речовин; моделі мікрзабруднювачів, що враховують абсорбцію й інші процеси [2].

Отримали поширення двокомпонентні моделі якості води, в яких процеси, що формують якість води, оцінюються споживанням кисню (процеси біохімічного окислення органічних сполук) та його надходженням (процес атмосферної аерації).

Модель якості води [2], що описує процеси хімічних реакцій в багатокомпонентних системах, являє собою систему пов'язаних диференціальних рівнянь та містить шість рівнів деталізації взаємодії БСК та РК: а) БСК-РК; б) БСК-РК, включаючи донні відклади органіки; в) БСК-РК, включаючи нітрифікацію; г) БСК-РК, включаючи донні відклади, нітрифікацію та денітрифікацію; д) БСК-РК, включаючи невідкладену та відкладену потребу кисню та донні відклади; е) усі перераховані вище процеси.

В моделюванні якості води відмічаються нові тенденції [2]: повернення до класичних моделей (рівень а), в яких концентрація РК є функцією природних процесів (атмосферна аерація) та розпаду розчиненої органіки. Співвідношення «БСК-РК» на цьому рівні описується класичною моделлю Стритера-Фелпса. Рівняння процесів у моделі Стритера-Фелпса базуються на допущеннях кінетики першого порядку [2, 13], були аналітично розв'язані Фелпсом і Стритером для ділянки ріки, і на сьогодні широко використовуються в розрахунках [2, 13 – 15].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Практично усі відомі методи математичного моделювання присвячені розгляду певної окремої задачі, що характеризує один із аспектів водокористування та управління якістю вод, а математичної моделі, яка б могла бути покладена в основу управління водними ресурсами басейну в цілому, на сьогодні не створено, тому є актуальним вибір та вдосконалення прогностичної математичної моделі, що може бути використана при розробці методів оперативного управління якістю водних ресурсів.

Новизна. Удосконалено двокомпонентну математичну модель динаміки кисневих показників екологічного стану поверхневих вод (модель Стритера – Фелпса), шляхом доповнення її коригувальними коефіцієнтами.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо застосування моделі Стритера-Фелпса для прогнозування екологічного стану р. Сіверський Донець на ділянці, розташованій в Ізюмському районі Харківської області. Екологічний стан басейну р. Сіверський Донець, вплив на нього стічних вод та кисневий режим аналізується в роботах [14 – 15].

Рівняння, що характеризують комплекс процесів, реально впливаючих на якість води, очевидно, досить складні, оскільки зміна концентрації однієї складової буде автоматично впливати на інші, що

обумовлено законом збереження мас. При використанні класичних рівнянь Стритера-Фелпса [2] весь комплекс забруднюючих речовин, що скидаються до річки, оцінюється споживанням кисню та компенсаторним впливом атмосферної аерації.

Концентрація розчиненого у воді кисню є інтегральною величиною, що визначається співвідношенням різноспрямованих фізико-хімічних, гідробіологічних і гідродинамічних процесів, які відбуваються у водному середовищі та на межі розділення «вода-атмосфера» [2].

Рівняння Стритера-Фелпса визначає співвідношення між концентрацією розчиненого кисню і біохімічним споживанням кисню на протязі певного інтервалу часу. При цьому вводяться дві фазові змінні: $C_1 = \text{БСК}$, мг/л; та $C_2 = DO_S - DO$. Тут C_2 – дефіцит кисню, DO_S – гранична концентрація РК у воді (при відсутності відходів), мг/л, DO – концентрація РК у воді в довільний момент часу, мг/л. Рівняння процесів у за схемою Стритера-Фелпса описуються системою рівнянь

$$\frac{dC_1}{dt} = -k_1 \cdot C_1 \quad (1)$$

$$\frac{dC_2}{dt} = k_1 \cdot C_1 - k_2 \cdot C_2, \quad (2)$$

де k_1 – коефіцієнт мінералізації (коефіцієнт біохімічного окислення органічних речовин, 1/добу); k_2 – коефіцієнт реаерації, 1/добу).

Розв'язок цієї системи рівнянь має такий вигляд:

$$\begin{cases} x_1 = x_{1,0} e^{-k_1 z/u} + C_1; \\ x_2 = x_{2,0} e^{-k_2 z/u} + C_S (1 - e^{-k_2 z/u}) + \frac{k_1}{k_2 - k_1} x_{1,0} (e^{-k_2 z/u} - e^{-k_1 z/u}) + C_2; \end{cases} \quad (3)$$

де $x_{1,0}$, $x_{2,0}$ – концентрації, відповідно, БСК₅ і РК у початковій точці, мг/м³;

C_1 , C_2 – коригувальні коефіцієнти, введені для підвищення точності прогнозу.

$$C_1 = f(GM) \quad (4)$$

$$C_2 = f(COD/BOD) \quad (5)$$

де $f(GM)$ – функція загального солесмісту;

$f(COD/BOD)$ – функція, що визначає відношення ХСК до БСК₅.

Видно, вдалині від точки скиду $\lim_{t \rightarrow \infty} x_1 = 0$, тобто вода самоочищується від активних домішок, а $\lim_{t \rightarrow \infty} x_2 = C_S$, тобто вода насичується киснем.

Множники $x_{1,0}$ та $x_{2,0}$ – в рівняннях (3) визначаються експериментально, коефіцієнти k_1 та k_2 невідомі.

Коефіцієнти мінералізації k_1 та реаерації k_2 можуть бути знайдені експериментально за формулами

$$k_1 = t^{-1} \cdot \ln \frac{x_{1,0}}{x_1}. \quad (6)$$

$$k_2 = \frac{x_{1,0} \cdot k_1 \cdot e^{-k_1 t}}{x_2} \quad (7)$$

Аналіз багаторічних результатів спостереження за екологічним станом р. Сіверський Донець дозволив встановити, що коригувальний коефіцієнт C_1 (4) залежить від загального солемісту у воді за законом:

$$C_1 = -0,0002c_1^2 + 0,2719c_1 - 81,922 \quad (8)$$

де C_1 – $\Delta\text{БСК}_5$ (різниця БСК_5 вище та нижче місця скиду стічних вод), мг/м^3 ;

c_1 – загальний солеміст, мг/м^3 .

Величина достовірності апроксимації становить $R^2 = 0,76$.

Аналіз багаторічних результатів спостереження за екологічним станом р. Сіверський Донець дозволив встановити, що коригувальний коефіцієнт C_2 (5) залежить від ХСК/БСК_5 у вигляді

$$C_2 = -0,5542c_2^2 - 0,561c_2 + 2,871 \quad (9)$$

де C_2 – $\Delta\text{РК}$ (різниця РК вище та нижче місця скиду стічних вод), мг/м^3 .

c_2 – відношення ХСК/БСК_5 .

Величина достовірності апроксимації становить $R^2 = 0,91$.

Таким чином, маючи фактичні дані спостережень за екологічним станом водного об'єкту, виникає можливість обрахувати параметри моделі показників РК – БСК у залежності від значень показників загального солемісту та відношення ХСК/БСК_5 .

Введення коригуючих коефіцієнтів C_1 і C_2 дозволяють суттєво підвищити надійність прогнозу екологічного стану води поверхневого джерела водопостачання за допомогою запропонованої математичної моделі, що гарантує високу адекватність оперативних рішень управління водними ресурсами.

Для визначення параметрів моделі динаміки кисневого режиму р. Сіверський Донець, тобто значення коефіцієнтів k_1 (коефіцієнт біохімічного окис-

лення органічних речовин) та k_2 (коефіцієнт реасерації), були використані емпіричні дані та проведено розрахунки за формулами (6) та (7). Для розрахунків можна використовувати як спеціальне програмне забезпечення, так і звичайні офісні програми для обробки даних.

Температура навколишнього середовища – один з найважливіших факторів, що впливає на розчинність кисню у воді та на швидкість біохімічних процесів, тому розрахунок параметрів k_1 та k_2 було виконати для кожного місяця. Таким чином, вихідними даними для розрахунку коефіцієнтів k_1 та k_2 є усереднені середньомісячні багаторічні значення відповідних показників кисневого режиму.

Головні висновки. Обґрунтовано вибір для математичного прогнозування екологічного стану поверхневих водних об'єктів модель Стрітера – Фелпса та її модифікації (РК-БПК). БПК є одним з найважливіших критеріїв рівня забрудненості водойми, визначає кількість легкоокислюваних органічних забруднюючих речовин у воді. В умовах відсутності належної лабораторної бази показники РК-БПК можна використовувати як інтегральні показники забруднення водойми, відповідно і моделі даного типу є найбільш простими та інформативними, оскільки вони можуть враховувати широкий спектр легкоокислюваних органічних сполук, що знаходяться у воді. Простота вимірювання біохімічної потреби в кисні та розчинного кисню, наочність та доступність даних роблять цей метод одним з найкращих стандартних методів аналізу якості води.

Перспективи використання результатів дослідження. Удосконалена шляхом доповнення коригувальними коефіцієнтами прогнозна модель Стрітера – Фелпса дозволяє з високою точністю прогнозувати екологічні умови водойми та оцінювати вплив техногенно-небезпечних об'єктів на поверхневі води задля потреб екологічного моніторингу та оптимального управління екологічною безпекою басейну поверхневого водного об'єкту.

Література

1. Wai K. P., Chia M. Y., Koo C. H., Huang Y. F., Chong W. C. Applications of deep learning in water quality management: A state-of-the-art review. *Journal of Hydrology. Journal of Hydrology*. Volume 613. Part A. 2022. 128332. doi:10.1016/j.jhydrol.2022.128332
2. Третьяков О. В., Безсонний В. Л. Основні методи математичного моделювання для методичного забезпечення басейнового підходу в управлінні якістю водних ресурсів. *Системи обробки інформації*. 2016. № 8(145). С. 194–199. <https://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/16995>
3. Yan Tao, Shen Shui-Long, Zhou Annan. Indices and models of surface water quality assessment: Review and perspectives. *Environmental Pollution*. Volume 308. 2022. 119611. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119611>.
4. Пряхинская В. Г. Компьютерное моделирование в управлении водными ресурсами. М. ФИЗМАТЛИТ, 2002. 496 с.
5. Теория систем в приложении к проблемам защиты окружающей среды. Под ред. Серджио Ренальди. Киев: Высшая школа, 1981.
6. ДСТУ 4808:2007 «Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання».
7. ДСанПіН2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною».
8. Санітарні правила і норми охорони поверхневих вод від забруднення. СанПіН № 4630-88 від 04.07.1988 р.
9. Системный подход к управлению водными ресурсами. Под ред. А. Бисваса, англ.пер. под ред. Моисеева Н.Н. М.: Наука, 1985.
10. Chapra S.C. Surface Water Quality Modelling. McGraw-Hill, New York, NY, 1997.

11. Chapra S.C. and Pelletier, G.J. QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality: Documentation and Users Manual, 2000.
12. Fedra K. Water Resources Simulation and Optimization: a web based approach. IASTED/SMO 2005, Oranjestad, Aruba, August 2005.
13. Mendivil-García K, Amabilis-Sosa LE, Salinas-Juárez MG, Pat-Espadas A, Rodríguez-Mata AE, Figueroa-Pérez MG, Roé-Sosa A. Climate change impact assessment on a tropical river resilience using the Streeter-Phelps dissolved oxygen model. *Frontiers in Environmental Science*. Volume 1026. July 2022. Article number 903046 doi: 10.3389/fenvs.2022.903046
14. Bezsonnyi V., Tretyakov O., Khalmuradov B., Ponomarenko R. Examining the dynamics and modeling of oxygen regime of Chervonooskil water reservoir. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. № 5/10(89). P. 32–38. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109477>
15. Третьяков О. В., Безсонний В.Л., Пономаренко Р.В., Бородич П.Ю. Підвищення ефективності прогнозування впливу техногенного забруднення на поверхневі водойми. Проблеми надзвичайних ситуацій. 2019. № 1(29) С. 61–78. DOI: 10.5281/zenodo.2602648

HYDROGEOCHEMICAL FEATURES OF CHANGES IN THE F⁻ CONTENT IN THE GROUNDWATER CHEMICAL COMPOSITION OF BUCHAK-KANIV AQUIFER TO INCREASE THE ECOLOGICAL SAFETY OF POPULATION DRINKING WATER SUPPLY

Levoniuk S.M.

Ukrainian Scientific Research Institute for Natural Gases
Himnasiina emb., 20, 61010, Kharkiv
sergii.levonyuk@gmail.com

The article solves a strategically important ecological problem of region – the key role of man-made component (intensification of water withdrawal, extension of water intakes network) in the existing tendency to increase the F⁻ content in the operation of region's water intakes was proved. The geological and ecological factors of increased F⁻ content in drinking groundwater of buchak-kaniv aquifer (BKA) at the water intakes of Eastern Ukraine were considered. It was determined that the predominant factor in the formation of BKA groundwater chemical composition at the present stage is natural phenomena (dissolution of phosphorite layer in the top of aquifer), activated by the man-made component (expansion of water intakes network and intensification of water withdrawal on them) and deep hydrogeomigratory processes (upward migration of unconditioned waters through tectonic faults associated with salt diapirs; upward and downward diffusion of mineralized pore solutions of waterproofs to BKA waters).

The average geological base content (GBC) of chemical element at the beginning of period of active man-made pressure on the geological environment was determined. It is inherent in the waters of territories within which there is no influence of studied factors.

It was determined that in the process of active operation of powerful water intakes, the F⁻ content increases. Territories with indicator content that is critically threatening to the health of population (from 4 to 8 mg/dm³) were identified. These areas are characterized by the "overlapping" of all the natural and man-made factors investigated in the paper.

According to the correlation analysis results, a direct positive relationship between the change in element content and the volume of drinking groundwater in the influence zone of tectonic faults associated with salt diapirs was determined. It was during the period of maximum technogenesis – 1976-1995 – that the chemical composition of waters undergone the greatest changes.

The approach proposed by the author is recommended to be used when developing recommendations on the intensity of operating conditions of water intakes in Eastern Ukraine to increase the environmental safety of population drinking water supply. *Key words:* drinking groundwater, pollution, F⁻, buchak-kaniv aquifer, ecological safety.

Гідрогеохімічні особливості зміни вмісту F⁻ у хімічному складі підземних вод бучацько-канівського водоносного комплексу для підвищення екологічної безпеки питного водопостачання населення. Левонюк С. М.

У статті розв'язано стратегічно важливу екологічну проблему регіону – доведено ключову роль техногенної складової (інтенсифікація водовідбору, розширення мережі водозаборів) у наявній тенденції до збільшення вмісту F⁻ у процесі експлуатації водозаборів регіону. Розглянуто геологічні та екологічні фактори підвищеного вмісту F⁻ у питних підземних водах бучацько-канівського водоносного комплексу (БКВК) на водозаборах Східної України. Визначено, що превалюючим чинником формування хімічного складу підземних вод БКВК на сучасному етапі є природні явища (розчинення фосфоритового шару у покрівлі водоносного комплексу), активізовані техногенною складовою (розширення мережі водозаборів та інтенсифікація водовідбору на них) та глибинними гідрогеоміграційними процесами (висхідна міграція некондиційних вод крізь тектонічні порушення, пов'язані з соляними діапірами; висхідна та низхідна дифузія мінералізованих порових розчинів водотривів до вод БКВК).

Визначено середній геологічний фоновий вміст хімічного елемента на початку періоду активного техногенного навантаження на геологічне середовище. Він притаманний для вод територій, у межах яких відсутній вплив досліджуваних факторів.

Визначено, що в процесі активної експлуатації потужних водозаборів вміст F⁻ зростає. Виділено території із критично загрозливим для здоров'я населення вмістом показнику (від 4 до 8 мг/дм³). Даним ділянкам притаманне «накладання» усіх досліджених у роботі природних і техногенних факторів.

Відповідно до результатів кореляційного аналізу, визначено прямий позитивний зв'язок зміни вмісту елемента від об'єму водовідбору питних підземних вод у зоні впливу тектонічних порушень, пов'язаних із соляними діапірами. Саме у період максимального техногенезу – 1976-1995 рр. – хімічний склад вод зазнав найбільших змін.

Запропонований автором підхід рекомендується використати при розробці рекомендацій з інтенсивності умов експлуатації водозаборів Східної України для підвищення екологічної безпеки питного водопостачання населення. *Ключові слова:* питні підземні води, забруднення, F⁻, бучацько-канівський водоносний комплекс, екологічна безпека.

Formulation of the problem and the relevance of research. Buchak-kaniv aquifer (BKA) is the one of strategic sources of drinking groundwater in Eastern Ukraine. There is about 50 % of the total water supply here is exactly the water from this aquifer.

Current F⁻ content in the BKA groundwater within the region of research has threatening proportions. In accordance with our research, an exceeding of parameter concentrations of permissible WHO drinking water quality standard (1,5 mg/dm³) can be traced within about

80 % of research territory. Its average content is more than 3 mg/dm³, it reaches values of 5 maximum permissible concentrations (MPC) [1].

A presence of stable relationship between the fluoride intoxication and rising of population level morbidity in the studied territories has been clinically proven. But the problem of high F⁻ content in BKA waters is not fully investigated. Author can expand knowledge about these processes. This is especially relevant because of necessity of ecological safety increasing of Eastern Ukraine.

Analysis of recent researches and publications.

There are a lot of publications of Ukrainian and foreign scientists, that devoted to the study of F⁻ geochemical features in natural waters and causes of element increased content.

V. G. Suyarko [2] has been considered the hydrogeochemical features of F⁻ in Donbass groundwaters. He has identified the technogenic and natural sources of its migration into the underground hydrosphere. Some aspects of element influence on non-infectious population diseases within the territory also have been studied.

V. V. Yakovlev [3] has studied the peculiarities of F⁻ content at some water intakes of Eastern Ukraine. It has been proven that the source of component in groundwater is the phosphorite layer, which lies in the reservoirs of interlayer aquifers. It is also shown that there is a relationship between the intensity of water withdrawal at powerful water intakes and change in the F⁻ content in water.

E. Ya. Zhovynsky, N. O. Kriuchenko et al [4, 5] have studied the geochemistry of halogens (including F⁻) in the groundwaters of Dnipro-Donetsk artesian basin, especially Poltava region. Geochemical dependencies of basic indicators of water qualitative composition and F⁻ content have been traced. The possible sources of component migration to the BKA waters have been indicated.

The papers by T. Chernet, D. V. Reddy et al [6, 7-10] have been dedicated to the local problems of F⁻ increased content in groundwater. These studies have been conducted in African and Asian countries where these ecological problems are threatening.

As a conclusion, most researchers believe that the problem of increased F⁻ content in the BKA waters of Eastern Ukraine has purely natural character. Scientists distinguish 3 factors. First, it is the lithological composition of water-bearing and overlying rocks [3, 4]. Secondly, the geochemical prerequisites for the intensification of solid phase solubility in the natural "solution-rock" system due to the change in the waters chemical composition under the influence of natural (deep) factors [3, 4, 6, 7]. Thirdly, additional migration of an element of purely deep origin is possible [5, 10].

But these papers did not consider such an issue as the man-made influence on changes in the F⁻ content in drinking groundwater. This could help to develop measures to stabilize the component content, which would increase the ecological safety of population drinking water supply of this region.

Description of the study. At the first stage, data on the genesis of component increased content in groundwater was integrated and the main geoecological factors affecting these processes were determined.

The author systematized available literature data on the natural mechanism of F⁻ enrichment of groundwater, including at water intakes in Eastern Ukraine. The mechanism consists of 3 factors [1].

1) Lithological composition of water-bearing rocks. According to the results of drilling wells in the region, the presence of regional layer of phosphorite nodules with a gross F⁻ content of up to 1,5% was established in the upper part of BKA.

2) As a result of active influence of salt-dome tectonics, processes of discharging of deep highly mineralized groundwater into drinking water of active water exchange zone are characteristic for this region. Migration zones are numerous faults within tectonic structures, mainly associated with salt diapirs. As a result, there is a gradual change in the chemical composition of BKA waters to the chloride-sodium type, the salt content increases, relative content of Ca²⁺ and Mg²⁺ decreases. The change in waters chemical composition creates geochemical prerequisites for the intensification of solid phase solubility of above-mentioned phosphorite layer and an increase in the F⁻ content in these waters. Schematically, these chemical reactions look as follows:

a) Ca₅(PO₄)₃F (*fluorine apatite*) + Ca / Mg (*high content*) + Na (*low content*) + ... → CaF⁺ / MgF⁺ (*inactive forms of F⁻, precipitation and transition to the solid state*) + ... – low F⁻ content in waters;

b) Ca₅(PO₄)₃F (*fluorine apatite*) + Na (*high content*) + Ca / Mg (*low content*) + ... → NaF⁺, F⁻ (*the most active forms of F⁻, active migration of element*) + ... – increased F⁻ content in the waters.

3) Additional migration of an element of deep origin is also possible during the processes described in the previous point.

To activate these processes, it is necessary to have a stable inflow of chloride-sodium highly mineralized groundwater with a low content of Ca²⁺ and Mg²⁺ into the waters of target aquifer. But these geological processes in natural conditions are not typical for the waters of active water exchange zone within the study area. The author connects this with modern active processes of technogenesis of geological environment, namely [1]:

- intensification of groundwater withdrawal;
- changes in the hydrodynamic conditions of operational aquifer due to an increase in the network of water intakes;
- the formation of regional depression funnels of operational aquifers, the overlap of which creates a synergistic effect.

In order to establish this relationship, the dynamics of changes in the F⁻ content in the BKA waters during the period of active man-made pressure on the geological environment – 1960-2020 – was been traced. The average geological base content (GBC) of component

was determined – about 2 mg/dm³.

The spatio-temporal changes of indicator before the beginning of period of active technogenesis and now are studied. In 1960-1975, the content of component corresponded to 2 intervals of values: up to 1 GBC – within the territories with less active tectonic processes (northern and southern parts of region); from 1 to 2 GBC – within the area with the active influence of salt-dome tectonics (central part of territory).

Currently (as of 2005-2020), in addition to the reduction of areas containing up to 1 GBC, territories containing more than 2 GBC (up to 4 inclusive) have appeared, which is critically threatening to population health (Figure 1). Their area is about 20% of the total.

Based on available clinical studies within the region [11-13], a connection between these processes and some serious diseases was established:

1) children's endemic fluorosis (from 74% to 95% of children within the territory with a critical F⁻ content suffer from it);

2) diseases of the thyroid gland (during the period 1990-2005, the number of various diseases of thyroid gland in the population of this territory increased by 2-9 times);

3) congenital defects (occurring here 1,5 times more often than background values).

Within the established zone of F⁻ content critical values, there was an "overlay" of particularly active manifestations of technogenesis (water intake networks of Poltava city and some less powerful ones) on tectonic

structures associated with salt diapirs of central part of Dnipro-Donetsk depression. The latter are actively divided into blocks by faults, which act as migration paths for the intensive upward flow of deep, highly mineralized waters to the operational aquifers.

The dynamics of F⁻ content changes at typical powerful water intakes of region (water intakes of Poltava, Lubny, Khorol, Karlivka, Krasnograd, Reshetylivka cities and some others) were also traced. In the process of active operation of these water intakes, the content of F⁻ increases. Over the 60-year period, the number of values corresponding to more than 1 GBC increased from 38% to 63%.

In order to establish and quantify the relationship between one of the main components of underground water technogenesis – the water withdrawal indicator – and the dynamics of F⁻ content changes, these processes at the Poltava city water intakes, which are strategically important within the region, were studied in more detail.

On the example of these water intakes, based on the results of correlation analysis, a linear positive relationship between the F⁻ content change and the amount of water withdrawal in the influence zone of tectonic faults associated with the Poltava salt diapir was established (the distance between water intake objects and faults is from 0,5 to more than 5 km).

A direct positive relationship between these indicators was established, the following correlation coefficients were calculated:

– distance to faults 0,5 km = 0,84;

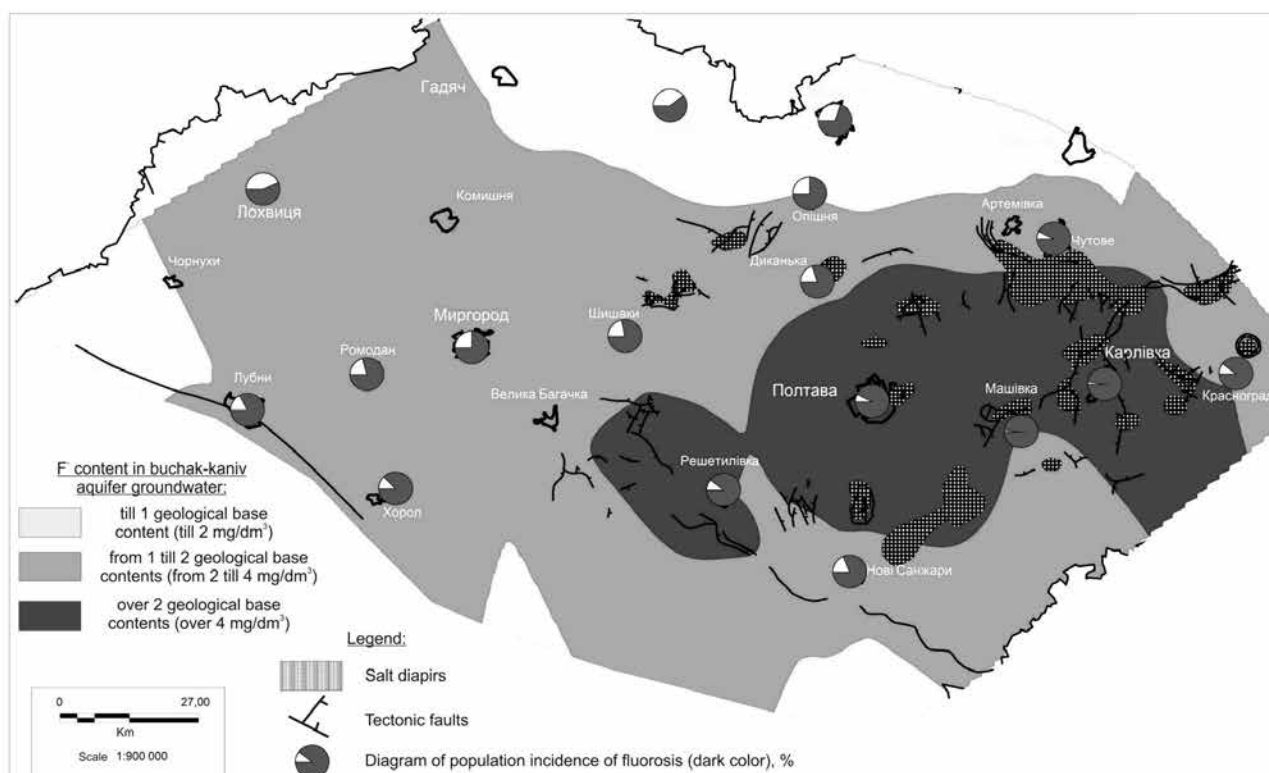


Fig. 1. Map-scheme of F⁻ content in BKA groundwater within the studied region as of 2005-2020

- distance to faults 1 km = 0,61;
- distance to faults 2 km = 0,65;
- distance to faults about 4 km = 0,5;
- distance to faults more than 5 km = 0,57.

That is, it has been established that one of the main conditions for the activation of BKA groundwater F⁻ enrichment natural mechanism is the presence and nature of man-made pressure on the drinking groundwater of territory. At the water intakes of Poltava city, activation took place during the period of maximum technogenesis – 1976-1995.

Main conclusions. Strategically important ecological problem of region – the key role of technogenic component (intensification of water withdrawal, extension of water intakes network) in the current tendency to increase the F⁻ content in the operation of region's water intakes have been considered in the article.

The author has determined the geological base content (GBC) of element (about 2 mg/dm³) at the beginning of active man-made period. It is inherent to the waters of areas, within which there is no influence of investigated ecological and geological factors of increased F⁻ content.

It has been identified that F⁻ content increases in the process of active operation of powerful water intakes. It has been determined that the areas with critical for pop-

ulation health content (from 2 to 4 GBC) have appeared now. «Overlay» of all the studied in paper natural and technogenic factors is inherent to these territories.

On the example of Poltava water intakes network, it has been shown that the explored natural mechanism of groundwater F⁻ enrichment is activated by an influence of technogenic component (intensification of underground water withdrawal, extension of water intakes network, hydrodynamic changes). During the period of maximum technogenesis – 1976-1995 – the water chemical composition undergone the greatest changes (an increase in F⁻ content from 81 % to 90 % of the total).

According to the results of correlation analysis, a direct connection between the changes in F⁻ concentrations and the value of water withdrawal in zone of influence of tectonic faults associated with salt diapir has been established (correlation coefficient = 0,84).

Prospects for the use of research results. After determining the hydrogeochemical features of changes in the F⁻ content in the groundwater chemical composition of buchak-kaniv aquifer and the main causes of these processes, the next step will be the development of measures to increase the ecological safety of drinking water supply for the population of these territories.

References

1. Levoniuk S. M., Nimets N. M., Udalov I. V. Role of technogenic component in processes of groundwater composition transformation at buchak-kaniv water intakes in Eastern Ukraine (on example of F⁻ content). *Eastern European Scientific Journal*. 2019. № 2. P. 86–93. URL: <http://auris-verlag.net/314-2/>
2. Суярко В. Г. Геохимия подземных вод восточной части Днепровско-Донецкого авлакогена. Харьков : ХНУ имени В.Н. Каразина, 2006. 225 с.
3. Яковлев В. В., Лищина В. Д., Литвиненко И. Н., Гаврилюк О. В. Проблема фтора в подземных водах Харьковского региона в связи с их эксплуатацией. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2009. Вип. 30. С. 244–250.
4. Жовинский Э. Я., Крюченко Н. О. Полтавская фтороносная провинция. *Вода і водоочисні технології*. 2003. № 2 (6). С. 46–50.
5. Кухар М. В., Крюченко Н. О. Гідрогеохімічні критерії міграції підземних вод Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну. *Пошукова та екологічна геохімія*. 2013. № 1 (13). С. 30–33.
6. Chernet T., Travi Y., Valles V. Mechanism of degradation of the quality of natural water in the lakes region of the Ethiopian rift valley. *Water Research*. 2001. Vol. 35, № 12. P. 2819–2832.
7. Hallett B. M., Dharmagunawardhane H. A., Atal S., Valsami-Jones E. Mineralogical sources of groundwater fluoride in Archaen bedrock/regolith aquifers: Mass balances from southern India and north-central Sri Lanka. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2015. Vol. 4, part A. P. 111–130.
8. Li D., Gao X., Wang Y., Wenting L. Diverse mechanisms drive fluoride enrichment in groundwater in two neighboring sites in northern China. *Environmental Pollution*. 2018. Vol. 237. P. 430–441.
9. Rafique T., Naseem S., Usmani T. H. Geochemical factors controlling the occurrence of high fluoride groundwater in the Nagar Parkar area, Sindh, Pakistan. *Journal of Hazardous Materials*. 2009. Vol. 171, № 1-3. P. 424–430.
10. Reddy D. V., Nagabhushanam P., Sukhija B. S., Smedley P. L. Fluoride dynamics in the granitic aquifer of the Wailapally watershed, Nalgonda District, India. *Chemical Geology*. 2010. Vol. 269, № 3-4. P. 278–289.
11. Назаренко Е. А., Нікозять Ю. Б., Іващенко О. Д. Оцінка стану здоров'я населення, що проживає в межах території біогеохімічної провінції з підвищеним вмістом фторидів. *Науково-технічний журнал*. 2015. № 2 (12). С. 80–84.
12. Попов О. И., Подригало Л. В., Даниленко Г. Н., Семко Н. Г. Воздействие фтора и его производных на окружающую среду и организм человека. *Врачебная практика*. 2000. № 1. С. 87–89.
13. Смоляр В. І., Петрашенко Г. І. Надлишок фтору в питній воді і фториста інтоксикація. *Проблеми харчування*. 2007. № 1. С. 15–17.

КЛАСИФІКАЦІЯ І ВЛАСТИВОСТІ ЕКРАНОЗЕМІВ МІСТА ОДЕСИ

Михайлюк В.І.

Одеський державний аграрний університет
вул. Пантелеймонівська, 13, 65012, Одеса
mykhailiukv@osau.edu.ua

Наведені результати дослідження міських екранованих ґрунтів – екраноземів, які займають велику площу населених пунктів і мають важливе значення в урбоекосистемах, надаючи широкий спектр екологічних послуг. Будова, склад і властивості екраноземів, а також їхнє функціонування визначаються трьома загальними факторами: технічними особливостями екранування і особливостями підготовки території (ґрунту) до екранування; особливостями антропогенного впливу на ґрунт до його екранування; особливостями ґрунтоутворення в певних природно-кліматичних умовах. Досліджені екраноземи в зоні південного степу (місто Одеса) відображають в тій чи іншій мірі чорноземний тип ґрунтоутворення. Їх класифікаційна належність визначається будовою і властивостями екранованих ґрунтів. У межах міста Одеси виділені екрано-чорноземи південні (екрановані ґрунти з непорушеним профілем), екрано-урбо-чорноземи південні (екрановані поверхнево трансформовані ґрунти), екрано-урбаноземи (екрановані глибоко трансформовані ґрунти), екрано-техноземи (екрановані техногенно перемішані гумусовані і негумусовані субстрати), екрано-літоземи (екранований негуміфікований субстрат). Екраноземи міста Одеси характеризуються значним різноманіттям властивостей, але за вмістом органічної речовини (2,4-4%) є слабогумусованими чи малогумусованими. Поширеними є ґрунти з інверсійними органічними профілями із більшим вмістом гумусу в горизонтах, що залягають під поверхневим шаром. Екрано-чорноземи південні мають типовий карбонатний профіль. В екранованих урбо-чорноземах і урбаноземах виявлені складні карбонатні профілі із карбонатними поверхневими і глибокими горизонтами. Екрано-техноземи карбонатні по всьому профілю. Ґрунти мають лужну реакцію середовища. Сума увібраних катіонів 14-25 ммоль/100 г ґрунту. Обмінний кальцій займає 72-78%; магній – 16-21%. Усі досліджувані ґрунти солонцюваті при вмісті увібраного натрію 5-7% від суми вбирних основ. *Ключові слова:* класифікація міських ґрунтів, екранування ґрунтів, властивості екраноземів.

Classification and properties of ekranosems of the city of Odessa. Mikhaylyuk V.

Results of the study of urban soils sealed with a hard coating – ekranozems, which occupy a large area of settlements and are important in urban ecosystems, providing a wide range of ecological services, are presented. Profile structure, composition and properties of ekranozems, as well as their functioning, are determined by three general factors: the technical features covering of the soil surface and the features of the preparation of the territory (soils) for shielding; features of anthropogenic influence on the soil before its shielding; peculiarities of soil formation in certain natural conditions. The studied ekranozems in the zone of the southern steppe (the city of Odessa) reflect the chernozem type of soil formation to one degree or another. Their classification is determined by the profile structure and properties of shielded soils. Within the city of Odessa, ekano-chernozem soils (shielded soils with an undisturbed profile), ekano-urbochernozem soils (shielded superficially transformed soils), ekano-urbanozems (shielded deeply transformed soils), ekano-technozems (shielded technogenically mixed humus and non-humus substrates) are distinguished, ekano-lithosems (shielded non-humified substrate). Ekranozems of the city of Odessa are characterized by a significant variety of properties, but in terms of organic matter content (2.4-4%) they are weakly humus or low-humus. Soils with inverted organic profiles with a higher content of humus in the horizons lying below the surface layer are common. Ekano-chernozem soils have a typical carbonate profile. Complex carbonate profiles with carbonate surface and deep horizons were found in shielded urbochernozems and urbanozems. Ekano-technozems are carbonate throughout the profile. The soils have an alkaline reaction. The sum of absorbed cations is 14-25 mmol/100 g of soil. Exchangeable calcium occupies 72-78%; magnesium – 16-21%. All studied soils are saline with a content of absorbed sodium of 5-7% of the total of absorbed bases. *Key words:* classification of urban soils, soil sealing, properties of ekranozems.

Постановка проблеми. Міські ґрунти – це будь-які ґрунтові чи ґрунтоподібні тіла, що сформовані в урбоекосистемі. Визначальним фактором ґрунтоутворення в місті є антропогенний, який формує надзвичайно широкий спектр трансформованих профілів зональних і аazonальних ґрунтів певної території. Через це міські ґрунти у відповідних природно-кліматичних умовах при відносно однакових рівнях трансформації мають індивідуальні характеристики складу і властивостей, а також режимів ґрунтоутворення. Так звані «запломбовані ґрунти» складають значний відсоток від загальної площі міста. У відомих класифікаціях вони визначені як екраноземи на високому таксономічному рівні, але, як свідчать окремі дослідження, вони можуть мати

різноманітні будову і властивості, у тому числі бути повнопрофільними (запечатаними природними ґрунтами), антропогенно-трансформованими (екраноземами по урбоґрунтах чи урбаноземах) або запечатаною породою без ознак ґрунтоутворення [1, 2]. При цьому через недоступність такі ґрунти залишаються мало дослідженими.

Актуальність дослідження. В Україні не проводилися ґрунтові обстеження в межах населених пунктів. У той же час, антропогенно-трансформовані чи штучні ґрунти міст, так само як природні ґрунти, виконують різноманітні екологічні функції, що забезпечують умови життя організмів, в тому числі людини. Пріоритетними є родючість (здатність забезпечувати ріст і розвиток зелених насаджень),

біодеструкція органічних речовин, що поступають на (в) ґрунт, адсорбція забруднювальних речовин та очищення атмосфери і вод міста (сорбційний гідрофізичний бар'єр) тощо. Але також, міські ґрунти характеризуються сильним накопиченням так званих «міських елементів», таких як мідь (Cu), цинк (Zn), свинець (Pb) і ртуть (Hg), що є основною проблемою міського ґрунтового середовища [3]. У цьому зв'язку проблема оцінки екологічного стану і моніторингу ґрунтів міст є однією із найактуальніших в сучасному ґрунтознавстві і урбоекології [4]. Актуальними є перш за все дослідження генетико-географічних особливостей трансформаційної деградації ґрунтів. Запечатані ґрунти при реконструкції чи переплануванні окремих ділянок міської території можуть бути використанні під інші види цільового призначення; актуальним питанням є рекультивація таких ґрунтів для озеленення території тощо. Крім того, екраноземи на значних площах продовжують функціонувати як ґрунти, виконують певні екологічні функції, в тому числі забезпечують ріст і розвиток зелених насаджень.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Проблема класифікації, картографування, діагностики та оцінки екологічного стану і моніторингу ґрунтів міст є однією із найактуальніших в сучасному ґрунтознавстві і урбоекології [1, 2, 5]. Антропогенні міські ґрунти розглядаються як фундаментальний екологічний актив для планування землекористування. Крім того, вони становлять інтерес для фундаментальних ґрунтознавчих наук, оскільки їх властивості мало досліджені і можуть суттєво відрізнятися від природних ґрунтів [6, 7]. Інформація про ґрунтовий покрив міст необхідна для ведення Державного земельного і містобудівного кадастру, здійснення господарської діяльності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню міських ґрунтів присвячена значна кількість праць. Розроблені класифікаційні схеми, досліджені будова, склад та властивості ґрунтів в різних природно-кліматичних зонах [8]. У межах міста Одеси встановлені генетично-морфологічні, урбо-функціональні і класифікаційно-діагностичні особливості природних, антропогенно трансформованих і техногенних ґрунтів, встановлені особливості поширення елементів-забруднювачів, проведена оцінка стійкості ґрунтів до забруднення і оцінка фітотоксичності ґрунтів паркових зон, запропонована еколого-профільно-генетична класифікація ґрунтів урбанізованих територій і схема кадастрово-господарського групування ґрунтів населених пунктів [8-11].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Запломбовані твердими покриттями ґрунти, залишаються мало дослідженими і, зазвичай, у класифікаціях виділяються на високому таксономіч-

ному рівні – типу чи підтипу із назвою «екраноземи». Мало дослідженими є питання режимів їх функціонування, екологічних функцій, мікробіологічних властивостей, реабілітації при знятті екрану. При комплексному дослідженні ґрунтів міста Одеси екраноземи досліджені вибірково, відсутня систематика таких ґрунтів.

Новизна. Вперше досліджені екраноземи в зоні південного степу (місто Одеса), охарактеризовані їхні будова, хімічні та фізико-хімічні властивості. Класифікаційна належність екраноземів визначається будовою і властивостями екранованих ґрунтів – «екраноземи по ґрунтах». У межах міста Одеси виділені екрано-чорноземи південні, екрано-урбо-чорноземи південні, екрано-урбаноземи, екрано-техноземи, екрано-літоземи.

Методологічне або загальнонаукове значення. Екраноземи, що займають значну площу міст, повинні мати інструменти діагностики. Також вони повинні мати своє місце в класифікації міських ґрунтів для цілей містобудівного кадастру, проектів рекультивації тощо.

Викладення основного матеріалу. Екраноземи є міськими ґрунтами, що заплomboвані твердим покриттям (асфальтом, бетоном, бруківкою тощо) і знаходяться під дорожньою мережею, паркувальними площадками, проїздами і проходами громадських і приватних просторів. Екранування ґрунтів перешкоджає виконання ними деяких екологічних функцій, але екраноземи є саме ґрунтами – біокосними тілами, що продовжують надавати екосистемні послуги на відповідній території.

Будова екраноземів визначається конструктивними особливостями доріг, проїздів, пішохідних доріжок тощо, а також особливостями антропогенного впливу (до екранування) на ґрунт, враховуючи його природні особливості в певних умовах ґрунтоутворення. Досліджені екраноземи міста Одеси під дорогами, насамперед в історичній частині міста, засвідчили відсутність в більшості випадків верхнього горизонту колишніх чорноземів південних. Залишені горизонти мають або природну будову, або спорадично видозмінені. Природні горизонти – це ілювіально-карбонатний горизонт з білозіркою чи лесова товща, в тому числі слабогумусована, яка зрідка пронизана корінням дерев. Внутріквартальна територія із проїздами, пішохідними доріжками, майданчиками тощо, міські майдани, парки характеризується виразним різноманіттям екранованих ґрунтів – від профілів з природною будовою в разі покриття без зняття родючого шару, до неґрунтових субстратів. Екологічні функції цих екраноземів виразні; ґрунти, що екрановані тонким асфальтовим покриттям, бруківкою, тротуарною плиткою, в тому числі і при значній площі покриття функціонують при специфічних водному і тепловому режимах, є середовищем для росту і розвитку рослин.

Діагностика ґрунтів проводилася на основі їх будови і назва ув'язувалася із ступенем антропогенної трансформації та властивостями похованих під екраном ґрунтів та їхніх горизонтів. Назва ґрунтів у такому разі визначається особливостями профілю екранованого ґрунту (рис. 1). При екрануванні не порушеного профілю ґрунту є екрано-ґрунтами (екрано-чорноземи); екрановані урбоґрунти або антропогенні поверхнево трансформовані ґрунти є екрано-урбоґрунтами (наприклад, екрано-урбо-чорнозем південний); екрановані антропогенні глибоко трансформовані є екранованими урбаноземами (екрано-урбанозем); заплombовані штучно сконструйовані профілі, в тому числі з хаотично-перемішаними шарами (включеннями) є екрано-техноземи, екрановані горизонти (субстрати) без видимого вмісту органічної речовини діагностуються як екрано-літоземи.

Через різну ступінь трансформації профілю, перемішування гумусованого дрібнозему з негуміфікованим матеріалом, наявність включень, екраноземи міста Одеси характеризуються значним різноманіттям властивостей (табл. 1). Об'єднує їх малогумусність; досліджувані екрано-чорноземи та ґрунти із поверхнево і глибоко трансформованими горизонтами мали у верхній частині 2,4-3,2% органічної речовини. Поширеними є ґрунти з інверсійними органогенними профілями із більшим вмістом гумусу (до 4%) в горизонтах, що залягають під поверхневим, більш трансформованим шаром. Прослідковується залежність між ступенем трансформації профілю і вмістом вуглекислого вапна. Екрано-чорноземи південні можуть бути не карбонатними, що характерно для таких ґрунтів. В екра-

нованих урбо-чорноземах і урбаноземах виявлені складні карбонатні профілі із карбонатними поверхневими і глибокими горизонтами. Екрано-техноземи карбонатні по всьому профілю. Реакція середовища екраноземів лужна. У досліджуваних ґрунтах сума увібраних катіонів невисока – 14-25 мг-екв/100 г ґрунту. В складі вбирних основ обмінний кальцій займає 72-78%; магній займає відносно високу частку – 16-21%. Усі досліджувані ґрунти солонцюваті при вмісті увібраного натрію 5-7% від суми вбирних основ.

Вміст важких металів у ґрунтах міста Одеси залежать від функціонального використання земель і має високу варіативність. Найзабрудненішими є антропогенні глибоко трансформовані ґрунти, які розміщені в селітебних і промислових зонах, а також гідроморфні ґрунти колишніх полів фільтрації [8]. Представлений вміст рухливої (Mn, Zn, Cu, Cd, Pb) і валової форми (Hg) «міських елементів» (табл. 2) визначений у межах відносно нових мікрорайонів на двох площадках будівництва в середніх зразках ґрунту, що включали як екрановані, так і відкриті ґрунти. Дані засвідчують певну закономірність; ґрунти, зразки яких відібрані в різних частинах міста, забруднені свинцем (1,6 ГДК) і міддю (1,8-2,1 ГДК). Вміст інших хімічних елементів суттєво нижчий гранично допустимих концентрацій: 0,15-0,3 ГДК Mn; 0,004-0,03 ГДК Zn; 0,14-0,17 ГДК Cd.

Головні висновки. Екраноземи є міськими антропогенно-трансформованими ґрунтами, що виконують певні екологічні функції, мають специфічні водний, тепловий та інші режими, в тому числі забезпечують ріст і розвиток рослин. Їхні режими,

1	2	3	4	5
Асф	Асф	Асф	Асф	Асф
ПГ	ПГ	ПГ	ПГ	ПГ(Б)
Н	АУ _{ur}	U _k	ТСН _k	Ph _k / P _k
Н _p	Н _p	АУ _{ur} k / ТСН _k		
Ph _k	Ph _k	ТСН _k / P _k	P _k	
P _k	P _k			

Рис. 1. Будова екраноземів м. Одеси: 1. Екрано-чорнозем південний (селітебна зона, Люстдорфська дорога); 2. Екрано-урбо-чорнозем південний (селітебна зона, вул. Корольова); 3. Екрано-урбанозем (селітебна зона, пров. Черепанових); 4. Екрано-технозем (селітебна зона, пров. Черепанових); 5. Екрано-літозем (під дорожнім покриттям, вул. Торгова). Асф – асфальт; ПГ – піщано-гравійна подушка (бруківка); Н – гумусово-аккумулятивний; Н_p – гумусовий перехідний; Ph – порода із слабкими ознаками гумусованості; U – урбик (гумусово-аккумулятивний); АУ_{ur} – гумусовий з ознаками урбопедогенезу; ТСН – техногенний перемішаний ґрунт (не генетичний горизонт, а рукотворний шар із включенням гумусованого субстрату); P – порода; k – карбонатні новоутворення; скісна риска позначає варіанти прояву (або-або)

Таблиця 1

Хімічні та фізико-хімічні властивості екраноземів

Грунт	Горизонт: потужність, см: вміст органічної речовини, %	СаСО ₃ , %	рН вод.	Вбирні катіони, ммоль/100 г ґрунту		
				Са ²⁺	Мg ²⁺	Na ⁺
1. Екрано-чорнозем південний, Люстдорфська дорога, 55.	H: 0-36: 2,7 Hp: 36-61: 1,5 Ph: 61-77: 1,2	н/з* н/з	7,9	13,9	4,0	1,2
2. Екрано-урбачорнозем південний, вул. Корольова, 20.	AYur k: 0-30: 2,4 H: 30-55: 3,6 Hp: 55-78: 2,4 Phk: 78-100: 1,7	9 н/з н/з 19	8,0	13,8	3,6	1,3
3. Екрано-урбанозем, пров. Черепанових, 3, 12.	U1k tk: 0-44: 3,2 U2 tk: 44-80: 4,0 Ph+P(h)k: 80-130: 1,2-1,9	24 н/з 15-20	8,0	11,0 13,8	2,3 3,5	0,8 0,9
4. Екрано-технозем, пров. Черепанових, 3, 12.	TCH: 0-70 (110): 2,3-3,8	17-21	7,7	19,8	4,0	1,3

*Не закипає із соляною кислотою

Таблиця 2

Вміст хімічних елементів в шарі ґрунту 0-25 см

Територія відбору зразків	Елементи, мг/кг					
	Mn	Zn	Cu	Cd	Pb	Hg
вул. Давида Ойстраха, ріг Кримського бульвару	19,70	0,77	6,40	0,12	9,80	0,057
вул. Люстдорфська дорога, 55	42,50	0,10	5,30	0,10	9,70	0,025

будова, склад і властивості залежать від конструктивних особливостей твердого покриття (екрану), ступеня антропогенної трансформації профілю до його пломбування і природи початкового ґрунту. У межах міста Одеси виділені екрано-чорноземи південні, екрано-урбачорноземи південні, екрано-урбаноземи, екрано-техноземи, екрано-літоземи.

Екраноземи міста Одеси слабо- і малогумусні, мають складні органогенні і карбонатні профілі; досліджені ґрунти характеризуються лужною реакцією середовища, є солонцюватими при підвищеній частці обмінних натрію і магнію. Вміст важких металів у ґрунтах міста Одеси залежать від функціонального використання земель і має високу варіативність.

Література

- Paul, S., Rakshit, A. (2022). Classification and Functional Characteristics of Urban Soil. In: Rakshit, A., Ghosh, S., Vasenev, V., Pathak, H., Rajput, V.D. (eds) *Soils in Urban Ecosystem*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8914-7_2
- Charzynski, Przemyslaw & Galbraith, John & Kabala, Cezary & Kuehn, Dieter & Prokofieva, Tatiana & Vasenev, Viacheslav. (2017). Classification of urban soils. URI: <http://repozytorium.umk.pl/handle/item/4447>
- Jin-Ling Yang & Gan-Lin Zhang (2015) Formation, characteristics and eco-environmental implications of urban soils – A review. *Soil Science and Plant Nutrition*, 61:sup1, 30-46, DOI: 10.1080/00380768.2015.1035622
- Prokop, Gundula. (2011). Report on best practices for limiting soil sealing and mitigating its effects. URI: https://www.researchgate.net/publication/323144046_Report_on_best_practices_for_limiting_soil_sealing_and_mitigating_its_effects
- Sobocká J, Saksa M, Feranec J, Szatmári D, Kopecká M. A complexity related to mapping and classification of urban soils (a case study of Bratislava city, Slovakia). *Soil Science Annual*, 71 (4), 321-333. <https://doi.org/10.37501/soilsa/127525>
- Lehmann, A., Stahr, K. Nature and significance of anthropogenic urban soils. *J Soils Sediments* 7, 247–260 (2007). <https://doi.org/10.1065/jss2007.06.235>
- Foldal, C.B., Leitgeb, E., Michel, K. (2022). Characteristics and Functions of Urban Soils. In: Rakshit, A., Ghosh, S., Vasenev, V., Pathak, H., Rajput, V.D. (eds) *Soils in Urban Ecosystem*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8914-7_3
- Хохрякова А. І., Михайлюк В. І. Ґрунти міста Одеси. Одеса: Видавничий дім «Гельветика», 2021. 146 с.
- Тригуб В. І., Бочевар С. В., Купчик А. М. Ґрунтово-екологічні особливості міських ґрунтів (на прикладі м. Одеси). *Вісник Одеського національного університету*. Серія : Географічні та геологічні науки. 2016. Т. 21, Вип. 1. С. 98-109.
- Trigub V., Domuschy S., Lyashkova O. Heavy metals in the soils of the Odessa city. *Sustainable Development and Human Health*. Edited by Andrzej Kryński, Georges Kamto Tebug, Svitlana Voloshanska. Czestochowa: Publishing House of Polonia University «Educator». 2020. P. 38-48.
- Домусчи С. В., Тригуб В. І. Біотестування як метод визначення екологічного стану міських ґрунтів. *Наукові записки ТДПУ імені Володимира Гнатюка*. Серія: Географія. № 2 (вип. 49). 2020. С. 156-164.

ГІДРОБІОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ СТАНУ ВОД Р. СТРИЙ В МЕЖАХ КАРПАТСЬКОГО ПЕРЕДГІР'Я

Монастирська С.С., Гойванович Н.К., Климишин О.С.

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка

вул. Івана Франка, 24, 82100, м. Дрогобич

natahoyvan@gmail.com

Збереження якості водних ресурсів є однією з екологічних проблем України. Не зважаючи на зниження інтенсивності виробництва та зупинку багатьох підприємств, якість природних вод також знижується з кожним роком. В цілому, не спостерігається суттєвого зменшення об'єму скиду неочищених або недостатньо очищених стічних вод у природні водні об'єкти. Це пов'язано, зокрема, з погіршенням технічного стану на діючих очисних спорудах, відсутністю коштів на їх ремонт та реконструкцію, а також порушенням природоохоронного режиму прибережних водоохоронних зон.

У роботі представлені результати моніторингу вод р. Стрий у межах Дрогобицького (с. Новий Кропивник), Стрийського (м. Стрий, с. Любінці, с. Гірне, с. Миртюки, м. Жидачів, с. Заліски) району за гідробіологічними показниками. У статті представлена робота виконана в рамках комплексного моніторингу природних ресурсів Львівщини. Схемою моніторингу передбачений аналіз вод методом біотестування, визначення фіто- і цитотоксичності, деяких гідробіологічних показників. Біологічний метод аналізу вод р. Стрий засвідчив наслідки сумарної дії поллютантів на ріст і розвиток тест-об'єкту – середній і вище середнього рівні фітотоксичності (26,7-51,1%). Вміст хлоридів у водах річки Стрий коливається в межах 98,15-194,12 мг/л, фосфатів – 0,0017-0,0054 мг/л і не перевищує ГДК. Одночасно, у пробах вод з міста Стрий вміст іонів амонію перевищує ГДК на 13,8-44,6 %, у в пробах з с. Новий Кропивник – на 73,5-119,6%. Прослідковується взаємозв'язок між рівнями фітотоксичності, порушенням проліферації у клітинах меристеми і вмістом іонів амонію у точках відбору вод у с. Новий Кропивник і м. Стрий. Результати дослідження можна буде використовувати для розробки системи контролю за станом та якістю вод. *Ключові слова:* гідробіологічні показники, біоіндикація, вода, р. Стрий.

Hydrobiological analysis condition of the Stryi River waters within the Carpathian Foothills. Monastyrsk S., Hoivanovych N., Klymyshyn O.

One of Ukraine's environmental problems is preserving the quality of its water resources. Despite the decline in production and the shutdown of many enterprises, natural water continues to be a highly polluted environment, as there is no significant improvement in its quality, a significant reduction in the discharge of untreated or inadequately treated wastewater. This is due in particular to the deterioration of the technical condition at the existing treatment plants, the lack of funds for their repair and reconstruction, as well as the violation of the nature protection regime of riparian water protection zones.

The paper presents the results of monitoring the waters of the Stryi River within the boundaries of Drohobych district (village Novy Kropyvnyk), Stryi district (Stryi city, village Lyubynsi, village Hirne, village Myrtyuky, Zhydachiv city, village Zalisky) by hydrobiological indicators. The article was completed as part of the comprehensive monitoring of the Lviv region's natural resources. The monitoring scheme provides for the analysis of water by biotesting, determination of phyto- and cytotoxicity, some hydrobiological indicators. The biological method of water analysis of the Stryi River showed the effects of the total action of pollutants on the growth and development of the test object – average and above-average levels of phytotoxicity (26,7-51,1%). The content of chlorides in the waters of the Stryi River varies between 98.15-194.12 mg/l, phosphates – 0.0017-0.0054 mg/l and does not exceed the MPC. At the same time, in water samples from the city of Stryi, the content of ammonium ions exceeds the MPC by 13.8-44.6%, in samples from the village of Novy Kropyvnyk – by 73.5-119.6%. The studies have traced the relationship between phytotoxicity levels, impaired meristem cell proliferation, and ammonium ion content at water collection points in Novy Kropyvnyk village and Stryi city. The research results can be used to develop a system for monitoring the condition and quality of water. *Key words:* hydrobiological indicators, biological method, water, Stryi River.

Постановка проблеми. Соціально-економічний прогрес, розвиток науки і техніки дозволяють покращити якість життя людей у сучасному світі. Чисельність населення зростає з кожним днем, людство переробляє та споживає все більше природних ресурсів, особливе місце з яких займає вода – основа всього живого на нашій планеті [2, 5]. Вже зараз багато регіонів зіткнулися з нестачею чистої питної води. На тлі постійних екологічних проблем підвищується важливість збереження чистоти водних ресурсів і знаходження правильних шляхів вирішення проблеми забруднення води.

Актуальність дослідження. У питаннях екології, особливо у вирішенні проблеми забруднення води, потрібна незалежна система моніторингу її чистоти, зокрема за гідробіологічними показниками. Вона дозволить оперативно отримувати сигнали про надзвичайні ситуації щодо перевищення рівня забруднення з найбільш проблемних місць поряд із виявленими потенційними джерелами небезпеки [3, 5, 6]. Оцінка екологічних ризиків, що виникають у водних об'єктах під впливом антропогенних і природних факторів, є надійним методом дослідження та оцінки стану, стійкості водних екосистем, меж толерантності гідробіонтів у умовах, що зміню-

ються. Оцінка екологічних ризиків необхідна також як основа для моніторингу стану водних об'єктів та прийняття рішень у сфері управління водними ресурсами. Екологічна безпека держави значною мірою залежить від успішного вирішення питань, пов'язаних із процесами антропогенної евтрофікації, забруднення водних об'єктів різними відходами, термічного (теплого та холодного) забруднення та з іншими негативними факторами, а також зниження їх впливу на водні об'єкти [8, 9].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Впродовж 2018-2021 рр. виконується комплексний моніторинг стану навколишнього середовища і природних ресурсів Львівщини. Аналіз результатів вивчення стану водних ресурсів методом біоіндикацій свідчить про значний рівень антропопресії [14-17].

Метою роботи є полягає в дослідженні гідробіологічних показників вод річки Стрий в межах Карпатського передгір'я.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дані екологічних паспортів Львівської області та регіональних доповідей про стан довкілля в області (2018-2020 рр.) свідчать про збільшення викидів токсичних речовин у водні об'єкти, тому біологічний моніторинг доповнить картину стану довкілля [4, 10].

Згідно даних Державної екологічної інспекції і моніторингу, у 2020 році в поверхневій воді Львівської області скинуто близько 120 тис м³ неочищених і недоочищених зворотних вод [4]. Річка Стрий є джерелом питтєвого забезпечення західних районів Львівської області й моніторинг стану її вод є одним з пріоритетних завдань.

Новизна. Сьогодні, у воді рік України потрапляє велика кількість хімічних сполук разом з промисловими стоками. Найчастіше зафіксовано підвищений вміст азоту амонійного, хрому, нітратів та ін. [10]. Кількість забруднюючих речовин і їх склад залежить від специфіки регіону протікання рік: інфраструктури, промисловості, рекреаційних комплексів, стану очисних споруд, агропромислового комплексу, щільності населення тощо.

Матеріали і методи дослідження. Дослідження гідробіологічних показників стану вод р. Стрий в межах Карпатського передгір'я проводився на базі лабораторії «Експериментальної біології» Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка впродовж 2019-2021 рр. Воду відбирали у певних точках вздовж течії р. Стрий в межах Дрогобицького і Стрийського районів: с. Новий Кропивник, с. Любинці, с. Гірне, с. Миртюки, м. Стрий, м. Жидачів, с. Заліски у період без опадів, з середини течії річки для кращого змішування вод.

Визначення гідробіологічних показників вод проводилось у літній період, оскільки попередні дослідження вказували на найвищі фізико-хімічні

і санітарні показники в цей період. З підвищенням температури зростає й рівень розчинених політантів у воді. Завданням дослідження була оцінка вод р. Стрий методом біотестування (фітотоксичність і мітотичний індекс) та встановлення взаємозв'язків між рівнем їх фітотоксичності й вмістом фосфатів, хлоридів і йонів амонію у воді.

Уміст амонію визначали фотометричним методом за якісною реакцією з реактивом Неслера, кількісне визначення фосфатів полягає у взаємодії фосфат іонів з молібденово-кислим амонієм в присутності двох хлористого олова з утворенням забарвлених розчинів, кількісне визначення хлоридів відбувалося за методом Мора [1]. Біотестування проводили за методикою А. Горової [7]. Для порівняння фітотоксичності за ростовим тестом використовували шкалу: 0-20 – відсутність або слабкий рівень токсичності, 20,1-40 – середній рівень, 40,1-60 – вище середнього рівня, 60,1-80 – високий рівень, 80,1-100 – максимальний рівень. Результати досліджень опрацьовували статистично.

Результати досліджень. Річка Стрий є однією з основних водних артерій Львівщини, на ній є водозабори, що забезпечують питною водою мешканців області. Тому стан вод контролюється у створах вздовж річки Стрий (м. Жидачів, м. Стрий, с. Верхнє Синьовидне).

Упродовж останнього десятиліття в європейській практиці оцінки стану вод присутні біологічні методи досліджень, що на державному рівні є одними з важливих показників якості [11, 12, 13]. Біотестування дозволяє швидко оцінити якість вод, не потребує значної кількості дороговартісних реактивів та спеціального обладнання.

У рамках виконання комплексного дослідження стану природних ресурсів Львівщини проводились окремі дослідження гідробіологічних показників вод річки Стрий у межах Дрогобицького та Стрийського районів вздовж течії від Нового Кропивника до місця впадіння в р. Дністер (с. Заліски). Протяжність точок моніторингу р. Стрий вздовж Карпатського передгір'я складає 79 км.

Рівень забруднення вод, а відповідно, й швидкість приросту корінців *Allium cepa* залежить від багатьох факторів: сезонності, температури, швидкості течії, глибини річки, ширини русла, відстані від джерел забруднення та ін. [7].

Необхідно відзначити, що впродовж зимово-весняного періоду 2021 року випала не значна кількість опадів, зима була малосніжною, а весна – досить сухою. Це спричинило маловоддя рік. Перші місяці літа відзначаються високими температурними піками (30-35 °C), що також призвело до зменшення рівня вод у річках.

У табл. 1. представлення результати біотестування вод річки Стрий у точках моніторингу на 4-ту, 7-му, і 10-ту доби: Новий Кропивник, Любинці, Гірне, Миртюки, Стрий, Жидачів, Заліски. У яко-

сті тест-об'єкта використовували цибулю звичайну (*Allium cepa*).

Необхідно відзначити, що приріст корінців *Allium cepa* на тлі вод р. Стрий на початковій (Новий Кропивник) і кінцевій (Заліски) точках моніторингу на 4-ту добу значно відрізняється, якщо у першій точці приріст знижується на 51,1%, то на кінцевій на 40,1% відносно контролю. Це свідчить про зменшення кількості політантів вздовж течії, що впливають на ріст і розвиток *Allium cepa*.

Проби в с. Новий Кропивник відібрані неподалік від курортногосмт. Східниця, що знаходиться вище за течією. Ймовірно, більшість побутових і комунальних відходів скидається неочищеними стоками в води річки Стрий.

Протяжність ріки Стрий від с. Нового Кропивника до с. Заліски становить орієнтовно 79 км. Результати досліджень свідчать, що води ріки природно очищаються й токсичність відповідно знижується.

Приріст корінців *Allium cepa* на тлі вод р. Стрий у передгірській зоні Стрийського району (с. Миртюки, с. Любинці, с. Гірне) на 4-ту добу знижується в межах 26,7-35,6% відносно контролю. Показники приросту на 7-му і 10-ту доби свідчать про незначне відхилення від контрольних значень. Порівняно з показниками у гірській зоні, відбувається значне зниження токсичності вод річки перед містом Стрий.

Результати досліджень вказують, що токсичність вод у межах міста Стрий у точках: Моршинський міст, Пляж, вул. Об'їзна одразу зростає порівняно з ділянками перед містом. Ймовірно кількість політантів зростає по мірі протікання річки через місто, адже зниження швидкості приросту у точці Моршинський міст складає 40,9%, а в кінці вул. Об'їзної – 49,5% порівняно з контролем.

Зниження приросту корінців для проби Стрий 1 «Моршинський міст» ймовірно пов'язано з рельєфом

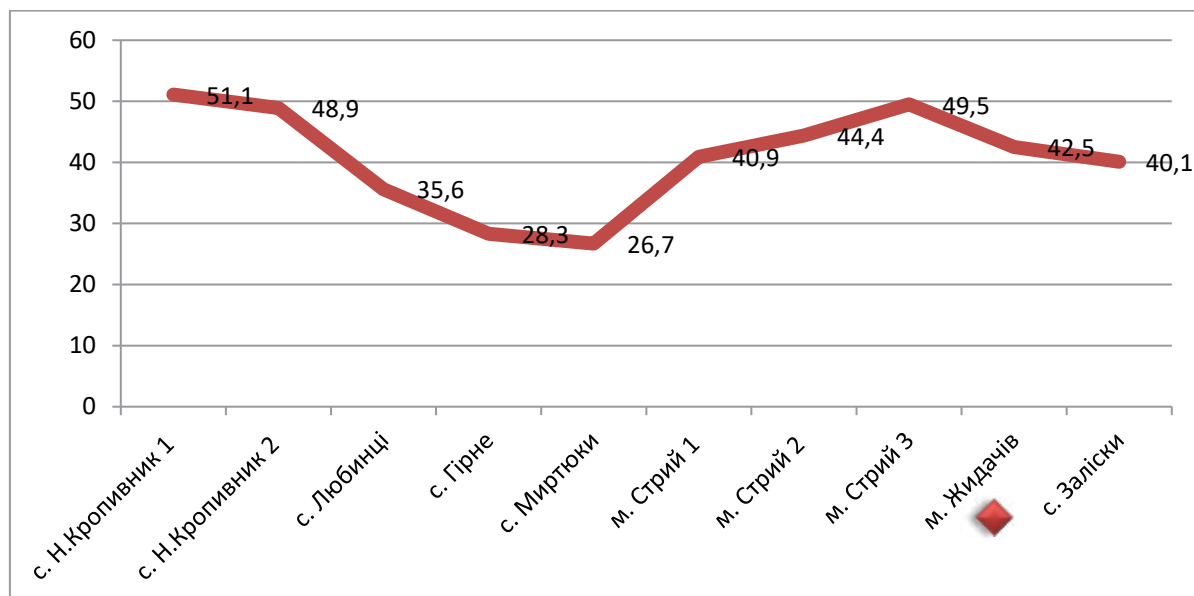


Рис. 1. Фітотоксичність вод р. Стрий у точках моніторингу

Таблиця 1

Ростові показники *Allium cepa* на тлі вод річки Стрий

Назва проби	4 доба	7 доба	10 доба	Т, %
Контроль	3,74±0,54	5,52±0,78	6,82±0,88	-
с. Новий Кропивник 1 («Навісний міст»).	1,83±0,21	3,05±0,47	5,11±0,74	51,1
с. Новий Кропивник 2 («Рибницький міст»).	1,91±0,52	4,68±0,84	6,18±0,91	48,9
с. Любинці	2,41±0,61	3,74±0,71	5,46±0,89	35,6
с. Гірне	2,68±0,77	4,07±0,68	6,15±0,91	28,3
с. Миртюки	2,74±0,84	4,93±1,04	6,25±1,32	26,7
м. Стрий 1 («Моршинський міст»)	2,21±0,51	3,46±0,84	5,71±0,98	40,9
м. Стрий 2 («Пляж»)	2,08±0,49	3,95±0,66	5,97±0,84	44,4
м. Стрий 3 («вул. Об'їзна Дорога», кінець)	1,89±0,37	4,21±0,64	6,25±1,22	49,5
м. Жидачів	2,15±0,42	3,56±0,94	5,11±1,07	42,5
с. Заліски	2,24±0,59	3,24±0,38	4,89±0,43	40,1

даної території та автомобільною розв'язкою на мості. У зв'язку із протіканням річки Стрий у низовині, під час танення снігів усі токсичні речовини з дороги та узбіч потрапляли у води ріки. Результати біотестування проби вод Стрий 2 «вул. Об'їзна Дорога», також вказують на значне антропогенне навантаження, оскільки тут проходить траса міжнародного значення Київ – Чоп.

Оцінка швидкості приросту корінців *Allium cepa* на тлі вод р. Стрий у всіх точках моніторингу на 4-ту добу дозволила визначити індекс фітотоксичності вод за шкалою.

У цілому, рівень фітотоксичності вод річки Стрий коливається в межах 26,7-51,1%. Це відповідає середньому рівню токсичності. Однак спостерігається певна закономірність динаміки змін фітотоксичності, найнижчий рівень у зразках вод р. Стрий з сіл Любинці, Гірне і Миртюки 26,7-35,6 % – середній рівень токсичності, одночасно у межах міста Стрий – 40,9-49,5%, що відповідає рівню вище середнього. Очевидно в межах міста відбувається більше забруднення вод побутовими відходами, неочищеними стоками. Варто також відзначити, що найвищий рівень фітотоксичності 51,1 % встановлено для вод у Новому Кропивнику (околицях Східниці). У цій точці моніторингу навіть візуально вода мала жовте забарвлення, спостерігалось її цвітіння.

Результати біотестування вказують, що сумарна дія розчинених у воді поллютантів зумовлює рівні токсичності – середній і вище середнього. Мітотичний аналіз дозволить оцінити не тільки візуальні відхилення в рості тест об'єкта, а й визначити можливі генетичні порушення.

Наступним етапом нашої роботи було визначення мітотичного індексу на тлі поверхневих вод р. Стрий, а також встановлення ана-телофазного співвідношення. Результати визначення співвідно-

шення клітин у різних стадіях мітозу представлені у табл. 2.

Сумарна дія поллютантів у воді може зумовлювати порушення проліферативної активності у меристемах корінців *Allium cepa* на тлі вод р. Стрий. Аналіз кількості клітин на різних стадіях мітозу дозволив побачити порушення мітотичної активності й кількості фаз. У деяких точках моніторингу відсутня телофаза мітозу, що є порушення мітотичного циклу. В обох точках с. Новий Кропивник і двох – у м. Стрий (№ 2 і 3) немає телофази, зменшується кількість клітин в анафазі. Необхідно відмітити, що саме в цих точках встановлені найвищі показники фітотоксичності (44,4-51,1%).

Аналіз результатів підрахунку клітин у різних стадіях мітозу у меристемі корінців *Allium cepa* на тлі вод р. Стрий у рівнинній частині свідчить про незначні коливання відсоткових значень фаз порівняно з контролем. Виявлені клітини у всіх фазах мітозу. Фітотоксичність вод у цих точках також є одного рівня – середнього.

Важливим показником цитотоксичного ефекту, що можуть зумовлювати досліджувані води, є співвідношення індекс проліферації (мітотичний) та показник А-Ті. Аналіз результатів досліджень показує, що мітотичний індекс у корінцях *Allium cepa* коливається в межах 42-66 %. Оскільки, меристема кореня – це тканина, клітини якої активно діляться, то показник нижче 50% є свідченням порушень проліферації [7]. Як видно з рис. 3.6., тільки у зразках вод з Нового Кропивника рівень проліферації порушений, оскільки мітотичний індекс складає 42-47%. Показник А-Ті коливається в межах 2,12-8,62 %, і є найнижчим у зразках з с. Нового Кропивника та м. Стрий (№ 3).

Отже, показники мітотичного аналізу вказують на цитотоксичний ефект вод р. Стрий у зразках

Таблиця 2

Вплив вод р. Стрий на мітотичні показники у корінцях *Allium cepa*

Назва проби	П, %	М, %	А, %	Т, %	Мі, %	А-Ті, %
Контроль	74,4	15,4	6,4	3,8	78	10,3
с. Новий Кропивник 1 («Навісний міст»).	87,2	10,6	2,1	0	47	2,12
с. Новий Кропивник 2 («Рибницький міст»).	92,8	4,8	2,4	0	42	4,76
с. Любинці	68,8	23,4	4,7	3,1	64	7,81
с. Гірне	72,7	21,3	3	3	66	6,61
с. Миртюки	74,6	17,5	4,8	3,1	63	7,93
м. Стрий 1 («Моршинський міст»)	80,4	14,3	3,6	1,8	56	5,36
м. Стрий 2 («Пляж»)	71,7	22,6	5,7	0	53	5,61
м. Стрий 3 («вул. Об'їзна Дорога», кінець)	78,8	17,3	3,8	0	52	3,84
м. Жидачів	76,8	17,9	3,6	1,7	56	5,36
с. Заліски	67,2	24,1	5,2	3,5	58	8,62

Таблиця 3

Гідробіологічні показники вод р. Стрий

Назва проби	Хлориди (мг/л)	Фосфати (мг/л)	Йони амонію (мг/л)
с. Новий Кропивник 1 («Навісний міст»)	194,12±6,41	0,0054±0,00022	4,51±0,38
с. Новий Кропивник 2 («Рибницький міст»)	181,55±6,23	0,0041±0,00015	5,71±0,87
с. Любинці	111,33±5,69	0,0021±0,00011	1,96±0,25
с. Гірне	113,41±5,14	0,0044±0,00017	1,81±0,37
с. Миртюки	120,29±5,83	0,0035±0,00022	2,16±0,65
м. Стрий 1 («Моршинський міст»)	144,13±4,87	0,0017±0,00008	2,96±0,31
м. Стрий 2 («Пляж»)	151,31±5,71	0,0037±0,00011	3,22±0,52
м. Стрий 3 («вул. Об'їзна Дорога», кінець)	171,5±8,85	0,0028±0,00001	3,76±0,19
м. Жидачів	121,35±5,48	0,0021±0,00009	2,46±0,23
с. Заліски	98,15±3,21	0,0032±0,00017	2,44±0,17

з с. Нового Кропивника та м. Стрий, що корелює з найвищими рівнями фітотоксичності визначеними у біотесті.

Проведення біотесту поверхневих вод р. Стрий вказало на проблемні ділянки з найвищими рівнями фітотоксичності та значними порушеннями проліферації клітин. Наступним етапом нашої роботи було визначення деяких екологічних показників якості вод, що можуть спричинювати токсичність: вміст хлоридів, фосфатів та йонів амонію.

У табл. 3. представлені результати визначення деяких гідробіологічних показників у точках моніторингу р. Стрий.

Аналіз результатів досліджень свідчить, що вміст хлоридів у водах річки Стрий коливається в межах 98,15-194,12 мг/л і не перевищує ГДК (250 мг/л). Найвищі значення хлоридів у воді встановлено у точках з с. Новий Кропивник та м. Стрий (№ 3) (171,5-194,12 мг/л). Під час протікання річки містом Стрий кількість хлоридів у воді зростає 144,13→171,5 мг/л.

Як видно з табл. 3, вміст фосфатів у водах річки Стрий коливається в межах 0,0017-0,0054 мг/л і є значно нижчим за ГДК (3,5 мг/л). Уміст іонів амонію у водах річки Стрий коливається в межах

1,81-5,71 мг/л. У зразках вод р. Стрий з с. Любинці, Гірне, Миртюки, м. Жидачів і с. Заліски показник іонів амонію не перевищує ГДК (2,6 мг/л). Одночасно, у пробах вод з міста Стрий вміст іонів амонію перевищує ГДК на 13,8-44,6 %, у в пробах з с. Новий Кропивник – на 73,5-119,6%.

Головні висновки. Результати біотестування вод р. Стрий показали результат сумарної дії полютантів на ріст і розвиток тест-об'єкту. Для вод р. Стрий відібраних вздовж течії встановлено середній і вище середнього рівні токсичності. Однією з причин токсичності вод може бути підвищений вміст іонів амонію, які як й інші сполуки нітрогену є небезпечними для людини і тварин. Прослідковується взаємозв'язок між рівнями фітотоксичності, порушенням проліферації у клітинах меристеми і вмістом іонів амонію у точках відбору вод у с. Новий Кропивник і м. Стрий.

Перспективи використання результатів досліджень. Дані аналізу гідробіологічних показників вод річки Стрий є частиною комплексного моніторингу довкілля Львівщини, його результати можна буде використовувати для просвітницької роботи з населенням і розробки системи контролю за станом та якістю вод.

Література

- Бриндзя І.В., Цайтлер М.Й., Досвідчинська М.Р. Моніторинг довкілля. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт. Дрогобич : Реакційно-видавничий відділ ДДПУ ім. І. Франка, 2014. 48 с.
- Горбачова Л. О. Сучасні пріоритети та напрямки гідроекологічних досліджень річкових басейнів. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Наук. збірник*. 2006. Том 11. С. 338–341.
- Дудник С.В., Глебова Ю.А. Моніторинг екологічної ситуації на водних об'єктах. *Вісн. Дніпропетр. держ. аграр. ун-ту*. 2011. № 2. С. 141–144.
- Екологічні паспорти Львівської області за 2018-2020 р. URL: <https://deplv.gov.ua/ekologichnyj-pasport/> (дата звернення: 05.09.2019)
- Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води. Київ: Вища школа, 2005. 671 с.
- Козловський М., Царик Й. Комплексні екологічні дослідження у басейні р. Дністер. *Збірник наукових праць*. 2000. 214 с.
- Кучеренко Т.В., Головатюк Є.О. Використання біотесту Allium сера L. (цибуля звичайна) для оцінювання антропогенного забруднення навколишнього середовища. *Агроекологічний журнал*. 2008. № 4. С. 79– 83

8. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / За ред.: А.В. Гриценко, О.Г. Васенко, Г.А. Верніченко. Харків: УкрНДІЕП, 2012. 37 с.
9. Міхєєв О.М., Гуца М.І., Шиліна Ю.В., Овсяннікова Л.Г. Застосування рослинних тест-систем для оцінки комбінованої дії стресорів різної природи на екосистеми. *Екологія*, 2006. С. 56–64
10. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища Львівської області (2018-2020 рр.). Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: <https://menr.gov.ua/> (дата звернення: 04.06.2020)
11. Хільчевський В.І. Хільчевський В.К., Осадчий В.І. Основи гідрохімії: підручник. К. : Ніка-Центр, 2012. 312 с.
12. Царенко О.М. та ін. Захист довкілля в умовах зростаючого техногенного навантаження на природу: навч. посіб. Суми : Слобожанщина, 2002. 464 с.
13. Шевчук В.М., Третяк С. К., Х. В. Бурштинська. Моніторинг змін русла річки Стрий з використанням ГІС–технологій. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2018. Вип. 1. С. 138–139.
14. Hoivanovych N., Antonyak H., Pavlyshak Ya. Quality analysis of water supply sources by hygienic indices using an example of the specialized regions in the Lviv region. *Acta Carpathica*. 2017. № 28. P. 55–61.
15. Hoivanovych N., Antonyak H., Kossak H., Krupinska E. Monitoring quality of well waters in Sambir region by physical and chemical indicators. Chapter 8. State of environment and human health / Ed. by A. Krynski, G. K. Tebug, S. Voloshanska. Czestochowa: Publishing House of Polonia University «Educator», 2019. P. 91–100.
16. Vyshotravka M., Voloshanska S., Hoivanovych N. Analysis of ecological indicators state for the water of the Stryi river. *Acta Carpathica*. 2019. № 31-32. P. 5–15.
17. Hoivanovych N., Voloshanska S., Monastyrsk S., Kovalchuk H., Lesyk Ya., Ivasivka A. Integrated Monitoring of the Spring Water Quality in the Mostyska District of Lviv Region. *Advances in Economics, Business and Management Research*. 2020. Vol. 129. P. 264–271.

ФІТОПЛАНКТОН ТА ЯКІСТЬ ВОДИ КАХОВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА У ЛІТНІЙ ПЕРІОД

Рудик-Леуська Н.Я., Леуський М.В., Євтушенко М.Ю., Хижняк М.І., Макаренко А.А.,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
вул. Генерала Родимцева 19, 03041, м. Київ
rudyk-leuska@ukr.net, leuskyi@ukr.net, n_yevtushenko@ukr.net, khyzhnyak_m@ukr.net,
almakarenko912@gmail.com

Наведено результати досліджень таксономічного складу, чисельності та біомаси фітопланктону, індексу сапробності у Каховському водосховищі влітку 2020–2021 рр. Фітопланктон водосховища протягом 2020–2021 рр. був представлений такими відділами: *Cyanophyta*, *Euglenophyta*, *Dinophyta*, *Chlorophyta*, *Bacillariophyta*, *Xanthophyta*. Середня чисельність фітопланктону влітку 2020 року в Каховському водосховищі на досліджених ділянках складала 122021 тис.кл./дм³ при біомасі 6,379 мг/дм³, а влітку 2021 року становила 169823,8 тис.кл./дм³ при біомасі 9,181 мг/дм³. У літній період 2020 року основу чисельності (99%) та біомаси (91%) фітопланктону формували синьо-зелені водорості, влітку 2021 року спостерігали аналогічну картину, де основу чисельності (99%) та біомаси (87%) фітопланктону формували також синьо-зелені водорості. Домінуючими видами серед них за чисельністю і біомасою влітку 2020 року були: *Microcystis wesenbergii* (91% та 84%), *M. aeruginosa* (7% та 6%), а у 2021 році – *Microcystis wesenbergii* (88% та 78%), *M. aeruginosa* (6% та 6%), *Aphanizomenon flos-aquae* (1% та 2%). У літній період 2020 року діатомові та зелені водорості при незначній чисельності (0,4% та 0,3%) формували 6% та 3%, влітку 2021 року – при незначній чисельності (0,6% та 0,6%) формували 9% та 4%, відповідно загальної біомаси водоростей. Динофітові та евгленові водорості влітку 2020 року набули зовсім незначного розвитку у Каховському водосховищі формуючи загалом 0,1% біомаси водоростей. Влітку 2021 року меншого розвитку у водоймі набули динофітові, евгленові та жовто-зелені водорості формуючи загалом 0,3% біомаси водоростей. Серед діатомових водоростей у 2020 році за біомасою переважали: *Melosira granulata* (2%), *M. italica* (0,5%), *Navicula cryptocephala* (1%), у літній період 2021 року *Melosira granulata* (2%), *M. italica* (2%), *Navicula cryptocephala* (1%), *Cymatopleura solea* (1%). Якість води Каховського водосховища, згідно домінуючих індикаторних видів сапробності, відноситься до β-мезосапробної зони на всіх досліджених ділянках. **Ключові слова:** Фітопланктон, Каховське водосховище, чисельність, біомаса, «цвітіння» води, індекс сапробності.

Phytoplankton and water quality of the Kakhovka reservoir in the summer period. Rudyk-Leuska N., Leuskyi M., Yevtushenko M., Leuskyi M., Khyzhnyak M., Makarenko A.

The results of research on the taxonomic composition, number and biomass of phytoplankton, the saprobity index in the Kakhovka Reservoir in the summer of 2020–2021 are given. Phytoplankton of the reservoir during 2020–2021 was represented by the following divisions: *Cyanophyta*, *Euglenophyta*, *Dinophyta*, *Chlorophyta*, *Bacillariophyta*, *Xanthophyta*. The average number of phytoplankton in the summer of 2020 in the Kakhovka reservoir in the studied areas was 122,021 thousand cells/dm³ with a biomass of 6.379 mg/dm³, and in the summer of 2021 it was 169,823.8 thousand cells/dm³ with a biomass of 9.181 mg/dm³. In the summer of 2020, *Cyanophyta* formed the basis of the number (99%) and biomass (91%) of phytoplankton, in the summer of 2021 a similar pattern was observed, where the basis of the number (99%) and biomass (87%) of phytoplankton was also formed by *Cyanophyta*. The dominant species among them in terms of number and biomass in the summer of 2020 were: *Microcystis wesenbergii* (91% and 84%), *M. aeruginosa* (7% and 6%), and in 2021 – *Microcystis wesenbergii* (88% and 78%), *M. aeruginosa* (6% and 6%), *Aphanizomenon flos-aquae* (1% and 2%). In the summer of 2020, diatom and green algae formed 6% and 3% in small numbers (0.4% and 0.3%), in the summer of 2021 – in small numbers (0.6% and 0.6%) formed 9% and 4%, respectively, of the total algae biomass. In the summer of 2020, *Dinoflagellate* and *Euglenozoa* developed very little in the Kakhovka Reservoir, forming a total of 0.1% of algae biomass. In the summer of 2021, *Dinoflagellate*, *Euglenozoa*, and yellow-green algae acquired less development in the reservoir, forming a total of 0.3% of algae biomass. Among the diatom in 2020, the biomass was dominated by: *Melosira granulata* (2%), *M. italica* (0.5%), *Navicula cryptocephala* (1%), in the summer of 2021, *Melosira granulata* (2%), *M. italica* (2%), *Navicula cryptocephala* (1%), *Cymatopleura solea* (1%). The water quality of the Kakhovka reservoir, according to the dominant saprobic indicator species, belongs to the β-mesosaprobic zone in all the studied areas. **Key words:** Phytoplankton, Kakhovka Reservoir, number, biomass, “blooming” of water, saprobity index.

Постановка проблеми. Антропогенний вплив на водойми має тенденцію до збільшення, що закономірно в сучасних високотехнологічних умовах життєдіяльності людини. Серед різноманітних видів антропогенного втручання у водні біоценози зростає водовикористання й регулювання водних об'єктів з метою їх комплексного використання. В екосистемі водойм під впливом людської діяльності виникають різні реструктуризаційні процеси. На всьому каскаді Дніпровських водосховищ спостерігається тенден-

ція щодо зменшення показників промислових уловів, через низьке відтворення водних живих ресурсів та випадків масової їх загибелі. Функціонування та продуктивність водосховищ, як і будь-яких інших водойм, визначається різноманіттям трофічних рівнів, головна роль з яких належить автотрофному, що в Дніпровських водосховищах формується за рахунок фітопланктону [15, 27, 28, 29, 46]. Асимілюючи сонячну радіацію і перетворюючи її в органічну речовину у процесі фотосинтезу, він створює пер-

винну продукцію, за рахунок якої через ланцюги живлення існують інші гідробіоти (організми, що живуть у воді) [10, 14, 32].

Актуальність досліджень. У формуванні продуктивності та біорізноманіття Дніпровських водосховищ важлива роль належить фітопланктону – найбільш масовому компоненту біоти гідро-екосистеми, який є первинною ланкою в трофічному ланцюзі. Фітопланктон є досить зручним об'єктом для вивчення динаміки показників у водному середовищі. Як відомо, видовий, кількісний та якісний склад фітопланктону безпосередньо залежить від умов середовища, його хімічного складу, фізичних показників, тощо. Тому його дослідження є особливо важливим та актуальним для моніторингу стану екосистем.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження проводилися в рамках науково-дослідної теми «Встановити особливості фізіологічного статусу риб в різні періоди річного циклу за умов глобального потепління та впливу антропогенних чинників» номер державної реєстрації 00493706 № 0120U102157 та продовження наукових досліджень буде використано для вивчення порівняльної характеристики фізіологічного стану риб за різних кліматичних умов на великих водосховищах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Каховське водосховище було створено у 1955–1958 рр. на Дніпрі при будівництві Каховської ГЕС, щоб одержати електроенергію, забезпечити водопостачання міст та промислових підприємств, зрошення і розвитку рибного господарства. Водойма займає велику степову зону, є самою нижньою у каскаді дніпровських водосховищ. Загальна площа Каховського водосховища складає 2155 км². Розташоване у межах таких територій, як Запорізької, Дніпропетровської та Херсонської областей. Довжина водосховища – 230 км, довжина берегової лінії – 896 км, середня ширина водойми – 9,4 км, середня глибина – 8,5 м (максимальна глибина біля греблі близько 36 м) [3, 12, 14].

У перші роки зарегулювання Дніпра масовий розвиток фітопланктону в Каховському водосховищі був спричинений явищем евтрофікації – забруднення води досить значною кількістю біогенів (вуглецю, азоту, фосфору тощо), що надходили у воду з затоплених водосховищами родючих земель. Наприкінці минулого століття вчені зробили висновок про те, що «цвітіння» поступово втрачає свою силу через стабілізацію процесів надходження біогенів у водосховища, але попри оптимістичні прогнози, процес «цвітіння» води Каховського водосховища із кожним роком збільшується. При цьому за даними СЕС у пробах переважають фосфати, що в основному потрапляють зі стічними водами. Саме через це синьо-зелені водорості одержали кращі умови до швидкого розмноження. У першу чергу, це пов'язано

з їх пластичністю й витривалістю до екстремальних температур та концентрацій солей, низького вмісту біогенів, слабкої освітленості, наявності сірководню у воді, низькій кількості кисню, а також здатністю багатьох з них до фіксації азоту. При масовому розвитку синьо-зелених водоростей утворюються характерні «плями цвітіння» [17, 21, 36, 38, 45, 50, 51], їх біомаса варіює у межах 10–100 мг/л. У результаті настає фаза масового відмирання та різко погіршується якість води: з'являється дефіцит кисню, у воді в досить великій кількості накопичуються токсичні метаболіти [20, 24, 30, 31, 33, 34, 37, 44, 47, 48, 49]. При цьому вода стає непридатною для тварин та використання людьми.

Фітопланктон Каховського водосховища є одноманітним, переважно він представлений 4–5 доміантними видами. Навесні переважають діатомові водорості, влітку – синьо-зелені, восени – синьо-зелені і діатомові. Для водосховища характерна велика кількість заток і балок, що виникли у гирлових ділянках річок та впадають у водойму. Завдяки цьому видове різноманіття водоростей значно збільшується. В окремі сезони у водоймі реєструється 100–250 видів, а всього зафіксовано близько 700 видових і внутрішньовидових таксонів водоростей. Найбільш різноманітно представлені зелені водорості – 238 видів (роди *Chlamydomonas*, *Pandorina*, *Tetrastrum*, *Scenedesmus*), на другому місці за видовим різноманіттям діатомові – 203 (*Navicula*, *Stephanodiscus*, *Melosira*) і синьо-зелені – 106 видів (*Microcystis*, *Oscillatoria*) [7]. За даними сучасних досліджень відмічається значне зниження біомаси синьо-зелених водоростей до 2,64–4,74 г/м³. Але поряд з цим зросла значимість зелених водоростей – до 27,73 г/м³, що складає більшу частку загальної біомаси [18]. За складом водоростей-індикаторів ступінь забруднення більшої ділянок Каховського водосховища відноситься до β-α-мезосапробної зони (індекс сапробності у 2010–2012 роках коливався від 1,94 до 2,73), що характеризує воду водосховища як помірно забруднену. Але за середньою чисельністю фітопланктону води Каховського водосховища відноситься до полігіпертрофних, що є суттєвим компонентом екологічного ризику [18]. Дослідженнями у сучасний період встановлено, що фітопланктон пониззя Дніпра формується переважно під впливом фітопланктону з Каховського водосховища, внутрішньоводоймових процесів та фітопланктону заплавної водойми [1]. Він характеризується досить високим видовим багатством і представлений прісноводно-солонуватоводним комплексом, причому частка прісноводних форм становить від 76 до 83% сумарної кількості таксонів. У заплавної водойми зафіксовано найбільше різноманіття водоростей. Основне значення в формуванні таксономічної різноманітності належить діатомовим, зеленим та синьо-зеленим водоростям. Середньорічна біомаса

фітопланктону може бути оцінена у 11,0 г/м³, продукція – 30000 кг/га, що відповідає високому рівню продуктивності.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Оцінка різноманіття біоти, зокрема її автотрофної ланки є одним із найважливіших завдань. Дані, що показують стан фітопланктону можуть бути отримані тільки у рамках постійно діючої системи моніторингу. В умовах постійних змін як гідрологічного режиму Каховського водосховища, так і антропогенного навантаження на екосистему, виникає необхідність у продовженні робіт із вивчення динаміки основних показників фітопланктону. Так, парадоксально низьким виявився рівень гідробіологічних досліджень Каховського водосховища, попри його унікальність.

Новизна. Встановлено особливості розвитку (видове багатство, склад домінуючого комплексу, чисельність, біомасу) фітопланктону Каховського водосховища в літній період. Проведено оцінку біопродукційного потенціалу та потенційної рибопродуктивності водосховища на сучасному етапі (2020–2021 рр.).

Методологічне або загальнонаукове значення. Провідна роль у функціонуванні прісноводних екосистем належить фітопланктону. У водоймах завдяки фотосинтезу формуються потоки енергії, а також фонд автохтонної органічної речовини. Фітопланктон, будучи первинною ланкою трофічних ланцюгів, є одним із основним показників формування якості води, завдяки участі в процесах самоочищення, фізико-хімічній трансформації та біотичному колообігу речовин. Досить швидко зміна якості водного середовища віддзеркалюється у структурно-функціональних характеристиках різноманіття гідробіонтів, насамперед, фітопланктону. Дослідження формування, функціонування автотрофної компоненти штучно створених водойм мають незаперечне теоретичне та прикладне значення для розробки принципів використання біопродукційного потенціалу штучних гідроекосистем і питань біоіндикації.

Викладення основного матеріалу.

Матеріали і методи досліджень. У літній період 2020–2021 рр. у Каховському водосховищі на ділянках – с. Біленьке, р/з Біленьке-Малокатеринівка, р-н с. Малокатеринівка був здійснений відбір фітопланктонних проб. На різних горизонтах фітопланктон відбирали батометром Бекмана. Проби консервували 40 % формальдегідом з розрахунку 1:100. Згущення проб проводили методом седиментації. У лічильній камері Нажотта (0,01 см³) під світловим мікроскопом продивлялися проби фітопланктону, ідентифікували їх, а потім підраховували всіх виявлених видів водоростей на 1,0 дм³ [2, 11].

За визначниками різних авторів проводили визначення таксономічного складу водоростей [5, 6, 19].

Розрахунково-об'ємним методом [2, 13, 16] визначали біомасу фітопланктону. Визначали індекс сапробності (S), використовуючи при цьому метод Пантле і Букка в модифікації Сладечека [35, 41] з використанням списків видів-індикаторів, за якими і встановлювали індикаторне значення сапробних організмів [9].

Індекс сапробності Пантле-Букка (S) обраховували за формулою:

$$S = \sum(s \times h) / \sum h, \text{ де}$$

S – сумарний індекс водного об'єкту;

s – індикаторна значимість виду;

h – абсолютна чисельність виду.

За шестибальною шкалою значень частоти знаходили величину h, на підставі якої визначали відповідну кількість видів.

Результати досліджень. Видове різноманіття фітопланктону в Каховському водосховищі було представлено 49 таксономічними одиницями. Найбільш чисельними були зелені водорості – 23 таксони, діатомові та синьо-зелені налічували – 12 та 10 таксонів, відповідно, а евгленові – 2 та динофітові – 1 таксон.

Середня чисельність фітопланктону влітку 2020 року в Каховському водосховищі на досліджених ділянках складала 122021 тис.кл./дм³ при біомасі 6,379 мг/дм³. Основу чисельності (99%) та біомаси (91%) фітопланктону формували ціанобактерії (синьо-зелені водорості). Діатомові та зелені водорості при незначній чисельності (0,4% та 0,3%) формували 6% та 3%, відповідно загальної біомаси водоростей. Динофітові та евгленові водорості набули зовсім незначного розвитку у водосховищі формуючи загалом 0,1% біомаси водоростей (табл. 1).

Домінуючими видами серед ціанобактерій за чисельністю і біомасою були: *Microcystis wesenbergii* (91% та 84%), *M. aeruginosa* (7% та 6%). Серед діатомових водоростей за біомасою: *Melosira granulata* (2%), *M. italica* (0,5%), *Navicula cryptocephala* (1%) (рис. 1).

Продукція фітопланктону за вегетаційний сезон може скласти 19137,0 кг/га, а можливий промисловий вилов риби за рахунок споживання фітопланктону – 52,1 кг/га.

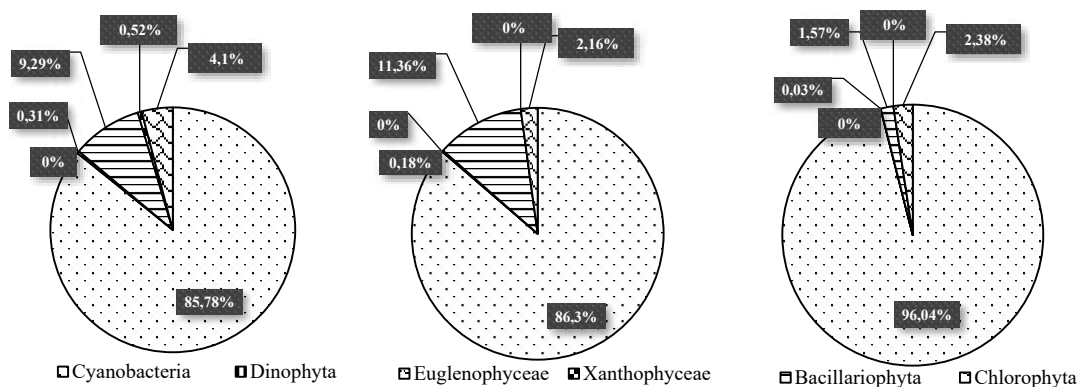
Якість води Каховського водосховища, згідно домінуючих індикаторних видів сапробності, відноситься до β-мезосапробної зони на всіх досліджених ділянках. За чисельністю клітин водоростей індикаторів сапробності переважають водорості, що відносять якість води в Каховському водосховищі до β-мезосапробної зони, так на ділянці «с. Біленьке» вони складають 99,2% від чисельності клітин видів індикаторів, на ділянці «р/з Біленьке-Малокатеринівка» – 99,4%, і «р-н с. Малокатеринівка» – 99,4% (табл. 2).

Всього на різних досліджених ділянках водосховища зафіксовано від 16 до 19 індикаторних видів фітопланктону. Найбільша кількість виявлених у водосховищі видів-індикаторів водоростей відно-

ситься до β -мезосапробної зони. Зокрема на ділянці «с. Біленьке» вони складають 38% від кількості видів індикаторів, на «р/з Біленьке-Малокатеринівка» – 47%, і «р-н с. Малокатеринівка» – 32%. Другими за

чисельністю були α - β -сапроби – складаючи відповідно до ділянок 19%, 21% та 26% (табл. 3).

Влітку 2021 р. видове різноманіття фітопланктону в Каховському водосховищі було представлено



с. Біленьке

р/з Біленьке-Малокатеринівка

р-н с. Малокатеринівка

Рис. 1. Біомаса основних груп фітопланктону у Каховському водосховищі в 2020 р., %

Таблиця 1

Чисельність (тис.кл./дм³) і біомаса (мг/дм³) фітопланктону в Каховському водосховищі, літо 2020 р.

Групи організмів	с. Біленьке		р/з Біленьке-Малокатеринівка		р-н с. Малока-теринівка		Середня	
	тис.кл./л мг/дм ³	% %	тис.кл./л мг/дм ³	% %	тис.кл./л мг/дм ³	% %	тис.кл./л мг/дм ³	% %
<i>Cyanobacteria</i>	<u>122543</u> 5,861	<u>98,97</u> 85,78	<u>53428</u> 2,543	<u>98,76</u> 86,30	<u>187140</u> 8,913	<u>99,74</u> 96,04	<u>121210</u> 5,799	<u>99,33</u> 90,86
<i>Euglenophyceae</i>	<u>8,8</u> 0,021	<u>0,01</u> 0,31	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>1,12</u> 0,001	<u>±</u> 0,03	<u>3,3</u> 0,007	<u>±</u> 0,12
<i>Dinophyta</i>	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>2,24</u> 0,005	<u>±</u> 0,18	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0,7</u> 0,002	<u>±</u> 0,03
<i>Bacillariophyta</i>	<u>725</u> 0,635	<u>0,59</u> 9,29	<u>414</u> 0,335	<u>0,77</u> 11,36	<u>188</u> 0,145	<u>0,10</u> 1,57	<u>442</u> 0,371	<u>0,36</u> 5,86
<i>Xanthophyceae</i>	<u>30</u> 0,036	<u>0,02</u> 0,52	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>10</u> 0,012	<u>0,01</u> 0,19
<i>Chlorophyta:</i>	<u>508</u> 0,280	<u>0,41</u> 4,10	<u>255</u> 0,064	<u>0,47</u> 2,16	<u>302</u> 0,222	<u>0,16</u> 2,38	<u>355</u> 0,188	<u>0,29</u> 2,96
<i>Volvocales</i>	<u>218</u> 0,080	<u>0,17</u> 1,18	<u>51</u> 0,020	<u>0,09</u> 0,69	<u>95</u> 0,035	<u>0,05</u> 0,37	<u>121</u> 0,044	<u>0,10</u> 0,71
<i>Ulothryhales</i>	<u>108</u> 0,172	<u>0,09</u> 2,51	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>26</u> 0,041	<u>0,01</u> 0,44	<u>45</u> 0,071	<u>0,04</u> 1,11
<i>Chlorococcales</i>	<u>182</u> 0,028	<u>0,15</u> 0,41	<u>199</u> 0,037	<u>0,37</u> 1,22	<u>114</u> 0,016	<u>0,06</u> 0,17	<u>165</u> 0,027	<u>0,14</u> 0,42
<i>Conjugatophyceae</i>	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>4</u> 0,007	<u>0,01</u> 0,25	<u>67</u> 0,130	<u>0,04</u> 1,40	<u>24</u> 0,046	<u>0,02</u> 0,72
Всього	<u>123815</u> 6,833	<u>100</u> 100	<u>54099</u> 2,947	<u>100</u> 100	<u>187631</u> 9,281	<u>100</u> 100	<u>122021</u> 6,379	<u>100</u> 100
Кількість таксонів	24		29		29		49	

Таблиця 2

Оцінка якості води Каховського водосховища згідно наявності організмів індикаторів сапробності в літній період 2020 р.

Види водоростей	Зона сапробності	Індекс сапробності	Чисельність клітин, кл./л на станціях відбору проб		
			с. Біленьке	р/з Біленьке Мало-катеринівка	р-н с. Малока-теринівка
<i>Phacus elegans</i>	о-β	1,5	4480	–	–
<i>Eudorina elegans</i>	β	1,85	–	–	17920
<i>Pandorina morum</i>	β	2,0	138240	–	–
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	β	2,2	–	28	–
<i>S. quadricauda</i>	β	2,0	–	8960	17920
<i>Actinastrum hantzschii</i>	β	2,0	4320	–	–
<i>Pediastrum duplex</i>	β	1,7	–	35840	–
<i>Pediastrum boryanum</i>	β	0,85	600	53760	–
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	β	2,15	–	–	35840
<i>Crucigenia tetrapedia</i>	о-α	1,75	–	–	11200
<i>Ulothrix zonata</i>	о	1,1	108000	–	25600
<i>Closterium moniliferum</i>	β	2,15	–	–	35840
<i>Stauroastrum apiculatum</i>	β-о	1,6	–	4480	4480
<i>Mougeotia genuflexa</i>	о	1,0	–	–	26880
<i>Spirogyra porticalis</i>	о-β	1,4	–	–	70
<i>Tribonema viride</i>	о-α	2,0	30240	–	–
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	β	2,25	388800	6720	–
<i>Anabaena spiroides</i>	о-β	1,35	–	2100	–
<i>A. flos-aquae</i>	β	2,0	2100	–	–
<i>Gomphosphaeria lacustris</i>	о-β	1,5	–	–	291200
<i>Microcystis aeruginosa</i>	β	1,75	–	20160000	4928000
<i>M. wessenbergii</i>	β	2,0	121608000	32614400	180630400
<i>Merismopedia tenuissima</i>	β-α	2,45	–	3360	–
<i>Amphora ovalis</i>	х-α	1,65	–	8960	6720
<i>Asterionella formosa</i>	о-β	1,4	–	17920	17920
<i>Synedra acus</i>	β	1,85	–	35840	–
<i>S. ulna</i>	х-α	1,95	–	–	2240
<i>Melosira italica</i>	о-β	1,6	108000	22400	44800
<i>M. granulata</i>	β	1,8	216000	89600	–
<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	α	2,7	8640	38080	17920
<i>Navicula cryptocephala</i>	α	2,7	345600	190400	96320
<i>N. gracilis</i>	о-β	1,65	17290	–	–
<i>Caloneis amphisbaena</i>	β-α	2,35	25920	–	–
<i>Nitzschia sigmaidea</i>	β	2,0	–	2240	–
<i>Cyclotella comta</i>	о	2,0	3320	6720	2240
Індекс сапробності	–	–	1,85	1,84	1,76

55 таксономічними одиницями. Найбільш чисельними були зелені водорості – 25 таксони, діатомові та синьо-зелені налічували – 16 та 10 таксонів, відповідно, а евгленові – 2 та динофітові – 1 таксон.

Середня чисельність фітопланктону влітку 2021 року в Каховському водосховищі на досліджених ділянках складала 169823,8 тис.кл./дм³ при біомасі 9,181 мг/дм³. Основу чисельності (99%) та біомаси (87%) фітопланктону формували ціанобак-

терії (синьо-зелені водорості). Діатомові та зелені водорості при незначній чисельності (0,6% та 0,6%) формували 9% та 4%, відповідно загальної біомаси водоростей. Динофітові, евгленові та жовто-зелені водорості набули зовсім незначного розвитку у водосховищі формуючи загалом 0,3% біомаси водоростей (табл. 4).

Домінуючими видами серед ціанобактерій за чисельністю і біомасою були: *Microcystis*

Таблиця 3

Кількість видів індикаторів сапробності в Каховському водосховищі, літо 2020 р.

Зона сапробності	Станції відбору проб		
	с. Біленьке	р/з Біленьке-Малокатеринівка	р-н с. Малокатеринівка
β	6	9	6
β - α	2	2	—
α - β	3	4	5
α	2	2	2
α - β	2	1	3
α - β	—	1	2
α - β	1	—	1
всього	16	19	19

Таблиця 4

Чисельність (тис.кл./дм³) і біомаса (мг/дм³) фітопланктону в Каховському водосховищі, літо 2021 р.

Групи організмів	с. Біленьке		р/з Біленьке-Малокатеринівка		р-н с. Малока-теринівка		Середня	
	тис.кл./л мг/дм ³	% %	тис.кл./л мг/дм ³	% %	тис.кл./л мг/дм ³	% %	тис.кл./л мг/дм ³	% %
<i>Cyanobacteria</i>	<u>164261,5</u> 7,909	<u>98,7</u> 84,7	<u>78037,2</u> 3,766	<u>98,3</u> 85,0	<u>261372</u> 12,165	<u>99,1</u> 88,3	<u>167890,2</u> 7,947	<u>98,9</u> 86,6
<i>Euglenophyceae</i>	<u>11,0</u> 0,026	<u>±</u> 0,3	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>1,4</u> 0,002	<u>±</u> +	<u>4,1</u> 0,009	<u>±</u> 0,1
<i>Dinophyta</i>	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>2,8</u> 0,007	<u>±</u> 0,2	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0,9</u> 0,002	<u>±</u> +
<i>Bacillariophyta</i>	<u>1074,6</u> 0,918	<u>0,6</u> 9,8	<u>696,9</u> 0,522	<u>0,9</u> 11,7	<u>1034,7</u> 1,103	<u>0,4</u> 8,0	<u>935,4</u> 0,848	<u>0,6</u> 9,2
<i>Xanthophyceae</i>	<u>37,8</u> 0,045	<u>0,1</u> 0,5	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>12,6</u> 0,015	<u>±</u> 0,2
<i>Chlorophyta:</i>	<u>1012,6</u> 0,437	<u>0,6</u> 4,7	<u>639,0</u> 0,137	<u>0,8</u> 3,1	<u>1289,8</u> 0,507	<u>0,5</u> 3,7	<u>980,6</u> 0,36	<u>0,5</u> 3,9
<i>Volvocales</i>	<u>291,6</u> 0,107	<u>0,2</u> 1,2	<u>64,0</u> 0,025	<u>0,1</u> 0,6	<u>239</u> 0,103	<u>0,1</u> 0,7	<u>198,2</u> 0,079	<u>0,1</u> 0,8
<i>Ulothryales</i>	<u>135</u> 0,215	<u>0,1</u> 2,3	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>32</u> 0,051	<u>±</u> 0,4	<u>55,7</u> 0,087	<u>±</u> 1,0
<i>Chlorococcales</i>	<u>581,9</u> 0,112	<u>0,3</u> 1,2	<u>566,7</u> 0,098	<u>0,7</u> 2,2	<u>934,7</u> 0,191	<u>0,4</u> 1,4	<u>694,5</u> 0,134	<u>0,4</u> 1,5
<i>Conjugatophyceae</i>	<u>4,1</u> 0,003	<u>±</u> +	<u>8,3</u> 0,014	<u>±</u> 0,3	<u>84,1</u> 0,162	<u>±</u> 1,2	<u>32,2</u> 0,06	<u>±</u> 0,6
Всього	<u>166397,5</u> 9,335	<u>100</u> 100	<u>79375,9</u> 4,432	<u>100</u> 100	<u>263697,9</u> 13,777	<u>100</u> 100	<u>169823,8</u> 9,181	<u>100</u> 100
Кількість таксонів	38		34		41		55	

wesenbergii (88% та 78%), *M. aeruginosa* (6% та 6%), *Aphanizomenon flos-aquae* (1% та 2%). Серед діатомових водоростей за біомасою: *Melosira granulata* (2%), *M. italica* (2%), *Navicula cryptocephala* (1%), *Cymatopleura solea* (1%) (рис. 2).

Потенційна продукція фітопланктону за вегетаційний сезон може скласти 27543,0 кг/га, а можливий промисловий вилов риби за рахунок споживання фітопланктону – 76,7 кг/га.

Якість води Каховського водосховища, згідно домінуючих індикаторних видів сапробності, відноситься до β -мезосапробної зони на всіх досліджених ділянках. За чисельністю клітин водоростей індикаторів сапробності переважають водорості, що відносяться до β -мезосапробної зони. Так на ділянці «с. Біленьке» вони складають 98% від чисельності клітин видів індикаторів, на ділянці «р/з Біленьке-Малокатеринівка» – 97%, і «р-н с. Малокатеринівка» – 95% (табл. 5).

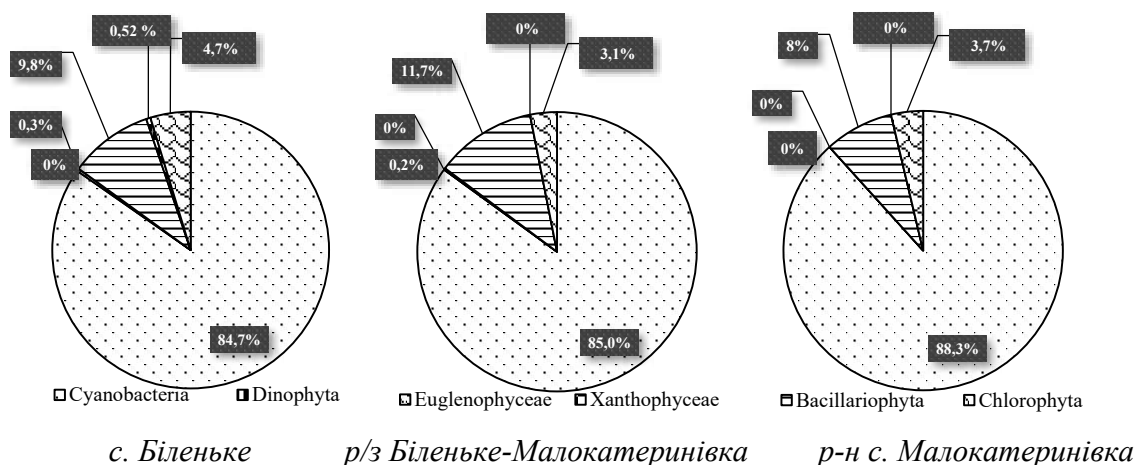


Рис. 2. Біомаса основних груп фітопланктону у Каховському водосховищі в 2021 р., %

Всього на різних досліджених ділянках водосховища зафіксовано від 21 до 26 індикаторних видів фітопланктону. Найбільша кількість видів індикаторів водоростей зафіксованих у водосховищі відноситься до β -мезосапробної зони, так на ділянці «с. Біленьке» вони складають 38% від кількості видів індикаторів, на «р/з Біленьке-Малокатеринівка» – 43%, і «р-н с. Малокатеринівка» – 42%. Другими за чисельністю були α - β -сапроби – складаючи відповідно до ділянок 25%, 24% та 23% (табл. 6).

Надходження у Каховське водосховище органічних речовин та мінеральних солей з стічними водами підприємств, які знаходяться поблизу, призводить до поширення, а також збільшення кількості видів хлорококових та синьо-зелених водоростей, що є властивим для водойм із високою евтрофікацією [8]. Зазвичай, кожного року по всій акваторії водосховища відбувається два спалахи цвітіння води, що спостерігається навесні – діатомовими водоростями при температурі води 4–8 °C у березні-квітні та літньо-осінній період синьо-зеленими водоростями за температури води вище 19 °C із середини червня і до початку жовтня. Перше цвітіння зумовлюється водоростями роду *Melosira*, а друге – *Microcystis*. Враховуючи весняне «цвітіння», біомаса фітопланктону в центральній частині водосховища у 2010 році варіювала від 4,8 до 46 г/м³ за норми для рибогосподарських водойм – 20–30 г/м³. Найбільш небезпечними є спекотні сонячні дні, коли температура повітря підвищується до 18–32 °C, а води 21–25,8 °C. У результаті летальних наслідків з екосистеми випадають найчутливіші види – рак широкопалый (*Astacus astacus*), судак звичайний (*Sander lucioperca*) тощо [37].

Необхідно зауважити, що синьо-зелені водорості – *Microcystis*, *Anabaena* виділяють токсини, що негативно впливають на процеси природного самоочищення водойм. Експериментально встанов-

лено, що токсини синьо-зелених водоростей пригнічують життєдіяльність нітрифікуючих бактерій, у зв'язку з чим процес мінералізації закінчується на першій фазі, що супроводжується зниженням у воді концентрації мінералізованих форм азоту [4, 31, 33, 37, 39, 40, 49]. Схожі явища здатні призводити до загибелі гідробіонтів, а також масових задух риб на водоймах. Деякі види ціанобактерій виробляють токсини, які впливають на здоров'я людей [43], коли вони вживають забруднену воду, рибу, молюски, купаються у водоймі. За впливом на організм людини токсини ціанобактерій поділяють на гепатотоксини (впливають на печінку) і нейротоксини (впливають на нервову систему) [23]. Ціанобактерії виду *Cylindrocapsa raciborskii* можуть виробляти токсичні алкалоїди, що спричиняють у людей гастроентерологічні симптоми чи хвороби нирок [42].

Від високих рівнів концентрації токсинів ціанобактерій у воді також можуть отруїтися тварини, птахи і риби. Для них вони несуть смертельну небезпеку. Досить відомі випадки масового отруєння домашніх тварин, що пили воду з водойм із синьо-зеленими водоростями [22].

Прісноводні ціанобактерії (синьо-зелені водорості) – *Microcystis aeruginosa* і *Anabaena flos-aquae* можуть продукувати гепатотоксичні пептиди, які спричиняють ознаки отруєння в мишей (LD₅₀, 50 мкг/кг) [25, 26].

У Каховському водосховищі виявлено, що домінуючими видами серед ціанобактерій за чисельністю та біомасою в літній період 2020 року були: *Microcystis wessenbergii*, *M. aeruginosa*, у 2021 році – *Microcystis wessenbergii*, *M. aeruginosa*, *Aphanizomenon flos-aquae*. Проаналізувавши дані по фітопланктону, а також його наявну продукцію встановлено, що у водосховищі риби – фітофаги цілком забезпечені їжею.

Таблиця 5

**Оцінка якості води Каховського водосховища згідно наявності організмів
індикаторів сапробності в літній період 2021 р.**

Види водоростей	Зона сапробності	Індекс сапробності	Чисельність клітин, кл./л на станціях відбору проб		
			с. Біленьке	р/з Біленьке Мало-катеринівка	р-н с. Малока-теринівка
<i>Phacus elegans</i>	о-β	1,5	5600	—	—
<i>Eudorina elegans</i>	β	1,85	10910	—	22400
<i>Pandorina morum</i>	β	2,0	180800	—	120000
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	β	2,2	—	35	105000
<i>S. quadricauda</i>	β	2,0	8580	17450	157400
<i>Actinastrum hantzschii</i>	β	2,0	5400	—	—
<i>Pediastrum duplex</i>	β	1,7	—	44800	24000
<i>Pediastrum boryanum</i>	β	0,85	80529	158571	—
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	β	2,15	—	—	44800
<i>Crucigenia tetrapedia</i>	о-α	1,75	5455	—	—
<i>Ulothrix zonata</i>	о	1,1	135000	—	32000
<i>Closterium moniliferum</i>	β	2,15	—	—	44800
<i>Stauroastrum apiculatum</i>	β-о	1,6	1363	8327	5600
<i>Mougeotia genuflexa</i>	о	1,0	—	—	33600
<i>Spirogyra porticalis</i>	о-β	1,4	—	—	87
<i>Tribonema viride</i>	о-α	2,0	37800	—	—
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	β	2,25	2204325	1522163	3015000
<i>Anabaena spiroides</i>	о-β	1,35	37503	77631	220833
<i>A. flos-aquae</i>	β	2,0	42173	—	—
<i>Gomphosphaeria lacustris</i>	о-β	1,5	22500	45000	4564000
<i>Microcystis aeruginosa</i>	β	1,75	—	25200000	8185000
<i>M. wessenbergii</i>	β	2,0	160703906	50382438	236916333
<i>Merismopedia tenuissima</i>	β-α	2,45	—	4200	4992000
<i>Amphora ovalis</i>	х-α	1,65	—	11200	8400
<i>Asterionella formosa</i>	о-β	1,4	—	22400	22400
<i>Synedra acus</i>	β	1,85	500	44800	24000
<i>S. ulna</i>	х-α	1,95	1681	1363	19300
<i>Melosira italica.</i>	о-β	1,6	244100	180740	626000
<i>M. granulata</i>	β	1,8	310912	112000	81000
<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	α	2,7	10800	47600	22400
<i>Navicula cryptocephala</i>	α	2,7	446319	261183	144400
<i>N. gracilis</i>	о-β	1,65	21612	—	—
<i>Caloneis amphisbaena</i>	β-α	2,35	32400	—	—
<i>Nitzschia sigmaidea</i>	β	2,0	—	2800	—
<i>Cyclotella comta</i>	о	2,0	4150	8400	2800
Разом			166397584	79375984	263697870
Індекс сапробності	—	—	2,38	1,83	1,82

Головні висновки. Влітку 2020–2021 рр. біомаса фітопланктону Каховського водосховища варіювала у межах 6,379 мг/дм³ (2020 р.) до 9,181 мг/дм³ (2021 р.), значною мірою формувалась за рахунок розвитку синьо-зелених водоростей. Продукційні можливості Каховського водосховища влітку 2020–2021 рр. становили від 19137,0 до 27543,0 кг/га, тобто сучасний рівень вегетації водоростей може

забезпечити промисловий вилов риби фітопактофагів на рівні 52,1–76,7 кг/га. Якість води Каховського водосховища, згідно домінуючих індикаторних видів сапробності, відноситься до β-мезосапробної зони на всіх досліджених ділянках. За чисельністю клітин водоростей індикаторів сапробності переважають водорості, що відносять якість води в Каховському водосховищі до β-мезосапробної

Таблиця 6

Кількість видів індикаторів сапробності в Каховському водосховищі, літо 2021 р.

Зона сапробності	Станції відбору проб		
	с. Біленьке	р/з Біленьке-Малокатеринівка	р-н с. Малокатеринівка
β	9	9	11
α - β	6	5	6
β - α	2	2	2
α	2	2	2
α	2	1	3
α - α	1	2	2
α - α	2	—	—
всього	24	21	26

зони. Другими за чисельністю були α - β -сапроби. Необхідно і надалі проводити дослідження зміни чисельності та видового складу фітопланктону Каховського водосховища, так як він може бути індикатором раннього попередження забруднення та використаний для контролю подальших змін у водному середовищі.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати наших досліджень можуть бути використані у подальших моніторингових дослідженнях зміни кількісного та видового складу

фітопланктону Каховського водосховища. Видовий склад, таксономічне різноманіття, кількісний розвиток, структурна організація домінуючого комплексу визначає біоценологічні зв'язки водних екосистем, формує потоки енергії та колообіг речовин, визначає біоресурсний потенціал, який є основою природної кормової бази в системі «фітопланктон → зоопланктон → риби». Функціональні характеристики фітопланктону формують кисневий режим водних екосистем, визначають їхній самоочисний потенціал, що є основою якості води.

Література

- Алексенко Т. Л. Класифікація плавневих водойм пониззя Дніпра за біологічними показниками. Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол. 2010. № 2 (43). С. 3–6.
- Арсан О. М., Давидов О. А., Дьяченко Т. М. та ін. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод; за ред. В. Д. Романенка; НАН України. Ін-т гідробіології. Київ: «Логос», 2006. 408 с.
- Денисова А. И., Тимченко В. М., Нахшина Е. П. и др. Гидрология и гидрохимия Днепра и его водохранилищ. Отв. ред. М. А. Шевченко; АН УССР. Институт гидробиологии. Киев: Наук. думка, 1989. 216 с.
- Кирпенко Ю. А. Комбинированное действие токсина синезеленых водорослей и некоторых компонентов промышленных стоков на показатели качества воды. Гидробиол. журн. Т. XVIII. № 4. 1982. С. 35–37.
- Кондратьева Н. В. Визначник прісноводних водоростей Української РСР. Вип. 2. Синьо-зелені водорості – Cyanophyta. Клас Гормогонієві – Nostogoniophyceae. Київ: Наук. думка, 1968. 524 с.
- Коршиков О. А. Визначник прісноводних водоростей Української РСР. Вип. 4. Київ: Вид-во Акад. наук УРСР, 1938. 184 с.
- Машковський Н. І. Гідрологічний режим Дніпра в умовах зарегулювання стоку / Київ: Наук. думка, 1967. 387 с.
- Оксіюк О. П. Мікрофітобентос Каховського водосховища в сучасний період. Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол. Спеціальний випуск: Гідроекологія. 2010. № 2 (43). С. 377 – 379.
- Олексів І. Т. Показники якості природних вод з екологічних позицій. Львів: Світ, 1992. 232 с.
- Піднебесна Г. А., Курейшевич А. В. Дослідження індуктивними методами впливу різних факторів на вміст хлорофілу а у фітопланктоні Каховського водосховища. *Індуктивне моделювання складних систем*. 2016. Вип. 8. С. 167–175.
- Приймаченко А. Д. Фитопланктон и первичная продукция Днепра и Днепровских водохранилищ. Київ: Наук. думка, 1981. 271 с.
- Сиренко Л. А., Гавриленко М. Я. Цветение воды и евтрофирование. Киев: Наукова думка, 1978.
- Топачевский А. В., Масюк И. П. Пресноводные водоросли Украинской ССР / Под ред. М. Ф. Макаровича. Киев: Вища школа, 1984. 336 с.
- Федоненко О. В., Єсіпова Н. Б., Шарамок Т. С., Маренков О. М. Гідроекологічний стан Каховського водосховища. *Питання біоіндикації та екології*. Запоріжжя: ЗНУ. 2010. Вип. 15. № 2. С. 214–222.
- Щербак В. И., Семенюк Н. Е., Рудик-Леуская Н. Я. Акваландшафтное и биологическое разнообразие Национального природного парка «Нижнесульский», Украина / Под ред. В. И. Щербака. Киев: Фитосоцицентр, 2014. 266 с.
- Щербак В. И. Методи досліджень фітопланктону. Методичні основи гідробіологічних досліджень водних екосистем. Київ, 2002. С. 41–47.
- Bortolini J. C., da Silva P. R. L., Baumgartner G., Bueno N. C. Response to environmental, spatial, and temporal mechanisms of the phytoplankton metacommunity: comparing ecological approaches in subtropical reservoirs. *In Hydrobiologia*. 2018. Vol. 830. N 1. P. 45–61.

18. Breus D. S. Study of the ecological condition of the aquatorium of the Kakhovka water reservoir. *In Water bioresources and aquaculture*. 2020. N 2. P. 9–19.
19. Bukhtiyarova L. M. Diatoms of Ukraine. Inland waters. Kyiv, 1999. 133 p.
20. Cardoso A. S., Marwell D. T. B., Sobral M. do C. M., Melo G. L. de, Casé M. C. C. Análise da presença do fitoplâncton em bacia integrante do Projeto de Integração do Rio São Francisco, região semiárida, Nordeste brasileiro. *In Engenharia Sanitaria e Ambiental*. 2016. Vol. 22. N 2. P. 261–269.
21. Francé J., Varkitzi I., Stanca E., Cozzoli F., Skejić S., Ungaro N., Vascotto I., Mozetič P., Ninčević Gladan Ž., Assimakopoulou G., Pavlidou A., Zervoudaki S., Pagou K., Basset A. Large-scale testing of phytoplankton diversity indices for environmental assessment in Mediterranean sub-regions (Adriatic, Ionian and Aegean Seas). *In Ecological Indicators*. 2021. Vol. 126. 107630 p.
22. Francis G. Poisonous Australian Lake. *In Nature*. 1878. Vol. 18, N 444. P. 11–12.
23. Holtcamp W. The Emerging Science of BMAA: Do Cyanobacteria Contribute to Neurodegenerative Disease? *In Environmental Health Perspectives*. 2012. Vol. 120. N 3.
24. Hu R., Duan X., Peng L., Han B., Naselli-Flores L. Phytoplankton assemblages in a complex system of interconnected reservoirs: the role of water transport in dispersal. *In Hydrobiologia*. 2017. Vol. 800. N 1. P. 17–30.
25. Khyzhniak M. I., Rudyk-Leuska N. Y., Yevtushenko N. Y., Leuskyi M. V., Dudnyk S. V., Danchuk O. V., Dumych O. Y. Development and structure of phytoplankton in the middle part of Kremenchug reservoir. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020. Vol. 10. N 4. P. 132–136.
26. Krishnamurthy T., Carmichael W. W., Sarver E. W. Toxic peptides from freshwater cyanobacteria (blue-green algae). I. Isolation, purification and characterization of peptides from *Microcystis aeruginosa* and *Anabaena flos-aquae*. *In Toxicon*. 1986. Vol. 24. N 9. P. 865–873.
27. Li Y., Meng J., Zhang C., Ji S., Kong Q., Wang R., Liu J. Bottom-up and top-down effects on phytoplankton communities in two freshwater lakes. *In X. Guo (Ed.), PLOS ONE*. 2020. Vol. 15. N 4. e0231357 p.
28. Liu B., Stevenson R. J. Improving assessment accuracy for lake biological condition by classifying lakes with diatom typology, varying metrics and modeling multimetric indices. *In Science of The Total Environment*. 2017. Vol. 609. P. 263–271.
29. Lv J., Wu H., Chen M. Effects of nitrogen and phosphorus on phytoplankton composition and biomass in 15 subtropical, urban shallow lakes in Wuhan, China. *In Limnologia*. 2011. Vol. 41. N 1. P. 48–56.
30. Ma W.-X., Huang T.-L., Li X., Zhang H.-H., Ju T. Impact of short-term climate variation and hydrology change on thermal structure and water quality of a canyon-shaped, stratified reservoir. *In Environmental Science and Pollution Research*. 2015. Vol. 22. N 23. P. 18372–18380.
31. Mishra P., Garg V., Dutt K. Seasonal dynamics of phytoplankton population and water quality in Bidoli reservoir. *In Environmental Monitoring and Assessment*. 2019. Vol. 191. N 3.
32. Morozov O. V., Morozova O. S., Kerimov A. N. Hydrochemical mode of surface waters under climate change in the southern region of Ukraine. *In Water bioresources and aquaculture*. 2020. N 1. P. 24–34.
33. Nikolenko Y., Fedonenko O. Seasonal dynamics of phytoplankton indicators of the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir phytoplankton of the Zaporozhye reservoir. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. P. 121–128.
34. Oberholster P., Botha A.-M., Grobbelaar J. *Microcystis aeruginosa*: source of toxic microcystins in drinking water. *In African Journal of Biotechnology*. 2003. Vol. 3. N 3. P. 159–168.
35. Pantle F., Buck H. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. *Gas-und Wasserfach*. 1955. Bd 96. N 18. 604 S.
36. Rasconi S., Winter K., Kainz M. J. Temperature increase and fluctuation induce phytoplankton biodiversity loss – Evidence from a multi-seasonal mesocosm experiment. *In Ecology and Evolution*. 2017. Vol. 7. N 9. P. 2936–2946.
37. Rudyk-Leuska N. Ya., Yevtushenko N. Yu., Khyzhniak M. I., Leuskyi M. V., Kononenko R. V., Tson N. I., Dumych O. Y. Influence of temperature on the aquatic biota. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020. Vol. 10. N 3. P. 102–105.
38. Shcherbak V. I. Phytoplankton as a Model Object of Evaluating the Influence of Power Complexes on Water Ecosystems. *Engineering Simulation*. 1999. Vol. 16. P. 513–519.
39. Shevchuk S. A., Vishnevsky V. I., Shevchenko I. A., Kozytsky O. M. Research of water bodies of Ukraine using remote sensing data of the Earth. *Recruitment and water management*. 2019. Vol. 2. P. 146–156.
40. Sirenko L. A., Kirpenko Yu. A. Biologically Active Metabolites of Blue-Green Algae and Their Role in Epidemiology. *In Hydrobiological Journal*. 2000. Vol. 36. N 5. 14 p.
41. Sládeček V. (1973). System of water quality from the biological point of view. *Ergebnisse der Limnologie*. 1973. Vol. 7. N 1. P. 1–128.
42. Stewart I., Seawright A. A., Shaw G. R. Cyanobacterial poisoning in livestock, wild mammals and birds – an overview. *In Advances in Experimental Medicine and Biology*. 2008. P. 613–637.
43. Stewart I., Webb P. M., Schluter P. J., Shaw G. R. Recreational and occupational field exposure to freshwater cyanobacteria – a review of anecdotal and case reports, epidemiological studies and the challenges for epidemiologic assessment. *In Environmental Health*. 2006. Vol. 5, N 1.
44. Stotts R. R., Namikoshi M., Haschek W. M., Rinehart K. L., Carmichael, W. W., Dahlem, A. M., & Beasley, V. R. Structural modifications imparting reduced toxicity in microcystins from *Microcystis* spp. *In Toxicon*. 1993. Vol. 31. N 6. P. 783–789.
45. Sukhodol'skaya I. L., Manturova O. V., Griuk I. B. Phytoplankton of Small Rivers of the Rivne Region (Ukraine) and Relation of its Quantitative Parameters with Nutrients Content. *In Hydrobiological Journal*. 2015. Vol. 51. N 5. P. 50–61.
46. Vallina S. M., Cermenio P., Dutkiewicz S., Loreau M., Montoya J. M. Phytoplankton functional diversity increases ecosystem productivity and stability. *In Ecological Modelling*. 2017. Vol. 361. P. 184–196.
47. Wang S., Qian X., Han B.-P., Luo L.-C., Hamilton D. P. Effects of local climate and hydrological conditions on the thermal regime of a reservoir at Tropic of Cancer, in southern China. *In Water Research*. 2012. Vol. 46. N 8. P. 2591–2604.

48. Yakovenko V., Melnik S., Fedonenko E. Species Composition, Seasonal Dynamics and Distribution of Phytoplankton of the Zaporizke Reservoir. *In International Letters of Natural Sciences*. 2017. Vol. 62. P. 1–10.
49. Yan M., Chen S., Huang T., Li B., Li N., Liu K., Zong R., Miao Y., Huang X. Community Compositions of Phytoplankton and Eukaryotes during the Mixing Periods of a Drinking Water Reservoir: Dynamics and Interactions. *In International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. Vol. 17. N 4. 1128 p.
50. Yang M., Xia J., Cai W., Zhou Z., Yang L., Zhu X., Li C. Seasonal and spatial distributions of morpho-functional phytoplankton groups and the role of environmental factors in a subtropical river-type reservoir. *In Water Science and Technology*. 2020. Vol. 82. N 11. P. 2316–2330.
51. Zadorozhna G. M., Shcherbak V. I. Effect of solar radiation and water temperature on development of phytoplankton in the Kaniv reservoir. *Hydrobiological Journal*. Kyiv. 2016. Vol. 53. N 1.

ВОЄННІ КОНФЛІКТИ ТА ВОДА: НАСЛІДКИ Й РИЗИКИ

Строкаль В.П., Ковпак А.В.

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

Актуальність дослідження зумовлена воєнними діями РФ на території України, які завдають суттєвої непоправної шкоди навколишньому середовищу, створюючи «екоцид». Новизна наукової роботи полягає у виокремленні головних воєнних дій (їхніх наслідків та ризиків), які негативно впливають на стан водних об'єктів та їх якість, а також які можуть призвести до порушення стану та процесів у водній екосистемі; у виокремленні водних конфліктів, які існують в Україні з часів анексії Криму Російською Федерацією. Концепція наукової роботи включає аналіз та синтез теоретичних даних щодо обґрунтування воєнних дій, які чинять негативний вплив на стан водних ресурсів України, створюють ризики та зумовлюють наслідки для безпечного функціонування водних екосистем. Варто зазначити, що наслідки воєнних дій для довкілля спричиняють ризики та загрози для безпечного функціонування як суспільства в цілому, так і компонентів довкілля. Природні ресурси України у воєнний час потребують збереження та охорони. Дана проблема є актуальною і вимагає від науковців ретельного аналізу та оцінювання ситуації, знаходження шляхів та способів знешкодження завданих наслідків від російської агресії.

Виходячи з аналізу та синтезу інформаційних даних літератури, нами виокремлено наступні ключові положення:

1. Обґрунтовано основні положення водних конфліктів, їх причини виникнення та наслідки для водних ресурсів. Водні конфлікти поділено відповідно до типів, які базуються на використанні води як «тигар», «зброя» та «жертва». В Україні присутні прояви використання води як «зброя» та «жертва». Наведено їх приклади та характеристику.

2. Схематично зображена основна воєнна активність, яка впливає на стан водних ресурсів України. Зокрема наведено, що такі воєнні дії як вибухи підприємств нафтобаз, мінування водних об'єктів, руйнування водної інфраструктури, захоплення об'єктів водопостачання суттєво можна віднести до екологічних злочинів, які спричинили та можуть спричинити суттєві зміни у водному середовищі. Серед основних наслідків впливу воєнних дій на водні ресурси є забруднення вод важкими металами та азотовмісними елементами (мінування водойм, вибухи нафтобаз тощо), підтоплення територій та погіршення їхнього санітарного стану (руйнування та підірив дамб), відсутність централізованого водопостачання (руйнування насосних станцій). Основним ризиком може стати наявність дефіциту безпечної води для різних видів споживання внаслідок захоплення водної інфраструктури (наприклад – Північно-Кримського каналу та Каховської ГЕС) та руйнування дамб й насосних станцій (наприклад – греблі Оскільського водосховища в Харківській області, підірив дамби та насосної станції в гирлі р.Ірпінь при впадінні в Київське водосховище в Київській області); а також посилення процесів евтрофікації у водоймах за рахунок забруднення води різними компонентами та внаслідок підтоплення територій. *Ключові слова:* військові дії, забруднення річок, водні конфлікти, водна інфраструктура, збереження водних ресурсів.

Military conflicts and water: consequences and risks. Strokal V., Kovpak A.

The relevance of the study is determined by the military actions of the Russian Federation on the territory of Ukraine, which cause significant irreparable damage to the environment, creating “ecocide”. The novelty of the scientific work consists in highlighting the main military actions (their consequences and risks), which negatively affect the state of water bodies and their quality, as well as which can lead to a violation of the state and processes in the water ecosystem; in highlighting the water conflicts that have existed in Ukraine since the annexation of Crimea by the Russian Federation. The concept of the scientific work includes the analysis and synthesis of theoretical data on the justification of military actions that have a negative impact on the state of water resources of Ukraine, create risks and cause consequences for the safe functioning of water ecosystems. It is worth noting that the consequences of military actions for the environment cause risks and threats to the safe functioning of both societies as whole and environmental components. Ukraine’s natural resources in wartime require conservation and protection. This problem is urgent and requires scientists to carefully analyze and assess the situation, to find out and explore ways to prevent environmental pollution and water pollution.

Based on the analysis and synthesis of informational data from the literature, we highlighted the outcomes of our scientific work:

1. The main provisions of water conflicts, their causes and consequences for water resources are substantiated. Water conflicts are divided according to types based on the use of water as “tiger”, “weapon” and “victim”. In Ukraine, there are manifestations of the use of water as a “weapon” and “victim”. Their examples and characteristics are given.

2. The main military activity affecting the state of Ukraine’s water resources is shown schematically. In particular, it is stated that such military actions as explosions of oil depot enterprises, mining of water bodies, destruction of water infrastructure, and seizure of water supply facilities can be attributed to environmental crimes that have caused and may cause significant changes in the water environment. Among the main consequences of the impact of military actions on water resources are water pollution with heavy metals and nitrogen-containing elements (mining of reservoirs, explosions of oil tanks, etc.), flooding of territories and deterioration of their sanitary condition (destruction and undermining of dams), lack of centralized water supply (destruction of pumping stations). The main risk may be the presence of a shortage of safe water for various types of consumption due to the seizure of water infrastructure (for example, the North Crimean Canal) and the destruction of dams and pumping stations; as well as the strengthening of eutrophication processes in reservoirs due to water pollution by various components and as a result of flooding of territories. *Key words:* military operations, river pollution, water conflicts, water infrastructure, save water resources.

Постановка проблеми. Воєнні конфлікти, які виникли на території України з анексії Криму Російською Федерацією (з 2014 р) спричинили істотні зміни параметрів водного, повітряного, ґрунтового середовищ. З початку повномасштабного вторгнення Російської Федерації до України (з 22 лютого 2022 р.) ці зміни посилюються і їх наслідки для екосистеми є відчутними на п'ятий воєнних конфліктів. Лише за 150 днів після вторгнення РФ до України, водні ресурси України зазнали чимало впливів, що пояснюється забрудненням водних об'єктів важкими металами та різними хімічними елементами, підривом дамб та насосних очисних споруд, захопленням водної інфраструктури.

Актуальність дослідження. Актуальність дослідження зумовлена воєнними діями РФ на території України, які завдають суттєвої непоправної шкоди навколишньому середовищу, створюючи «екоцид». Російські війська завдають цілеспрямованих ударів по інфраструктурі для забору, очищення та постачання води, а також каналізаційних очисних спорудах [43]. Без води та каналізації наразі міста Луганської та Донецької областей, значно пошкоджені об'єкти водопостачання та водовідведення у Запорізькій, Харківській та Миколаївській областях. Російські війська постійно атакують інфраструктуру вздовж узбережжя Чорного та Азовського морів та кораблі на якірних стоянках, що призводить до забруднення вод і поширення токсинів у моря [44]. З вище сказаного очевидним є той факт, що військові дії російськими військами завдають непоправної шкоди водним об'єктам України та екосистемам в цілому, що зумовлює необхідність проведення систематичних й аналітичних наукових досліджень.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями полягає у синтезі теоретичних та інформаційно-аналітичних даних щодо виокремлення основних ризиків для водних ресурсів внаслідок воєнних дій та порушення екосистеми.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загальним питанням збереження водних ресурсів та їх управління присвячено чимало вітчизняних робіт (законодавча база в Україні щодо процесу реформування системи управління водними ресурсами – в роботах М.І. Ромашенко [13], водний менеджмент та його сутність розкрито у працях Макаренко Н.А. [14]; сутність принципу басейного управління, – присвячено роботи Климчик О.М., Пінкіна Т.В., Пінкін А.А. [15], Строкаль В.П. [11, 16], комплексна оцінка якості води, її методологія дослідження, джерела забруднення вод – викладено у працях Строкаль В.П. [17-19], Войтенко Л.В. [20] й інших) та закордонних (прогнозування стану водних ресурсів внаслідок антропогенного навантаження, розробка сценаріїв якості вод внаслідок виникнення різних ризиків погіршення стану водойм [21-22], забруднення річок внаслідок діяльності тваринництва та нітратне

забруднення [23-24]). Питання впливу військової діяльності на стан водних ресурсів висвітлено у розрізі таких напрямів: ознаки збройних конфліктів та наслідки їх у регіоні Донбасу України розкрито у працях Хільчевського В.К. [30, 35]; приклади шляхів вирішення водних конфліктів представлено у працях Куцька О.М., Перемибіда Д.О. [38]. Проте питання щодо впливу військових дій на стан водних ресурсів України залишається відкритим, актуальним та затребуваним, оскільки ми маємо розуміти основні майбутні ризики для компонентів довкілля, щоб своєчасно попередити наслідки забруднення.

Новизна наукової роботи полягає у виокремленні головних воєнних дій (їхніх наслідків та ризиків), які негативно впливають на стан водних об'єктів та їх якість, а також які можуть призвести до порушення стану та процесів у водній екосистемі; у виокремленні водних конфліктів, які існують в Україні з часів анексії Криму Російською Федерацією.

Методологічне та загальнонаукове значення. Концепція наукової роботи включає аналіз та синтез теоретичних даних щодо обґрунтування воєнних дій, які чинять негативний вплив на стан водних ресурсів України, створюють ризики та зумовлюють наслідки для безпечного функціонування водної екосистеми.

Виклад основного матеріалу. Водні ресурси досить суттєво страждають від впливу воєнних конфліктів. Прояв визначається рівнем загострення проблеми та наслідками, які виникають у процесі водних конфліктів, та воєнних дій в цілому. У таблиці 1 наводимо причини водних конфліктів за їх типом, де «вода» виступає у трьох категоріях, зокрема як «тигер», «жертва», «зброя». Даний поділ типів водного конфлікту був розглянутий Хільчевським В.К. [35]. Відповідно до класифікації Тихоокеанського інституту (США) [42], воду розглядають як «тигер» – водний конфлікт, у якому *вода є ключовою причиною конфлікту*, коли виникає суперечка за контроль над водним об'єктом; «жертва» – водний конфлікт, в якому *забруднення водних об'єктів, руйнування або пошкодження водної інфраструктури* відбувається як навмисно так і випадного внаслідок воєнних дій та збройних конфліктів; «зброя» – водний конфлікт, в якому *водні об'єкти використовуються як інструменти* у насильницькому конфлікті.

За аналізом міжнародних вчених [27] вплив збройного конфлікту на водні ресурси є опосередкованим проявом водного тероризму, коли одна країна намагається захопити об'єкти водопостачання для своїх власних потреб, пошкодити водну інфраструктуру. За їхнім дослідженням, під час війни в Лівані (2006) водні ресурси постраждали внаслідок пошкодження каналізаційних ліній та очисних споруд в Ізраїлі, що призвело до відсутності доступу до безпечної води та забруднення Середземного моря. Ще прикладом прояву негативного впливу військових дій на водні об'єкти, є забруднення водних ресурсів Кувейту під час Перської війни внаслідок розливу

Таблиця 1

Причини та наслідки військових дій, базуючись на класифікації водних конфліктів

Тип водного конфлікту	Причини водного конфлікту	Наслідки для водних ресурсів (об'єктів)	Рівень загострення проблеми	Джерело
1	2	3	4	5
Міжнародні конфлікти				
Вода як «жертва»	Війна в Лівані (2006) – пошкодження каналізаційних ліній та очисних споруд в Ізраїлі	Забруднення водних ресурсів, відсутність доступу до безпечної води, забруднення Середземного моря	Транскордонний, національний	[27]
	Печерська війна – розлив нафтопродуктів, підлив промислових підприємств	Забруднення водних ресурсів Кувейту	Національний, регіональний	[27, 41]
	Боснійська війна – руйнування критично важливої водної інфраструктури	Відсутність централізованого водопостачання, відсутність доступу до безпечної води	Національний, регіональний	[35]
Національні конфлікти				
Вода як «жертва»	Анексія Криму Російською федерацією (з 2014 р.):			
	- пошкодження системи водопостачання Донецчини (червень 2014 р.)	Призупинено подачу водопостачання, обмежений доступ до безпечної води	Національний, регіональний	[35, 42]
	- зупинка каналу Сіверський Донець-Донбас (липень 2014 р.);		Національний, регіональний	
	- атака на водоочисні споруди у містах Бахмат, Щастя на Донецщині (2014-2015 рр.)	Відсутність безпечної води та централізованого водопостачання	Регіональний, локальний	
	- пошкодження насосної станції в районі Ясинуватої на Донецщині (2017 р.)	Відсутність централізованого водопостачання	Регіональний, локальний	
	- пошкодження трубопроводу каналу «Сіверський Донець-Донбас»	Відсутність централізованого водопостачання, відсутність доступу до безпечної води	Регіональний, локальний	
	Російське вторгнення в Україну (2022 р.):			
	- знищення російськими військами греблі Оскільського водосховища у Харківській області (березень 2022 р.)	Практично повне обміління водойми, зруйновано екосистему водосховища, знищено цінні види риб та іншої водної біоти	Регіональний, локальний	[43]
Вода як «зброя»	- захоплення Запорізького залізничного комбінату у с. Мала Білозерка Васильківського району Запорізької області (червень 2022 р.)	Можливе затоплення шахти, що призведе до забруднення водних водоносних горизонтів регіону залізом	Регіональний, локальний	[44]
Міжнародні конфлікти				
Вода як «зброя»	Війна в Іраку – встановлення контролю над річками Євфрат і Тигр	Відсутність доступу до безпечної води, забруднення прибережних водних ліній	Транскордонний, національний	[31]
Національні конфлікти				
Вода як «зброя»	Друга світова війна (1941 р.): підірвано греблю ДніпроГЕС (щоб зупинити наступ німецьких військ)	Відсутність доступу до безпечної води, затоплення територій	Регіональний, локальний	[35, 42]
	Анексія Криму Російською Федерацією (2014 р.): з 2014 року Україна припинила подачу води Північно-Кримським каналом у Крим	Росія звинуватила Україну в ООН у використанні води як зброї	Транскордонний, національний	[35, 42]

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5
Вода як «зброя»	Російське вторгнення в Україну (2022 р.):			[35, 42]
	- підрив дамби російськими військами для захвату Північно-Кримського каналу, забір води з Херсонської ГЕС до Криму	Зношення та замулення гідротехнічних споруд, збільшення дефіциту води	Транскордонний, національний	
	- підрив українськими військами дамби та насосної станції в гирлі р.Ірпінь (Київське водосховище) – з метою зупинення ворожої техніки у наступу до міста Київ	Затоплення територій, забруднення ґрунтів, води в результаті підтоплення.	Національний, регіональний, локальний	
Міжнародні конфлікти				
Вода як «тригер»	Війна між Еритреєю та Ефіопією – за доступ до портів у Червоному морі та і в Індійському океані	Забруднення прибережних морських зон, замор риби та водної біоти	Транскордонний, національний	[38-39]
	Конфлікт між Єгиптом-Суданом-Ефіопією – забезпечення контролю над водами річки Ніл	Забруднення прибережної території річки за рахунок будівництва водосховища ГЕС «Відродження Ефіопії»	Транскордонний, національний	[35]
	Збройний конфлікт між Сальвадором та Гондурасом – за спільний коридор у затоці Фонсека (Центральна Америка Тихого океану) та через конкуренцію портів Амапала (Гондурас) та Ла-Уніон (Сальвадор)	Забруднення прибережних морських зон, замор риби та водної біоти	Транскордонний, національний	[38, 40]
	Тихоокеанська війна Чилі з Болівією та Перу – за доступ до портів та до моря	Забруднення прибережних морських зон, замор риби та водної біоти	Транскордонний, національний	[38, 40]

нафти, що відбулося в результаті підливу промислових підприємств [41].

В ході оцінки впливу громадянської війни в Сирії [25] на якість природних вод, вченими було доведено, що в результаті воєнних дій та міграції населення показники якості води в частинах вододілу суттєво погіршилися, що спричинило погіршення води для питних цілей та підсилило процеси дифузного забруднення природних вод (Kılıç, E., 2018). Також Toset, H. P. W., Gleditsch, N. P., & Hegre, H. (2000) [26] у дослідженнях концентрували увагу на тому, що будь-які конфліктні ситуації, в тому числі і військові агресії в країнах – досить суттєво впливають на річкову систему, яка має транскордонне значення, зумовлюючи міжнародні водні проблеми. В результаті чого страждають природні води не лише тих країн в яких відбуваються конфлікти та агресії, але й країни, які мають спільні річки транскордонного значення.

Яскравим прикладом використання водної інфраструктури під час воєнних дій Першої світової війни є залучення водної інфраструктури Іраку, що була побудована військовими Британії проти Османської імперії з метою встановлення контролю над річками

Євфрат і Тигр [31]. Тобто ми бачимо прямий прояв водного тероризму, коли відбувався захват водних об'єктів для вирішення конфліктних ситуацій, або для власних потреб. У дослідженнях Aaron T. Wolf [32] зазначено, що існує ряд війн за водні об'єкти, які носять міжнародний та транскордонний характер, і у свою чергу спричиняють міжнародні конфлікти, особливо в тих країнах, які мають військові дії.

Не менш вагомим є факт, що водний простір становить особливу увагу для країн, які не мають прямого виходу до моря та потребують особливого водо-забезпечення. У працях Куцька О.М., Перемибіда Д.О. [38] розкрито історичні факти, які пов'язані із водними конфліктами тих країн, що не мали прямого виходу до моря, і відповідно боролися за це. Вченими у праці [38] запропоновано три шляхи вирішення даних конфліктів, зокрема: 1) отримання доступу до моря шляхом орендування морських портів на території іншої країни внаслідок укладання двох-сторонніх договорів (приклад базується на протиріччях Ефіопії та Еритреї, де Ефіопія обрала стратегію диверсифікації доступу до портів як у Червоному морі та і в Індійському океані; згодом Ефіопія, яка не маючи прямого виходу до моря, за рахунок укла-

дання договорів, змогла створити військово-морську базу в портах Массави й Ассаб, і таким чином досягти розвитку економіки свого регіону (Shay, S. (2022)) [39]); 2) утримання прав на вихід у море відповідно до рішення міжнародного суду (прикладом є збройний конфлікт між Сальвадором та Гондурасом, який виник спочатку як «футбольна війна», а згодом переріс у суперечку щодо спільного суходільного конфлікту [38, 40]); 3) відхилення міжнародним судом позову щодо отримання виходу до моря (прикладом є Тихоокеанська війна Чилі з Болівією та Перу, яку пов'язують прагненням першої захопити найбільші родовища селітри у болівійській та перуанській частинах пустелі Атакама, Болівія вимагала доступу до моря; хоча Міжнародний суд ООН в Гаазі відхилив позов до Чилі з боку Болівії, проте згодом була підписана Угода про дружбу [38, 40]).

Не зважаючи на те, чи вода використовується як «тигер, зброя» чи є «жертвою» – водні ресурси страждають від негативного впливу на їх об'єкти. Наслідки та ризики від військових дій для водних ресурсів носять як прямий так і опосередкований вплив. Вони зумовлюють негативний вплив як на людину, так і на водні екосистеми цілому.

Населення України зараз проживає у складний військовий час, коли агресія РФ руйнує не лише військові об'єкти та інфраструктуру, але й своїми діями, завдає непоправної шкоди водним ресурсам, руйнуючи їхню інфраструктуру, захоплюючи водні об'єкти, знешкоджуючи промисловість тощо. Слід зазначити, що будь-яка військова активність чинить вплив на безпеку та життєдіяльність населення території, а також загострює прояв небезпечних процесів у розрізі компонентів довкілля. На рисунку 1 схематично зображено військові дії, які можуть впливати на водні ресурси (прояв наслідків), чинити небезпеку та зумовлювати ризики для подальшого функціонування.

Загалом слід виокремити основні чотири види військових дій, які суттєво впливають на стан водних ресурсів та на якість води. Це захоплення водної інфраструктури, руйнування дамб та очисних стан-

цій, мінування водного простору, підлив нафтобаз та інших підприємств. На основі проаналізованої літератури (рис. 1, табл. 1-2), з'ясовано, що захоплення водної інфраструктури (наприклад – захват Північно-Кримського каналу для подачі води з р.Дніпро до анексованого Криму) спричинює ризик дефіциту води; руйнування дамб та очисних станцій (наприклад – підлив українськими військами дамби та насосної станції в гирлі р.Ірпін при впадінні в Київське водосховище на Дніпрі) спричинює ризик підтоплення територій та водної біоти, що у свою чергу може призвести до екологічних наслідків як забруднення води; мінування (наприклад – замінування прибережних морських узбереж Чорного моря) є чинником виникнення небезпеки для населення, загибелі водної біоти тощо. У таблиці 2 більш детально розкрито сутність виникнення ризиків та наслідків для водних ресурсів (об'єктів) внаслідок військової активності. Слід відмітити, що наслідки та ризики для водних ресурсів від вторгнення РФ до території України є суттєвими як для людини, так і для довкілля. Не слід забувати про те, що функціонування держави залежить від збалансованого розвитку усіх компонентів довкілля та суспільства в цілому.

Варто відмітити, що наслідки воєнних дій для довкілля спричинюють ризики та загрози для безпечного функціонування як суспільства в цілому, так і компонентів довкілля. Природні ресурси України у воєнний час потребують збереження та охорони. Дана проблема є актуальною і вимагає від науковців ретельно аналізу та оцінювання ситуації, знаходження шляхів та способів знешкодження завданих наслідків від російської агресії.

Базуючись на вище викладеному матеріалі, нами представлені основні воєнні дії внаслідок російської агресії, які впливають на стан водних ресурсів в Україні. Зокрема на рисунку 2 зображені воєнні дії у розрізі: вибухи підприємств, мінування водних об'єктів, руйнування водної інфраструктури, захоплення об'єктів водопостачання.

Виходячи з даних рисунку 2, можна сказати, що



Рис. 1. Військова активність: ризики та наслідки для екосистеми та людини

Таблиця 2

Наслідки та ризики для водних ресурсів під в результаті воєнних конфліктів [1-10; 30, 33, 35, 37]

Військові дії	Наслідки		Ризики	
	Для екосистеми	Для людини	Для екосистеми	Для людини
Руйнування каналізаційних ліній, очисних споруд, дамб (руйнування Ірпінської дамби; руйнування насосної станції у м. Васильків (Київської обл.); руйнування каналізаційної очисної станції на Запоріжжі). Руйнування греблі Оскільського водосховища на Харківщині	- надходження зворотних вод без будь-якого очищення	- відсутність доступу до безпечної води; – погіршення санітарних умов сільського та міського населення	- забруднення ґрунтових, підґрунтових та природних вод – пригнічення та загибель водної біоти; – підтоплення територій; – заростання водойм; – вимирання аквакультури; – цвітіння води, збільшення вмісту азотовмісних та фосфоровмісних речовин	- загальне захворювання; – погіршення епідеміологічного стану населення; – збільшення інфекційних хвороб
Обстріли підприємств, вибухи на них (пошкодження «Азовсталі» та резервуару з відходами хімічного виробництва; обстріли нафтобаз по території України та їх горіння)	- надходження до водойми оксидів сірки, азоту та іншими небезпечними речовинами	- погіршення санітарних умов; – погіршення якості повітря	- забруднення водних об'єктів в результаті дії накопичувального ефекту, коли оксиди з повітря, що виділяються під час горіння, випадають кислотними дощами на поверхню ґрунту й далі мігрують	- захворювання верхніх дихальних шляхів; – погіршення епідеміологічного стану населення
Мінування водних об'єктів: річок, морів (руйнування Дністровського лиману)	- загибель дельфінів та іншої водної біоти у прибережних зонах Чорного та Азовських морів; – загибель риб/аквакультури	- погіршення санітарних та рекреаційних умов	- масовий загибель флори та фауни	- небезпека для життя в результаті туристичних походів та відпочинку
Захоплення об'єктів водопостачання (Північно-Кримського каналу (Каховська ГЕС); Запорізька АЕС)	- зношення та замулення гідротехнічних споруд	- збільшення дефіциту води	- погіршення якості води для використання у різних сферах	- погіршення епідеміологічного стану населення; – збільшення інфекційних хвороб

станом на липень 2022 року найбільше впливу від військових дій зазнають басейни річки Дніпра та Дону (р.Сіверський Донець).

Головні висновки. Виходячи з аналізу та синтезу інформаційних даних літератури, нами виокремлено наступні ключові положення:

1. Обґрунтовано основні положення водних конфліктів, їх причини виникнення та наслідки для водних ресурсів. Водні конфлікти поділено відповідно до типів, які базуються на використанні води як «тигар», «зброя» та «жертва». В Україні присутні прояви використання води як «зброя» та «жертва». Наведено їх приклади та характеристики.

2. Схематично зображена основна воєнна активність, яка впливає на стан водних ресурсів України. Зокрема наведено, що такі воєнні дії як вибухи підприємств нафтобаз, мінування водних об'єктів, руйнування водної інфраструктури, захоплення об'єктів

водопостачання суттєво можна віднести до екологічних злочинів, які спричинили та можуть спричинити суттєві зміни у водному середовищі. Серед основних наслідків впливу воєнних дій на водні ресурси є забруднення вод важкими металами та азотовмісними елементами (мінування водойм, вибухи нафтобаз тощо), підтоплення територій та погіршення їхнього санітарного стану (руйнування та підірив дамб), відсутність централізованого водопостачання (руйнування насосних станцій). Основним ризиком може стати наявність дефіциту безпечної води для різних видів споживання внаслідок захоплення водної інфраструктури (наприклад – Північно-Кримського каналу та Каховської ГЕС) та руйнування дамб й насосних станцій (наприклад – греблі Оскільського водосховища в Харківській області, підірив дамби та насосної станції в гирлі р.Ірпін при впадінні в Київське водосховище в Київській

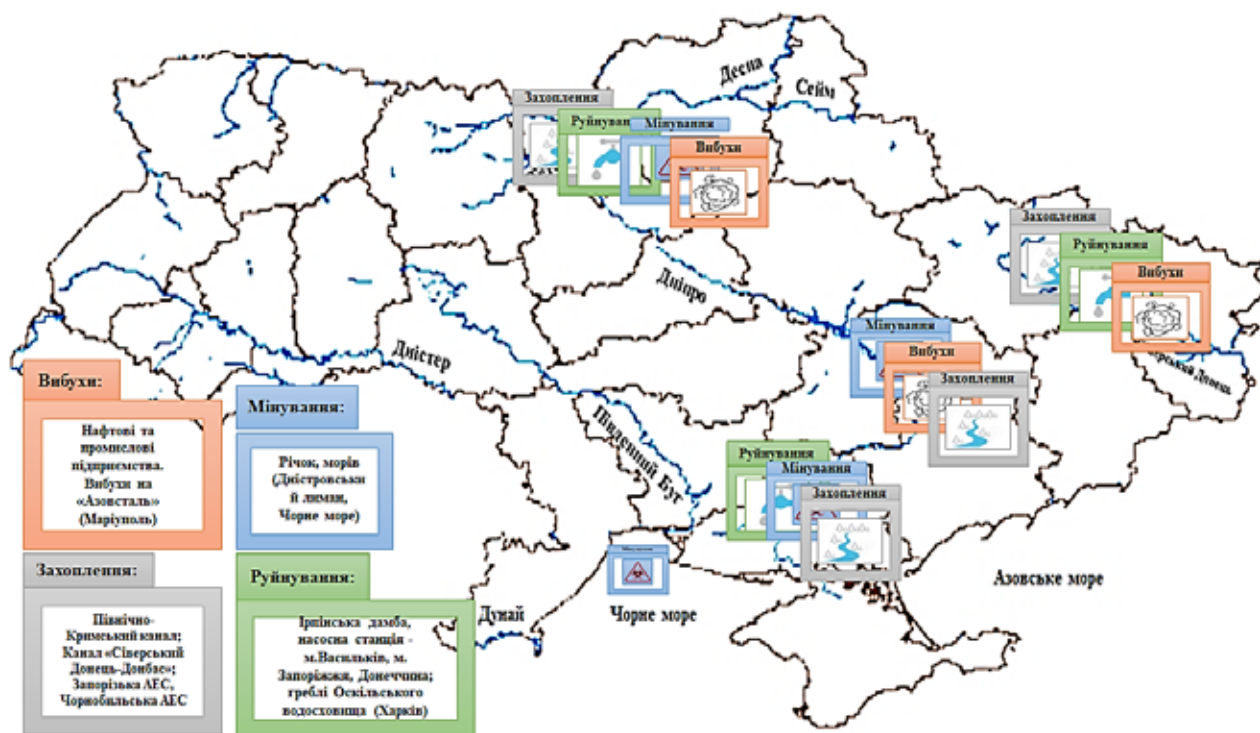


Рис. 2. Воєнні дії на території України, що прямо чи опосередковано завдають шкоди водним ресурсам (власна інтерпретація даних [1-10; 30, 33, 35, 37-44]; карта будувалася на основі ArcGIS з використанням «shape files» [34, 36])

області); а також посилення процесів евтрофікації у водоймах за рахунок забруднення води різними компонентами та внаслідок підтоплення територій.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження є важливими у моніторингових аналізах, виявленні наслідків вій-

ськових дій у погіршенні якості води. У перспективі, дані результати слугуватимуть як базис для встановлення причин та наслідків водних конфліктів. Подальших досліджень потребують суббасейни річки Дніпро, яка є головним водним джерелом постачання води в Україні.

Література

1. Жертвами війни Росії стало кілька тисяч дельфінів у Чорному морі. Екополітика. Новини екології України і Світу. URL: <https://ecopolitic.com.ua/ua/news/zhertvami-vijni-rosii-stalo-kilka-tisyach-delfiniv-u-chornomu-mori-foto-18/>
2. Дайджест ключових наслідків російської агресії для українського довкілля за 16-22 червня 2022 року: офіційний сайт Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів. URL: <https://mepr.gov.ua/news/39348.html>
3. Дайджест ключових наслідків російської агресії для українського довкілля за 9-15 червня 2022 року: офіційний сайт Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів. URL: <https://mepr.gov.ua/news/39320.html>
4. Дайджест ключових наслідків російської агресії для українського довкілля за 2-8 червня 2022 року: офіційний сайт Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів. URL: <https://mepr.gov.ua/news/39274.html>
5. Дайджест ключових наслідків російської агресії для українського довкілля за 26 травня – 1 червня 2022 року: офіційний сайт Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів. URL: <https://mepr.gov.ua/news/39252.html>
6. Дайджест ключових наслідків російської агресії для українського довкілля за 19-25 травня 2022 року: офіційний сайт Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів. URL: <https://mepr.gov.ua/news/39238.html>
7. Дайджест ключових наслідків російської агресії для українського довкілля за 11-18 травня 2022 року: офіційний сайт Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів. URL: <https://mepr.gov.ua/news/39218.html>
8. Дайджест ключових наслідків російської агресії для українського довкілля за 4-10 травня 2022 року: офіційний сайт Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів. URL: <https://mepr.gov.ua/news/39210.html>
9. Дайджест ключових наслідків російської агресії для українського довкілля за 15-18 квітня 2022 року: офіційний сайт Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів. URL: <https://mepr.gov.ua/news/39120.html>
10. Ecodozor: Війна в Україні: екологічні наслідки та ризики: платформа для оцінки екологічних загроз від війни. URL: <https://ecodozor.org/>
11. Vita Stokol (2021) Transboundary rivers of Ukraine: perspectives for sustainable development and clean water, *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 18:1, 67-87, DOI: 10.1080/1943815X.2021.1930058; URL: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/1943815X.2021.1930058>

12. Schillinger, J., Özerol, G., Güven-Griemert, Ş., & Heldeweg, M. (2020). Water in war: Understanding the impacts of armed conflict on water resources and their management. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 7(6), e1480. URL: <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/wat2.1480>
13. Romashchenko M.I., Yatsyuk M.V., Dehtyar O.O. (2018). Conceptual principles of water management reform in Ukraine. *Bulletin of Agrarian Science*. No 12 (789). 9-18: URL: https://agrovisnyk.com/archive_en_2018_12_02.html
14. Makarenko N, Budak O. (2017). Waste management in Ukraine: municipal solid waste landfills and their impact on rural areas. *Annals of Agrarian Science*. 15(1):80–87: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1512188717300209>
15. Klimchik O.M., Pinkina T.V., Pinkin A.A. (2018). Introduction of an integrated water resources management system based on the basin principle. *Scientific Journal «ScienceRise»*. No 4(45). 36-40
16. Strokal, V.P. Kовпак А.В. (2020). The basin approach for water resources management in ukraine: the swot analysis / Scientific journal “Biological systems: theory and innovation”, Том 11, № 4: URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/issue/view/598>, DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/biologiya2020.04.004>
17. Строкаль В.П., Ковпак А.В. Причинно-наслідкові зв'язки забруднення біогенними елементами басейну річки Дніпра: синтез теоретичних даних. Науково-практичний журнал «Екологічні науки». – Київ: Видавничий дім «Гельветика», Випуск 2 (35), 2021. – С. 37-44: URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.2-35.6>
18. Строкаль В.П., Ковпак А.В. Екологічний стан природних вод суббасейну Верхнього Дніпра та Десни: показники якості води і можливі причини їх погіршення. Науковий журнал «Біологічні системи: теорія та інновації». – Київ: Видавничий центр НУБіП України, Том 12, № 2, 2021. – С. 24-40 URL: DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/biologiya2021.02.003>
19. Strokal, V., Kuiper, E. J., Bak, M. P., Vriend, P., Wang, M., van Wijnen, J., & Strokal, M. (2022). Future microplastics in the Black Sea: River exports and reduction options for zero pollution. *Marine Pollution Bulletin*. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X22003150>
20. Войтенко, Л. В., & Кочетов, Я. В. (2021). Комплексна оцінка якості води: проблеми та рішення: URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/46701/1/Pure_water_2021-99-103.pdf
21. Strokal M, Spanier JE, Kroeze C, Koelmans AA, Flörke M, Franssen W, Hofstra N, Langan S, Tang T, Van Vliet MT, et al. 2019. Global multi-pollutant modelling of water quality: scientific challenges and future directions. *Curr Opin Environ Sustain*. 36:116–125. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187734351830023X>
22. Yang, J., Strokal, M., Kroeze, C., Ma, L., Bai, Z., Teurlincx, S., & Janssen, A. B. (2022). What is the pollution limit? Comparing nutrient loads with thresholds to improve water quality in Lake Baiyangdian. *Science of the Total Environment*, 807, 150710. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969721057880>
23. Li, Y., Wang, M., Chen, X., Cui, S., Hofstra, N., Kroeze, C., ... & Strokal, M. (2022). Multi-pollutant assessment of river pollution from livestock production worldwide. *Water research*, 209, 117906. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135421011003>
24. Santy, S., Mujumdar, P., & Bala, G. (2022). *Projection of the risk of nutrient pollution and eutrophication for mid-21st century under changing climate and land use land cover* (No. EGU22-75). Copernicus Meetings: URL: <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU22/EGU22-75.html>
25. Kılıç, E. (2018). Impact of Syrian civil war on water quality of Turkish Part of Orontes river. URL: <http://161.9.193.26/xmlui/handle/20.500.12508/659>
26. Tøset, H. P. W., Gleditsch, N. P., & Hegre, H. (2000). Shared rivers and interstate conflict. *Political geography*, 19(8), 971-996. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096262980000038X>
27. Schillinger, J., Özerol, G., Güven-Griemert, Ş., & Heldeweg, M. (2020). Water in war: Understanding the impacts of armed conflict on water resources and their management. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 7(6), e1480. URL: <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/wat2.1480>
28. World Bank. (2011). *World development report 2011: Conflict, security, and development*. The World Bank. URL: <https://elibrary.worldbank.org/doi/abs/10.1596/978-0-8213-8439-8>
29. Water under Fire: UNICEF for every child. URL: <https://www.unicef.org/media/51286/file>
30. Khilchevskyi, V. K., & Mezentssev, K. V. (2021, November). Water conflicts and Ukraine: Donbas region. In *15th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment* (Vol. 2021, No. 1, pp. 1-5). European Association of Geoscientists & Engineers. URL: <https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.20215K2004>
31. Dowdeswell, T. L., & Hania, P. (2014). Regulating water and war in Iraq: A dangerous dark side of new governance. *Indiana Journal of Global Legal Studies*, 21(2), 453-482. URL: <https://www.repository.law.indiana.edu/ijgls/vol21/iss2/3/>
32. Wolf, A. T. (1999). “Water wars” and water reality: conflict and cooperation along international waterways. In *Environmental change, adaptation, and security* (pp. 251-265). Springer, Dordrecht.
33. Крадіи води: як росіяни позбавляють нас водних ресурсів: Екорубрика. URL: <https://rubryka.com/article/russians-steal-ukrainian-water/>
34. MapCruzin: Ukraine ArcGIS Shapefile Map Layers. URL: <https://mapcruzin.com/>
35. Хільчевський В.К. (2022). Водні та збройні конфлікти – класифікаційні ознаки: у світі та в Україні. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. № 1(63). 6-19. URL: https://hydro-chemistry-ecology.knu.ua/wp-content/uploads/2022/06/1_%D0%93%D0%93%D0%93163.pdf
36. AmeriGEO: Ukraine – Subnational Administrative Boundaries. URL: <https://data.amerigeoss.org/it/dataset/ukraine-administrative-boundaries-as-of-q2-2017>
37. Окупанти зруйнували каналізаційні очисні споруди у Запорізькій області. Стічні води течуть у Дніпро. URL: <https://zn.ua/ukr/UKRAINE/okupanti-zruynuvali-kanalizatsijni-ochisni-sporudi-u-zaporizkij-oblasti-stichni-vodi-techut-u-dnipro.html>
38. Куцька, О. М., & Перемибіда, Д. О. (2022). Реалізація прагнення виходу до моря в рамках водних конфліктів XXI століття: зарубіжний досвід вирішення протиріч мирним шляхом. *Військово-науковий вісник*, (37), 270-291. URL: <http://vnnv.asv.gov.ua/article/view/260887>

39. Shay, S. (2022). Ethiopia–conflicts in three frontlines. *Security Science Journal*, 3(1), 76-94. URL: <http://securityscience.edu.rs/index.php/journal-security-science/article/view/70>
40. Gleick, P. H. (2000). Water conflict chronology. The world's water, 2008-2009: The biennial report on freshwater resources, 151-196. URL: https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=uIGRAsSAvtEC&oi=fnd&pg=PA151&dq=water+conflict+chronoly&ots=Ozv437j7Sq&sig=47gpkSjcz0_S9BzNAqHs2Fs1gTw&redir_esc=y#v=onepage&q=water%20conflict%20chronoly&f=false
41. Бурьян, М., & Бурьян, М. (2022). Російсько-перська (1826–1828) і російсько-турецька (1828–1829) війни: південнокавказький театр бойових дій. In *Știință, educație, cultură* (Vol. 3, pp. 306-311). URL: https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/154014
42. Water Conflict Chronology. 2022. Pacific Institute. URL: <https://www.worldwater.org/water-conflict/>
43. Дайджест ключових наслідків російської агресії для українського довкілля за 7-13 липня 2022 року: офіційний сайт Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів. URL: <https://mepr.gov.ua/news/39409.html>
44. Дайджест ключових наслідків російської агресії для українського довкілля за 16-22 червня 2022 року: офіційний сайт Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів. URL: <https://mepr.gov.ua/news/39348.html>

ПРИРОДНО-ШТУЧНИЙ БІОМЕЛІОРАТИВНИЙ КОМПЛЕКС ЯК НОВИЙ НАПРЯМОК БІОЛОГІЧНОЇ МЕЛІОРАЦІЇ РІЗНОТИПНИХ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ УКРАЇНИ

Яцюк М.В.¹, Щербак В.І.¹, Семенюк Н.Є.¹, Полятикіна О.О.¹, Лещук В.О.¹, Коротецький В.П.²

¹Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України
вул. Васильківська, 37, 03022, м. Київ

²Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ
mv_yatsiuk@ukr.n, ek424nat@ukr.net, natasemenyuk@gmail.com, mars108@meta.ua,
gelios009@gmail.com, barberv2017@gmail.com, mars108@meta.ua

Досліджено перспективний напрямок біологічної меліорації водних об'єктів – природно-штучний біомеліоративний комплекс (ПШБК), що створюється з гідробіонтів різних трофічних рівнів та екологічних груп і дозволяє сформувати потоки енергії та колообіг речовин й інтенсифікувати процеси самоочищення. Це призводить до мінімізації біологічних загроз та поліпшення якості води, використовуваної для різних господарських потреб. Переваги даного методу полягають у тому, що його застосування не призводить до зміни природного гідрохімічного режиму водних об'єктів та потребує менших затрат праці і коштів порівняно з фізичними та хімічними методами. Біологічна меліорація водних об'єктів не суперечить природоохоронному законодавству України і має статус природоохоронного заходу. У складі ПШБК можуть бути різні види риб, харчовим ресурсом яких є фітопланктон, вищі водні рослини, фітоперифітон, молюски та інші види зоооб'єктів, детрит. Визначено оптимальний видовий склад риб-біомеліорантів ПШБК та оптимальні вікові та вагові характеристики зарибку. Проаналізовано особливості функціонування ПШБК на різномісних водних об'єктах України: рівнинних водосховищах, штучних каналах для водогосподарських потреб, водних об'єктах урбанізованих територій та водоймищах-охолоджувачах ТЕС та АЕС. Під час створення ПШБК застосовується диференційований підхід до вибору його складових, який залежить від типу водного об'єкта та наявних біологічних загроз. Так, для мінімізації «цвітіння» води синьо-зеленими водоростями пропонується створення трофічного ланцюга «фітопланктон – білий товстолобик». За умови заростання акваторій вищими водними рослинами та надмірного розвитку нитчастих водоростей доцільним є створення трофічного ланцюга «макрофіти – білий амур». За надмірного розвитку зооперифітону (зообентосу твердих субстратів), зокрема молюсків роду *Dreissena*, до складу ПШБК пропонується додати чорного амура і коропа. *Ключові слова:* біомеліорація, біологічні загрози, фітопланктон, вищі водні рослини, рослиноїдні риби, природно-штучний біомеліоративний комплекс.

Natural-artificial bio-reclamation complex as a new area in biological reclamation of various water bodies of Ukraine.
Yatsiuk M., Shcherbak V., Semeniuk N., Poliatykin O., Leshchuk V., Korotetskiy V.

Present environmental changes, in particular significant human pressure and global climate fluctuations, increase the negative role of biological hazards in aquatic ecosystems' functioning. Such biological hazards include cyanobacterial blooms, water areas overgrowth with higher aquatic plants and filamentous algae, excessive development of periphytic and benthic invertebrates, for example, mollusks, accumulation of high amount of organic matter in the form of detritus, which, when being decomposed, reduces the dissolved oxygen content in water.

There are various methods and procedures for controlling biological hazards. Physical methods (such as removing macrophytes mechanically) are rather labor-consuming, and chemical methods (for example, using herbicides) may cause contamination of water-bodies with toxic substances.

Biological methods (in particular, biological reclamation) do not disturb the water-bodies' natural chemical conditions and require less labor and costs inputs. The bio-reclamation procedures described in the scientific literature, as a rule, include only herbivorous fish species introduction. However, the attention is not paid to aquatic ecosystems' other biotic components taking part in matter circulation and energy flow: phytoplankton, higher aquatic plants, benthic invertebrates.

Besides, there is no unified methodology for biological reclamation of different water bodies within Ukraine.

In the view of the above, the aim of this study is to propose a new method for biological reclamation of water bodies – Natural-Artificial Bio-reclamation complex (NABC), which allows to efficiently mitigate biological hazards.

The methodology for forming the NABC consists of several steps: 1) complex scientific research; 2) theoretical analysis of obtained field data; 3) creating the NABC.

The NABC implementation provides for forming new grazing food chains and detrital food chains. For this purpose, the water body is planted with fish species with various food spectra, consuming phytoplankton, higher aquatic plants, phytoperiphyton, zooperiphyton, detritus. It is important, that introduction of fishes-ameliorants does not bring about any competition for food with local fish species.

The NABC introduction in water bodies of various types allows mitigating biological hazards, forming energy flow and matter circulation, intensifying self-purification processes, and improving the water quality.

When creating the NABC it is necessary to apply an individual approach to selecting its components depending upon the water body's type and present biological hazards.

For controlling cyanobacterial blooms, it is proposed to create a grazing trophic chain "phytoplankton – *Hypophthalmichthys molitrix*". In case of water area overgrowth with higher aquatic plants and filamentous algae, it is reasonable to create a grazing trophic

chain “macrophytes – *Ctenopharyngodon idella*”. In water bodies with excessive development of periphytic invertebrates, in particular *Dreissena* mollusks, it is proposed to introduce *Mylopharyngodon piceus* and *Cyprinus carpio*. In case of detritus accumulation in large amounts, a detrital food chain may be created. For this purpose, *Hypophthalmichthys nobilis* and *Ctenopharyngodon idella* are introduced, which consume detritus.

The methodology is protected by a patent and has high prospects to be implemented in water bodies of Ukraine. *Key words*: bio-reclamation, biological hazards, phytoplankton, macrophytes, herbivorous fishes, Natural-Artificial Bio-reclamation Complex.

Постановка проблеми. Відповідно до Закону України «Про меліорацію земель» [8] *меліорація земель* – це комплекс гідротехнічних, культуртехнічних, хімічних, агротехнічних, агролісотехнічних, інших меліоративних заходів, що здійснюються з метою регулювання водного, теплового, повітряного і поживного режиму ґрунтів, збереження і підвищення їх родючості та формування екологічно збалансованої раціональної структури угідь.

Останнім часом у зв'язку з глобальними змінами клімату та антропогенним впливом (зокрема евтрофуванням) у водних екосистемах спостерігається зростання ролі *біологічних загроз*. Так, на сьогодні у різномісних водних об'єктах України існують такі основні типи біологічних загроз:

1. «Цвітіння» води планктонними синьо-зеленими водоростями (*Cyanobacteria*). Основними негативними наслідками «цвітіння води» є:

- формування плівки на поверхні води, що перешкоджає надходженню сонячної радіації у водну товщу;
- кисневе перенасичення в поверхневих горизонтах та дефіцит кисню в придонних горизонтах;
- надходження у воду органічних речовин, фенолів у воду після відмирання та деградації водоростевої біомаси;
- виділення алкотоксинів, які є небезпечними для гідробіонтів вищих трофічних рівнів (безхребетних, риб);
- забивання водоростями, особливо їх колоніями, зябрових щілин риб, зоопланктону, зообентосу;
- у водоймищах–охолоджувачах зниження теплопередачі в атмосферу через наявність плівки «цвітіння» на поверхні води та зменшення ефективності експлуатації водойм.

2. *Надмірний розвиток нитчастих водоростей*. Основними негативними наслідками є:

- формування механічних перешкод току води;
- надходження у воду органічних речовин, фенолів;
- інтенсифікація розвитку бактерій, які викликають гниття.

3. *Заростання акваторій вищими водними рослинами*. Негативними наслідками є:

- затінення водної товщі;
- формування кисневого дефіциту;
- інтенсифікація розвитку анаеробної мікрофлори;
- зменшення водного потоку в каналах;
- надходження у воду органічних речовин;
- багаторічне накопичення залишків кореневих систем, що призводить до зменшення потужності поперечної площі водного потоку [26].

4. *Масовий розвиток молюсків обростань*, зокрема видів роду *Dreissena*. Основні негативні наслідки:

- істотне зниження пропускної здатності водозабірних споруд;
- надходження у воду органічних речовин при відмиранні молюсків;
- поверхня мушлі дрейсени слугує едіфікатором для розвитку гіллястостусих ракоподібних, олігохет, гамарид [17].

Існують такі основні групи методів боротьби з біологічними загрозами:

- Фізичні (механічні), наприклад механічне видалення вищих водних рослин, молюсків. До прикладу, на Хмельницькій АЕС механічним шляхом за один цикл очищення з підвідного каналу було видалено до 700 т молюсків дрейсен [22]. Такі методи досить трудомісткі.
- Хімічні, зокрема використання спеціальних фарб чи додавання біоцидів до різних будівельних матеріалів тощо. Недоліком цих методів є те, що вони можуть призводити до надходження токсичних речовин у водні об'єкти.
- Біологічні методи, до яких належить біологічна меліорація.

Біологічна меліорація водного об'єкта – це поліпшення стану водного об'єкта за допомогою біологічних заходів, спрямованих на покращення умов існування корисних водних організмів та штучне підвищення біологічної та господарської продуктивності водних угідь. До таких заходів можуть належати [23]:

- поглиблення та розчищення водойм;
- збереження природних нерестовищ;
- облаштування штучних нерестовищ;
- рятування молоді риб з водойм, які відшнурувались від основної акваторії;
- інтродукція у водойми рослиноїдних риб (білого амура, білого і строкатого товстолобів, чорного амура) з метою боротьби з біологічними загрозами.

Відповідно до ст. 17 Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» [9], біологічна меліорація за допомогою рослиноїдних риб має статус природоохоронного заходу. Це затверджено в Постанові Кабінету Міністрів України № 1147 [19], що забезпечує її пріоритетність перед іншими заходами з використання даної водойми. Пріоритетність запровадження технологій водокористування для попередження евтрофікації водойм була передбачена також «Загальнодержавною програмою розвитку водного господарства» (розділ 2,

ст. 3), затвердженою Законом України «Про загальнодержавну програму розвитку водного господарства» від 17.01.2002 р. № 2988-III [7]. Повномасштабне введення в іхтіофауну споживачів первинної продукції дозволяє спрямувати потоки речовини та енергії у водній екосистемі по пасовищним ланцюгам, повністю використовувати біопродукційний потенціал водойм, утилізувати надлишкову органічну речовину за рахунок природних процесів та накопичувати її в іхтіомасі, тобто у формі, яка доступна для вилучення і повільно залучається до кругообігу речовини та енергії в екосистемі [2].

Аналіз попередніх досліджень (публікацій). Інформаційний пошук показав, що наукові роботи, присвячені проблемам біологічної меліорації, є нечисленними і стосуються в основному вселення у водойми рослиноїдних риб. Зокрема, це монографія І.Ю. Бузевича щодо рослиноїдних риб у водосховищах України [2]. Також опубліковані деякі статті по вселенню риб далеосхідного комплексу у водоймища-охолоджувачі України, наприклад ВО Змієвської ТЕС [3], Криворізької ТЕС [5], Хмельницької АЕС [12], Запорізької АЕС [18].

Описані у даних роботах біомеліоративні заходи включали лише вселення риб. Тоді як, поза увагою дослідників залишаються інші компоненти водних екосистем, які є складовими трофічних ланцюгів, колообігу речовин та потоків енергії та формують біопродукційний потенціал водних екосистем і якість водного середовища (фітопланктон, вищі водні рослини, зообентос тощо).

Крім того, на сьогодні не розроблена єдина загальнодержавна методологія біологічної меліорації різнотипних водних об'єктів України.

З огляду на це, **мета роботи** – обґрунтувати та запропонувати до широкого впровадження новий напрямок біологічної меліорації водних об'єктів – природно-штучний біомеліоративний комплекс (ПШБК), що є ефективним методом мінімізації біологічних загроз.

Методологія формування ПШБК передбачає декілька етапів.

Комплексні наукові дослідження.

Методи натурних досліджень для створення ПШБК передбачають комплекс різнопланових досліджень, зокрема: польові – дослідження біотичних характеристик (відбір проб гідробіонтів); визначення абіотичних характеристик водних екосистем, до яких належать гідрологічні, гідрохімічні, гідрофізичні. Лабораторні – гідрохімічний лабораторний аналіз; камеральне опрацювання проб гідробіонтів.

Польові методи досліджень

Під час експедиційного виїзду на кожній станції спостереження вимірюються основні середовище-утворюючі абіотичні характеристики екосистеми (температура води, прозорість води за диском Секкі, абсолютний і відносний вміст розчинного у воді кисню), відбираються проби води для визначення її

гідрохімічного складу та проби гідробіонтів різних трофічних рівнів та екологічних груп.

Гідрохімічний аналіз включає визначення таких показників: загальна мінералізація води (сума іонів); іонно-сольовий склад: вміст сульфат-іонів (SO_4^{2-}), хлорид-іонів (Cl^-), гідрокарбонатів (HCO_3^-), катіонів Ca^{2+} , Mg^{2+} ; вміст біогенних елементів: неорганічних сполук азоту (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+) і фосфору (PO_4^{3-}); біхроматна і перманганатна окиснюваність (БО і ПО) [1].

Біотичні характеристики

Проби фітопланктону відбирають батометром Руттнера з поверхневого і придонного горизонтів водної товщі в пластикові пляшки, пронумеровані і відкалібровані на 0,5 дм³, і консервують 40% розчином формальдегіду з розрахунку 1:100 [15].

Відбір проб макрофітів здійснюється на облікових ділянках площею 0,25 м². Рослини складаються в поліетиленові мішки і транспортуються в лабораторію [15].

Проби фітоеніфітону відбирають із домінуючих видів вищих водних рослин. Фрагменти рослин обережно зрізають під водою, вміщують у широкогорлі склянки, заливають дистильованою водою і консервують 40% розчином формальдегіду із розрахунку 1:20 [15].

Проби зоопланктону відбирають шляхом зачерпування води з поверхневого горизонту з проціджуванням через планктонну сітку Джені з млинового сита № 62. Сконцентрований в стаканчику сітки зоопланктон зливається в скляну банку місткістю 100 см³ і консервується 40% розчином формальдегіду із розрахунку 1:10 [15].

Проби зообентосу і зооперифітону відбирають за допомогою малого дночерпака Петерсена, промивають через спеціальний сачок, переливають до широкогорлої склянки об'ємом 0,5 дм³ і консервують 40% розчином формальдегіду з розрахунку 1:10 [15].

Наукові ловлення *іхтіофауни* для досліджень здійснюються за допомогою загальноприйнятих знарядь лову.

Лабораторні методи досліджень

Проби **фітопланктону** згущують методом седиментації і опрацьовують у лічильній камері Нахотта під світловим мікроскопом марки Carl Zeiss при величині окуляра К 7', об'єктива – '20, для більш точного визначення – величина окуляра К 9', а об'єктива – '40, для дрібноклітинних форм використовувалася імерсійний об'єктив – '90. Чисельність фітопланктону перераховують на 1 дм³ води згідно із загальноприйнятою формулою, біомасу визначають розрахунково-об'ємним методом [15].

Макрофіти звільняють від зайвої води за допомогою фільтрувального паперу і зважують на технічних терезах, визначаючи їх сиру фітомасу. Потім їх висушують у сушильній шафі за температури 105°C до постійної ваги, охолоджують в ексікаторі і зважують для визначення абсолютно сухої маси [15]. Сирю

і абсолютно сухої фітомаси перераховують на 1 м². Запаси фітомаси макрофітів визначають за середньою для виду фітомасою і приблизною площею, яку вони займають у водоймі.

Для лабораторного опрацювання проб фітоепіфітону із зібраних фрагментів рослин щіткою ретельно змивають обростання. Відмиті від епіфітів фрагменти рослин висушують у сушильній шафі за температури 80–105°C до постійної маси, потім зважують на аналітичних вагах із метою подальшого перерахунку кількісних показників (чисельність, біомаса) водоростей обростань на одиницю абсолютно сухої маси рослин-субстратів за загальноприйнятою формулою [15].

Проби зоопланктону опрацюють під біокуляром у камері Богорова. Визначається видовий склад усіх організмів у пробі з підрахуванням кількості представників кожного виду. Для визначення біомаси чисельність виду перемножується на його стандартну індивідуальну масу. Чисельність і біомасу зоопланктону перераховують на 1 м³ [11].

У пробах зообентосу та зооперифітону всі організми розбираються за систематичними групами, далі визначаються окремі види і підраховується загальна кількість тварин у кожному таксоні. Отримані дані сумуються. Далі проводиться перерахунок чисельності на 1 м² площі дна. Біомаса

крупних організмів визначається зважуванням на торсійних або аптекарських терезах. Отримана сумарна біомаса перераховується на 1 м² площі дна [15].

Лабораторне дослідження іхтіофауни здійснюється стандартними іхтіологічними методами.

Теоретичне обґрунтування, аналіз та узагальнення отриманих результатів натурних досліджень, формування теоретичних засад запровадження ПШБК

Аналіз складних біологічних взаємовідносин гідробіонтів у водній екосистемі можливий лише за певної міри їх формалізації. Для цього на основі натурних даних по структурно-функціональній організації біоти різнотипних водних об'єктів виділено два основних типи трофічних взаємовідносин:

- пасовищний: фітопланктон → мирний зоопланктон → хижий зоопланктон → риби-планктофаги → хижі риби;
або фітобентос (чи фітоперифітон) → зообентос → риби-бентофаги → хижі риби.
- детритний і «мертві» органічні речовини (детрит) + бактерії, що на ньому поселяються → організми-детритофаги (зоопланктон, зообентос) + риби-бентофаги → хижі риби.

У схематичному вигляді трофічні ланцюги водної екосистеми представлені на рис. 1.

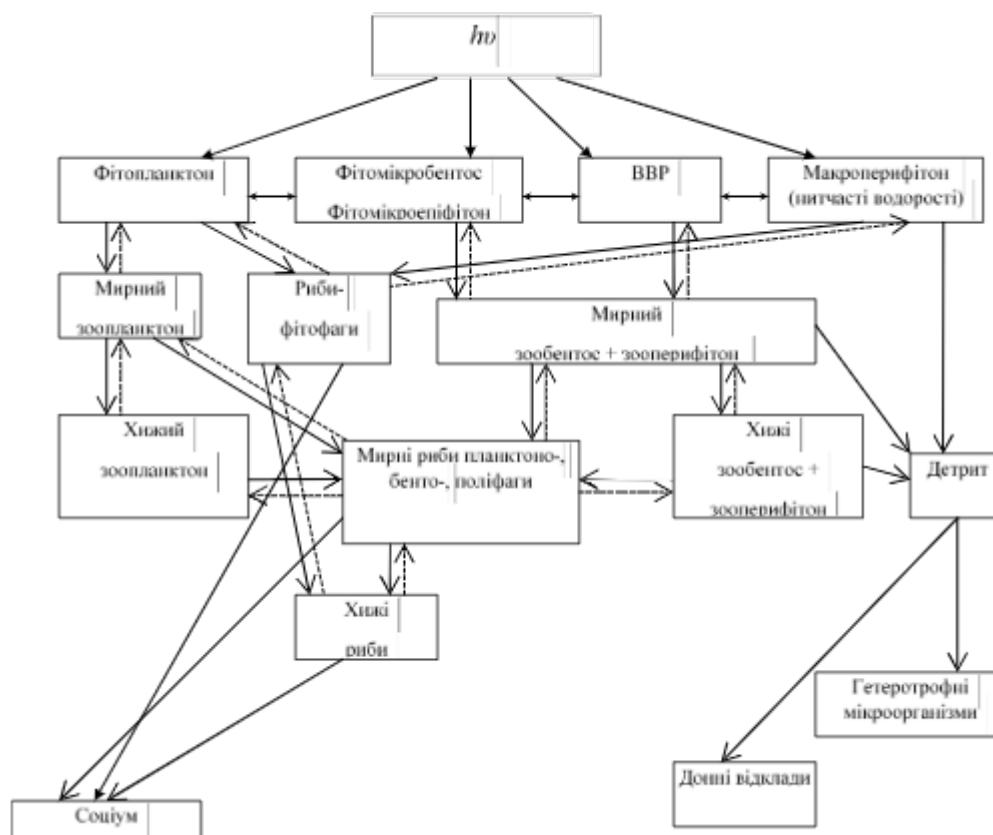


Рис. 1. Структура і функціональна організація основних трофічних взаємовідношень (трофічних ланцюгів) біоти водних об'єктів: суцільна лінія – прямі зв'язки, пунктирна – опосередковані

Структурно-функціональна організація ПШБК

Фітопланктон – угруповання мікроскопічних водоростей, що вегетують у водній товщі, відіграє першочергову роль у формуванні потоків енергії і колообігу речовин, що є основою функціонування ПШБК.

З екологічної точки зору взаємозв'язку між першопродуцентами і рибою (яка є кінцевим компонентом трофічної чи енергетичної піраміди) фітопланктон формує найбільш ефективні трофічні ланцюги:

Перший: „фітопланктон ® риби-планктонофаги”, з риб, зокрема це білий товстолоб.

Другий: „фітопланктон ® зоопланктон ® риби”, з риб це: строкатий товстолоб, частково білий та їхні гібриди.

Третій, який умовно можна поділити на два, де:

„фітопланктон” ® зоопланктон ® молодь риб”
® молодь риб на ранніх стадіях онтогенезу”

Фітопланктон характеризується високою поживною цінністю. Так, у фітопланктоні дніпровських водосховищ вміст білків становить 23,9–43,9%, жирів – 2,0–18,0%, вуглеводів – 6,2–32,2%, сухої біомаси [20]. У якості прикладу розраховано харчову та енергетичну цінність запасів фітопланктону у Головному каховському магістральному каналі (табл. 1).

Макрофіти. Важливим рослинним компонентом ПШБК є макрофіти, до яких ми відносимо:

– угруповання вищих водяних рослин (ВВР) різних екологічних груп: повітряно-водних, з плаваючим листям і занурених;

– макроскопічні форми водоростей, в основному це нитчасті водорості з відділів Chlorophyta, Charophyta.

Глибинною межею поширення ВВР у водних екосистемах в основному є 1,5–2,5-метрова ізобата. Однак залежно від екологічних чинників вона може змінюватися. Важливу роль при цьому відіграє

швидкість течії, прозорість води. Розвиток рослинності, як правило, обмежується подвоєною прозорістю води за диском Секі.

Макрофіти використовуються в їжу тваринами різних систематичних груп, які є компонентами ПШБК – червами, черевоногими молюсками, ракоподібними, комахами і іхтіофауною. Відмерлі рослини розкладаються бактеріями, грибами і найпростішими і разом з детритом утилізуються різними детритофагами.

Як приклад, наводимо дані з річної продукції вищих водних рослин Головного каховського магістрального каналу та їхньої енергетичної цінності (табл. 2).

Фітоеніфітон – це угруповання водоростей, що обростають підводні частини рослин. Одним із провідних чинників, що визначають розвиток епіфітону, є екологічні особливості ВВР і їхнє проективне покриття. Наприклад, на одиницю фітомаси у занурених рослинах кількісні показники епіфітних угруповань водоростей значно вищі, ніж на одиницю фітомаси повітряно-водяних. На характер вегетації епіфітних водоростей також впливає прозорість води, швидкість течії і температура води.

Зоопланктон. Угруповання безхребетних водної товщі представлені різноманітними дрібними тваринами, які, в основному, належать до коловороток (Rotatoria), гіллястовусих (Cladocera) і веслоногих ракоподібних – Copepoda. Розвиток зоопланктону визначається всією гамою абіотичних і біотичних чинників. До перших належать морфометричні характеристики, гідрологічний режим (швидкість течії, ступінь її ламінарності чи турбулентності, об'єми водних мас, їх гомогенність чи стратифікація тощо), температурний режим, прозорість чи каламутність води. З біологічних складових, які впливають на розвиток тварин, головними є кормовий ресурс (водорості, бактерії, детрит) і наявність (чи відсутність) пресу хижаків.

Як приклад, у табл. 3 наведено кількісне різноманіття зоопланктону основних каналів України.

Таблиця 1

**Запаси біомаси, харчова та енергетична цінність фітопланктону
Головного каховського магістрального каналу**

Класи кількісного розвитку (біомаси)	Середня біомаса, г/м ³	Запаси біомаси, т <u>сира</u> <u>суха</u>	Запаси поживних речовин, т			Енергетична цінність ² , ккал
			білки	жири	вуглеводи	
I	0,51	$\frac{40}{3}$	0,7–1,3	0,1–0,5	0,2–1,0	32'10 ⁶
II	2,20	$\frac{172}{12}$	2,9–5,3	0,2–2,2	0,7–3,9	138'10 ⁶
III	7,84	$\frac{611}{44}$	10,5–19,3	0,9–7,9	2,7–14,2	489'10 ⁶
IV	20,00	$\frac{1560}{111}$	26,5–48,7	2,2–20,0	6,9–35,7	1248'10 ⁶

Примітка. 1 – співвідношення сухої і сирої біомаси фітопланктону при домінуванні синьо-зелених водоростей було прийнято за 1:14 [10]; 2 – енергетичну цінність сирої біомаси фітопланктону було прийнято за 0,8 ккал/г [16].

Таблиця 2

Річна продукція вищих водяних рослин Головного каховського магістрального каналу

Макрофіти	Продукція фітомаси, т/рік АСМ	Енергетична цінність ² , ккал
<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	15,92	63,68'10 ⁶
<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	12,34	49,36'10 ⁶
<i>Potamogeton crispus</i> L.	5,94	23,76'10 ⁶
<i>Potamogeton gramineus</i> L.	0,09	0,36'10 ⁶
<i>Najas marina</i> L.	2,33	9,32'10 ⁶
<i>Vallisneria spiralis</i> L.	3,54	14,16'10 ⁶
<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	5,34	21,36'10 ⁶
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	7,42	29,68'10 ⁶
Всього	52,92	211,68'10 ⁶

Примітка. Прийнято, що калорійність біомаси вищих водяних рослин складає 4 ккал/г сухої маси.

Таблиця 3

Кількісне різноманіття зоопланктону каналів України [4]

Канал	Чисельність (N), тис. екз/м ³	Біомаса (B), мг/ м ³
Сіверський Донець – Донбас	0,04–35,9	0,1–842,0
Дніпро – Кривий Ріг	0,1–517,7	1,3–5323,5
Дніпро – Донбас	0,2–85,4	1,0–1337,7
Північно-Кримський	0,5–126,1	0,3–1450,2
Інгулецький	0,04–275,1	1,0–1015,0

Зоопланктон відіграє суттєву роль у формуванні планктонних ланцюгів живлення багатьох представників іхтіофауни на різних етапах їхнього розвитку.

Зообентос та зооперифітон. Зообентос (безхребетні м'яких субстратів) та зооперифітон (безхребетні твердих субстратів) є важливим компонентом ПШБК.

У зообентосі виділяються дві життєві зони безхребетних із специфічною структурою угруповань:

Перша – від урізу води до глибини 1,5–2,0 м. В основному, це дрібні тваринні організми, які належать до мікро-, мезобентосу і представлені різноманітними донними формами коловороток, ракоподібних, гідр, нематод, олігохет, гамарусів і т.д.

Друга зона – від 2,0 м і глибше – розвиваються більш крупні форми, з домінуванням за способом живлення фільтраторів: мохуватки, ручейники, хирономиди, а також види роду *Dreissena*: *D. polymorpha* і *D. bugensis*. За сприятливих умов молюски можуть формувати гігантські колонії («друзи»), біомаса яких може перевищувати декілька кг/м² субстрату.

Просторовий розподіл зообентосу, його якісне і кількісне різноманіття залежать від температури води, швидкості течії, а також від морфології та характеру субстрату. Одним із домінуючих чинників, який визначає інтенсивність розвитку організмів мікрозообентосу, є ступінь замученості субстрату.

Загалом, зообентос та зооперифітон відіграють важливу роль у процесах формування якості води, колообігу речовин, харчового ресурсу для риб, а отже і функціонування ПШБК.

Іхтіофауна. Видовий, кількісний та якісний склад туводних та вселених рослиноїдних та молюскоїдних видів риб, що входять до складу ПШБК, визначається біологічною спроможністю водного об'єкта, гідрологічними, гідрохімічним та температурним режимом, початком вегетації та відмирання водної рослинності, водоростей, молюсків.

Для створення ПШБК потрібен диференційний підхід до вибору його складових. Насамперед, це науково обґрунтована та визначена кількість риб усіх видових і трофічних груп (рослиноїдних, хижаків, бентофагів і т. д.), вікових (молоді, середньовікових, старшовікових) та розмірних груп, що встановлюється дослідним шляхом.

За результатами досліджень якісного і кількісного різноманіття флори і фауни різнотипних водойм України визначено оптимальний видовий склад риб–біомеліорантів ПШБК (табл. 4)

Слід зазначити, що вищенаведені риби-вселенці, у визначеній кількості, не стануть харчовими конкурентами туводних риб, оскільки білий амур харчується виключно вищою рослинністю, строкатий товстолобик в основному зоопланктоном, а білий товстолобик фітопланктоном та детритом, включаючи діатомові, зелені та синьо-зелені водорості, зокрема *Microcystis aeruginosa* – основний збудник «цвітіння» води. Відповідно, вселення риб далекосхідного комплексу не буде призводити до виникнення напружених трофічних відносин та дефіциту кормових ресурсів [2].

Крім риб далекосхідного комплексу, у якості біомеліорантів можна використовувати аборигенні

види риб, такі як лящ (1–3 кг), судак (1–3 кг), плітка (0,2–0,6 кг), плоскирка (0,2–0,6 кг), лин (1–2 кг), карась (0,5–1 кг).

Важливою особливістю формування ПШБК є визначення оптимальних вагових характеристик зарибку. Для прикладу наведемо вікові та вагові характеристики зарибку риб-фітофагів, детритофагів та бентофагів (табл. 5).

Особливості функціонування ПШБК на деяких водних об'єктах України

Рівнинні водосховища

Основними біологічними загрозами функціонуванню малих, середніх і великих водосховищ України:

- «цвітіння» води синьо-зеленими водоростями;
- заростання мілководдя вищими водними рослинами різних екологічних груп (повітряно-водними, із плаваючим листям і зануреними).

Як приклад, на рис. 2 наведено фото плями «цвітіння» води синьо-зеленими водоростями у Київському водосховищі, а на рис. 3 – основні види, які викликають «цвітіння» води у водосховищах України.

З огляду на це, визначається стратегія формування ПШБК на рівнинних водосховищах (рис. 4).

Основними компонентами кормової бази риб у рівнинних водосховищах є фітопланктон, вищі водні рослини і детрит. Відповідно для створення ПШБК пропонується вселення у водосховища білого товстолоба, строкатого товстолобика та білого амура. При цьому сформуються такі трофічні ланцюги:

1. Фітопланктон споживається білим товстолобом (типовий фітопланктонофаг) і, меншою мірою, строкатим товстолобом (факультативний фітопланктонофаг) – пасовищний ланцюг.



Рис. 2. Плями «цвітіння» води у Київському водосховищі

Таблиця 4

Оптимальний видовий і віковий склад риб-біомеліорантів ПШБК різнотипних водних об'єктів

№	Види риб	Продуктивний вік (наважка), кг
1	білий товстолобик	2–5
2	строкатий товстолобик	2–4
3	білий амур	2–6
4	чорний амур	2–7
5	короп (сазан)	2–5

Таблиця 5

Вікові та вагові характеристики зарибку риб-фітофагів, детритофагів і бентофагів різнотипних водних об'єктів України

Вік	Білий амур	Строкатий товстолобик	Білий товстолобик	Короп/сазан
	наважка, г	наважка, г	наважка, г	наважка, г
0+	25-30	25-35	25-30	25-30
1	25-40	25-50	25-40	25-40
1+	500-700	150-350	100-300	100-300

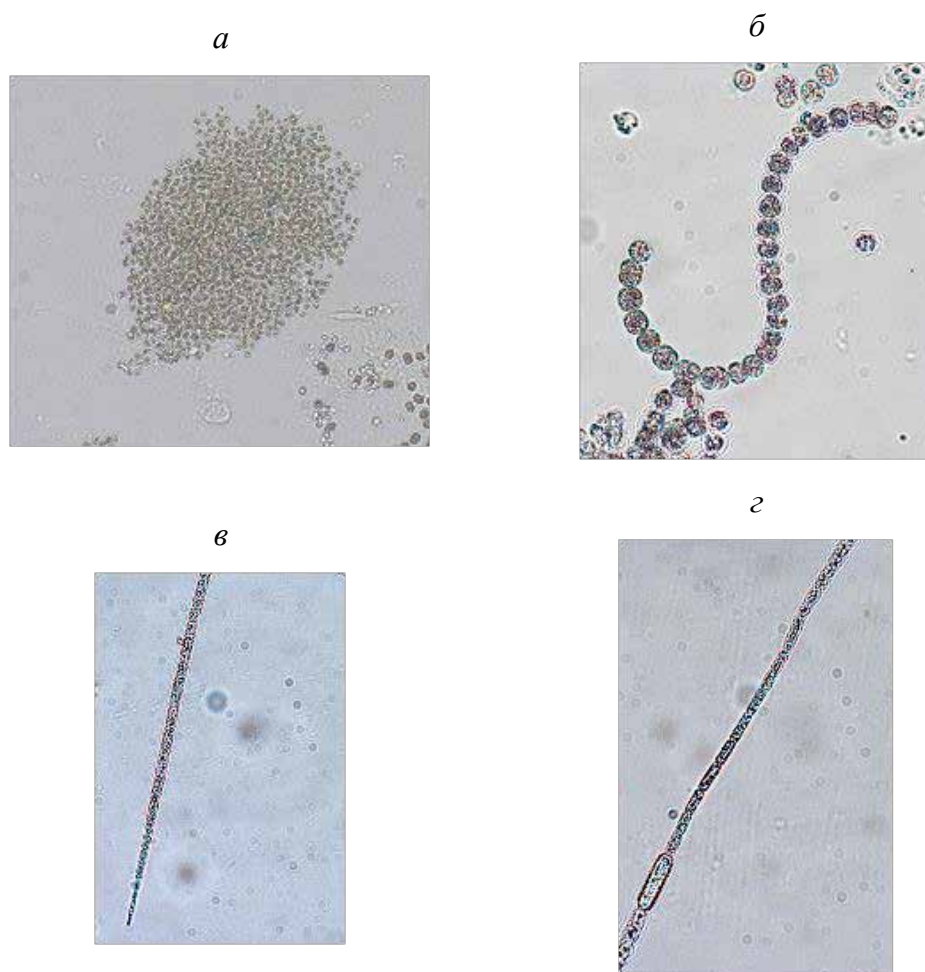


Рис. 3. Основні види синьо-зелених водоростей, які є агентами «цвітіння» води у водосховищах України:
 а – *Microcystis aeruginosa*, б – *Anabaena flos-aquae*, в – *Aphanizomenon issatchenkoi*, г – *Aphanizomenon flos-aquae*

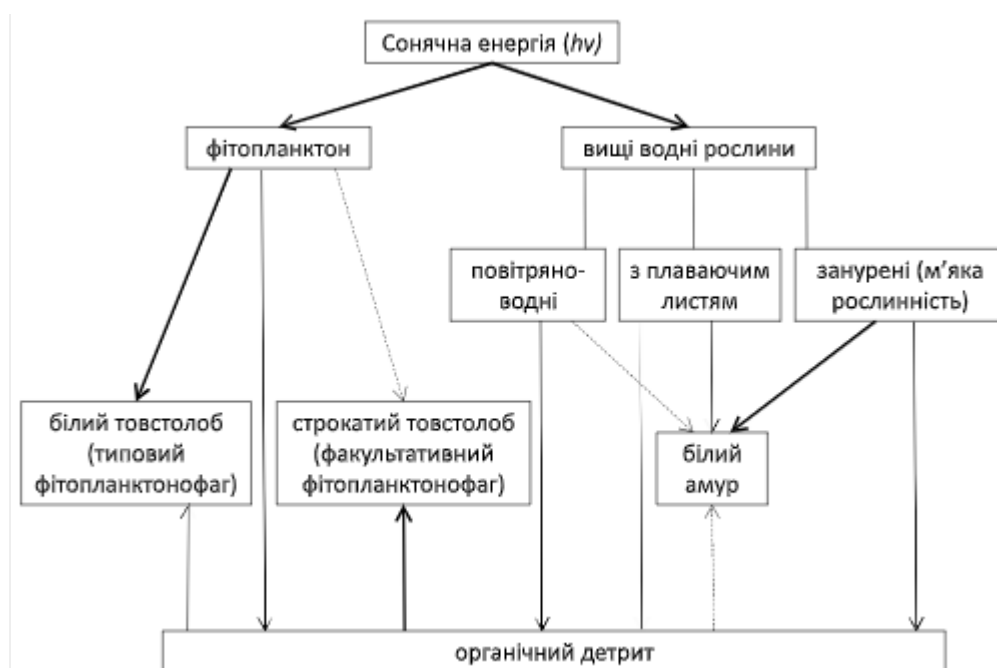


Рис. 4. Схема формування ПШБК на рівнинних водосховищах

2. Вищі водні рослини споживаються білим амуром – пасовищний ланцюг. Найбільш оптимальним харчовим ресурсом для білого амура є занурені рослини.

3. При відмиранні вищих водних рослин і планктонних водоростей формується детрит, який споживається строкатим товстолобом, меншою мірою – білим товстолобом і білим амуром – детритний ланцюг.

Штучні канали для водогосподарських потреб

Канали та інші водні об'єкти, що використовуються для зрошення та питного водопостачання – це штучно створені водойми спеціального технологічного призначення, які наповнюються з природних джерел самотоком, або штучно.

Запровадження ПШБК на таких водних об'єктах повинно відбуватися з дотриманням науково обґрунтованої Програми ПШБК, в основі якої є збереження та відтворення наявної аборигенної іхтіофауни, ракоподібних, молюсків та водоростей, а за необхідності – науково-обґрунтованої інтродукції та акліматизації рослинної, молюскоїдних, детритоїдних та інших видів риб.

Основною метою досягнення результатів та пріоритетом у запровадженні ПШБК на каналах є поліпшення якості води і запобігання біологічним загрозам.

Гідрологічні умови каналів характеризуються високою турбулентністю течії. Тому, крім вищих водних рослин і фітопланктону, важливу роль у трофічних ланцюгах відіграє детрит. Різні фракції детриту, які формуються після відмирання живих організмів, частково розкладаються у водній товщі, споживаються організмами-детритофагами, а залишки осаджуються в донні відклади.

Розмірні класи детриту визначаються згідно з розробленою нами методикою [25], за якою виділено чотири класи. Для цього проводиться ранжування

розмірів від мінімальних часток до максимальних (рис. 5).

Окрім того, з огляду на те, що канали можуть бути облицьовані бетонними плитами і протифільтраційними ґрунто-плівковими та бетонно-плівковими екранами, важливими компонентами їхніх екосистем є фітоперифітон (водорості твердих субстратів) і зооперифітон (зообентос твердих субстратів) (безхребетні твердих субстратів).

Відповідно стратегія формування ПШБК у каналах передбачає формування таких трофічних ланцюгів (рис. 6):

1. Фітопланктон споживається білим товстолобом і строкатим товстолобом.

2. Вищі водні рослини споживаються білим амуром.

3. Детрит споживається строкатим, білим товстолобом і білим амуром.

4. Фітоперифітон споживається білим, строкатим товстолобом і білим амуром.

5. Зооперифітон споживається чорним амуром і коропом.

Водні об'єкти урбанізованих територій

Актуальною проблемою є поліпшення екологічного стану, збереження, охорони та раціонального використання водних об'єктів, які знаходяться в межах урбанізованих територій.

Основними антропогенними чинниками, що впливають на стан міських водних об'єктів урбанізованих територій, є відсутність прибережних захисних смуг, техногенна трансформація берегів, стоків із промислової забудови, стоків із житлової забудови, наявність в межах водоохоронних зон автомобільних шляхів, закладів харчування, стоянок, заправок [24].

Відповідно, метою створення ПШБК є еколого-біологічне відновлення та покращення екологічного стану водойм для сталого розвитку міської інфраструктури, задоволення рекреаційних потреб

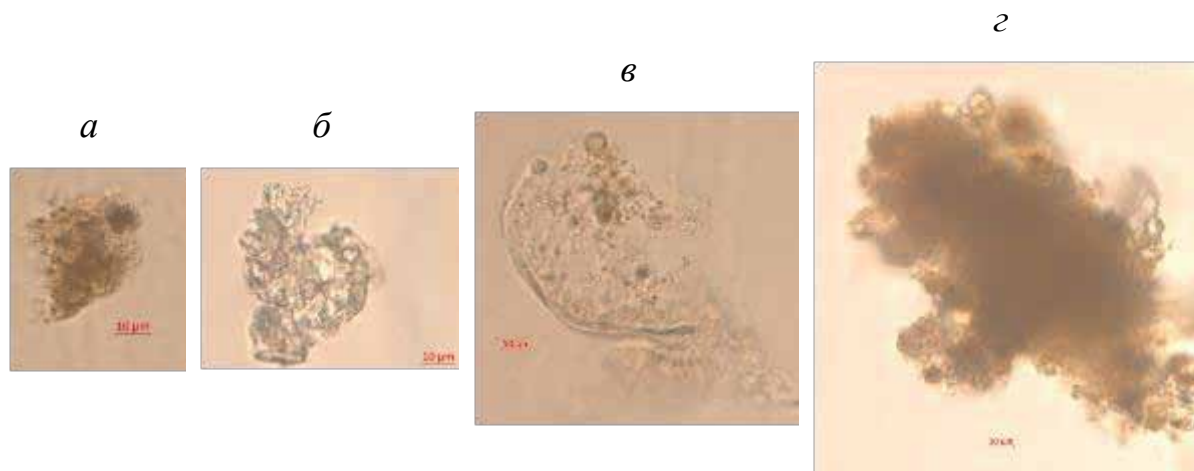


Рис. 5. Мікрофотографії різних розмірних фракцій органічного детриту: а – менше 30 мкм; б – 31–70 мкм; в – 71–100 мкм; г – більше 101 мкм

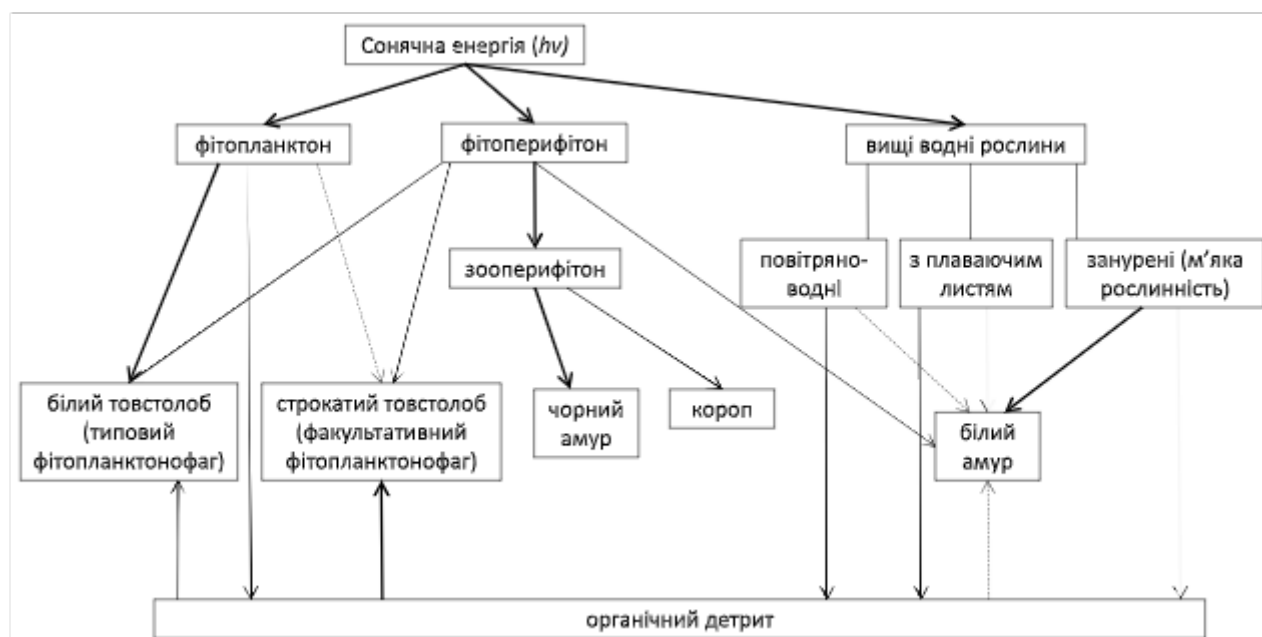
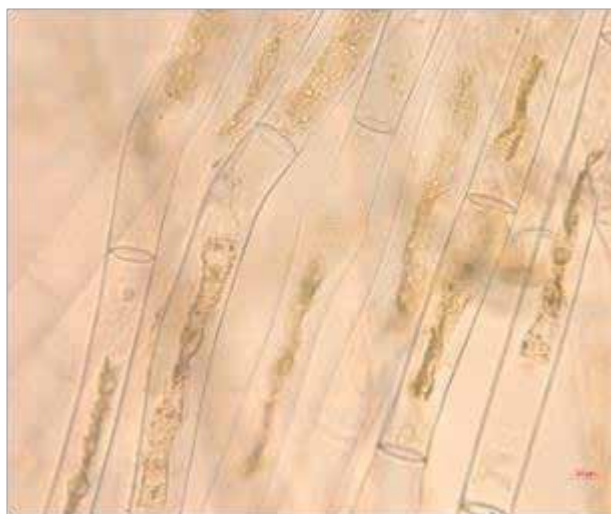


Рис. 6. Схема формування ПШБК на штучних каналах для водогосподарських потреб

а

б

Рис. 7. Дерновини-подушки нитчастих водоростей: а – загальний вигляд, б – мікрофотографія зеленої водорості роду *Mougeotia*, яка утворює дерновини-подушки

населення без погіршення якості водних ресурсів та умов життєдіяльності соціуму.

Крім фітопланктону та вищих водних рослин, у водних об'єктах урбанізованих територій важливим компонентом автотрофної ланки є плаваючі «дерновини-подушки» водоростей (рис. 7). Вони формуються переважно з нитчастих водоростей, меншою мірою – з мікроводоростей. За оптимальних умов (температура води вище +12–15°C, достатня сонячна інсоляція, прозорість води, оптимальна концентрація біогенних елементів) в дерновинах-подушках інтенсифікуються процеси фотосинтезу, а

коли у вакуолях рослинних клітин накопичується значна кількість O_2 , питома вага клітин знижується і вони піднімаються на поверхню води [13].

Дерновини-подушки нитчастих водоростей входять до складу пасовищних трофічних ланцюгів ПШБК і споживаються білим, строкатим товстолобом та білим амуром. При їх відмиранні та деструкції утворюється детрит, який включається в детритний трофічний ланцюг і також споживається рибами. На рис. 8 представлена схема формування ПШБК у водоймах урбанізованих територій.

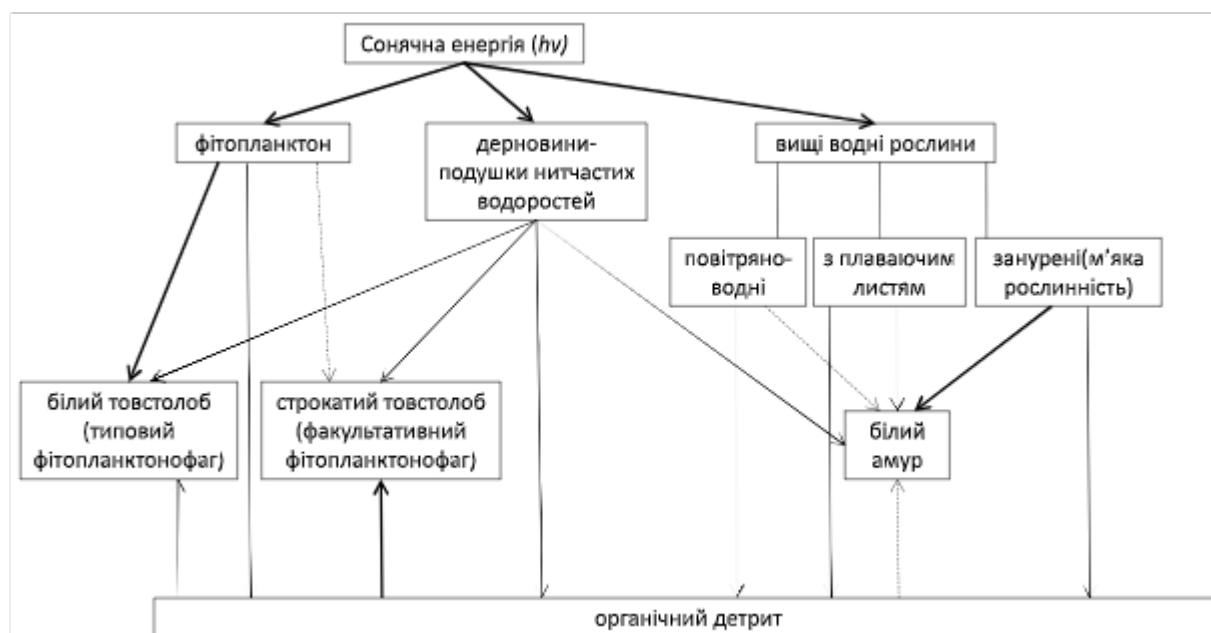


Рис. 8. Схема формування ПШБК у водних об'єктах урбанізованих територій

Водоймища–охолоджувачі ТЕС і АЕС

Ефективність роботи теплових і атомних електростанцій значною мірою залежить від систем охолодження, що забезпечуються водними масами з водойм-охолоджувачів (ВО). У ВО присутня велика кількість субстратів, які заселені гідробіонтами, а у водній товщі розвиваються планктонні водорості, безхребетні і риби.

У процесі експлуатації ВО розвиток різних компонентів біоти може досягати значних величин, що формує перешкоди в системах підведення і відведення води, призводить до погіршення якості води, а отже і до падіння генерації електроенергії і, відповідно, до зростання її собівартості.

Наприклад, за формування в трубах конденсаторів теплової електростанції шару біообростань товщиною лише 0,1 мм теплопередача знижується від 3700 до 900 ккал (м²/год.°с) [14].

Багаторічними дослідженнями [17] доведено, що біологічні загрози формуються завдяки «цвітінню» води синьо-зеленими водоростями; заростанню мілководних (глибиною до 2,0–2,5 м) акваторій та неодамбованих берегів ВО вищими водними рослинами; розвитку фітоперифітону на твердих субстратах, зокрема, це зелені водорості з родів *Cladophora*, *Spirogyra*, *Ulothrix* та синьо-зелені з родів *Lyngbya*, *Gloeotrichia*. Їхня біомаса, особливо в приповерхневих горизонтах (до 1,0–1,5 м) може сягати до 1–2 кг/м²; розвитку безхребетних зооперифітону. Так, на глибоководних горизонтах масового розвитку досягають молюски дрейсени, які формують «щітки», друзи, агрегати друз. Так, на підвідних водозабірних каналах їх біомаса можуть досягати 20 кг/м², а локально і більше [17].

Масового розвитку (до декількох кг/м²) також можуть досягати губки, мохуватки (мшанки), гідроїдні поліпи.

Також біологічні загрози можуть формувати й інші молюски – живородки (рід *Viviparus*). Приміром, на Змієвській ТЕС їх мушлі формували до 0,6 м³/добу.

Важливим компонентом зоообростань є і представники «м'якого» перифітону – олігохети, волохокрильці (ручейники), корофіїди, поліхети, гамариди.

Доведено, що вселення рослиноїдних риб у водоймища-охолоджувачі дозволяє знизити рівень «цвітіння» води.

Наприклад, за даними О. Г. Васенка [3] вселення дворічок білого і строкатого товстолобів у водоймище-охолоджувач (ВО) Змієвської ТЕС через два роки зменшило «цвітіння» води фітопланктоном утричі.

Аналогічно [5] у ВО Криворізької ТЕС використання іхтіостада із трьох-шестирічних білих товстолобів на 30–40% знижує біомасу фітопланктону, що формує «цвітіння» води.

За даними М.В. Ковби [12] використання різних видів риб із певною харчовою спрямованістю дозволяє пригнічувати вегетацію небажаних гідробіонтів у ВО Хмельницької АЕС.

На прикладі Водоймища-охолоджувача Запорізької АЕС зазначено, що основним компонентом живлення білого товстолобика є фітопланктон (до 98% від вмісту харчової грудки). До того ж домінуючою групою в його поживі є синьо-зелені водорості (до 68%), і їхня кількість у складі харчових грудок прямо залежить від концентрації синьо-зелених водоростей у водоймі [18].

Також доведено, що вселення білого товстолобика у водоймище-охолоджувач призводить до зниження ступеню «цвітіння» і зміни домінуючих комплексів мікрowodоростей із синьо-зелених на інші відділи. При цьому, у крупної риби коефіцієнт конвертації корму вищий, ніж у молоді, тобто один великий товстолобик за рік споживає водорості ефективніше, ніж два менших, але співставних із ним за загальною масою [6].

Проте, на жаль, наразі в Україні відсутня загальноприйнята та затверджена на державному рівні методологія боротьби з біологічними загрозами. Відповідно, у кожному випадку їх формування на конкретній АЕС чи ТЕС розробляються свої підходи, свої методи локального вирішення проблем.

Вважаємо, що в іхтіологічному складі ПШБК мають бути такі види риб, що які мають високу кормову ефективність до конкретних компонентів біоти і які формують біологічні загрози. Наприклад, фітопланктону – білий товстолобик та його гібрид зі строкатим; вищої водної рослинності – білий амур; молюсків, які входять до складу зооперифітону, чорний амур; м'якого зооперифітону короп; дерновини – подушки нитчастих водоростей і детрит – білий, строкатий товстолобик і білий амур.

Важливо, що величини вселення гідробіонтів розраховані так, що споживання видів – фільтратів, молюсків, фітопланктону, вищих водних рослин зумовлює їх вегетацію до меж, корисних для формування природної високої якості води, необхідної для оптимального функціонування енергоблоків АЕС і ТЕС.

На рис. 9 представлено схему формування ПШБК у водоймищах-охолоджувачах ТЕС і АЕС.

Підсумок

Природно-штучний біомеліоративний комплекс (ПШБК), що формується з гідробіонтів різних трофічних рівнів та екологічних груп, є одним із нових напрямків біологічної меліорації водних об'єктів України.

Запровадження ПШБК на різнотипних водних об'єктах дозволяє мінімізувати біологічні загрози, сформувати потоки енергії і колообіг речовин й інтенсифікувати процеси самоочищення, що сприятиме поліпшенню якості води, яка використовується для різних потреб народного господарства.

Під час створення ПШБК застосовується диференційований підхід до вибору його складових, який залежить від типу водного об'єкта та наявних біологічних загроз. Так, для мінімізації «цвітіння» води синьо-зеленими водоростями пропонується сформувати трофічний ланцюг «фітопланктон – білий товстолобик». За умови заростання акваторій вищими водними рослинами та надмірного розвитку нитчастих водоростей доцільним є створення трофічного ланцюга «макрофіти – білий амур». За надмірного розвитку зооперифітону (зообентосу твердих субстратів), зокрема молюсків роду *Dreissena*, до складу ПШБК пропонується занести чорного амура і коропа.

Наукова новизна Методології створення ПШБК підтверджена Патентом [21] і є перспективною для впровадження як важливий напрямок меліорації різнотипних водних об'єктів України.

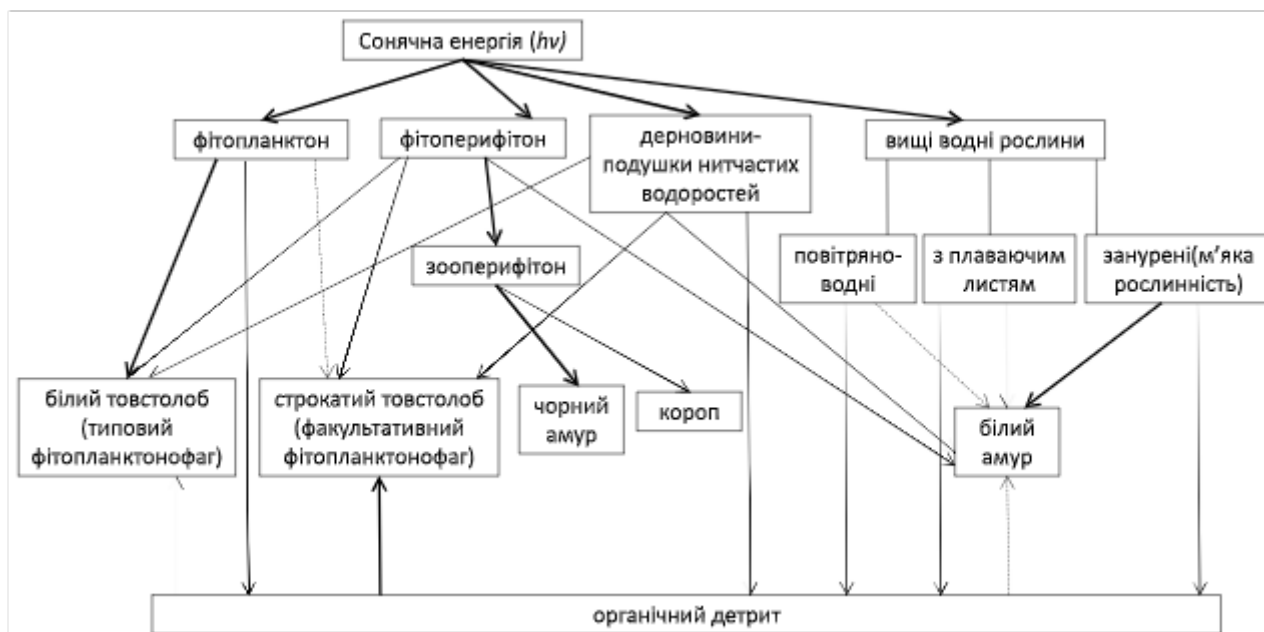


Рис. 9. Схема формування ПШБК у водоймищах-охолоджувачах ТЕС і АЕС

Література

1. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Ленинград : Гидрометеиздат, 1970. 442 с.
2. Біологія і промисел далекосхідних рослинорідних риб великих водосховищ України / Бузевич І.Ю. та ін. Київ, 2012. 126 с.
3. Васенко О.Г. Екологічні основи водоохоронної діяльності в теплоенергетиці. Бібліотека журналу ІТЕ. Т. 1. Харків : УкрНДІЕП, 2000. 243 с.
4. Гидробиология каналов Украинской ССР / Окснюк О.П. и др. Киев : Наук. думка, 1990. 240 с.
5. Еколого-біологічна та рибогосподарська характеристика водосховища-охолоджувача Криворізької ТЕС / Федоненко О.В. та ін. *Питання біоіндикації та екології*. 2016. Вип. 21, № 1–2. С. 99–110.
6. Заделенов В.А., Щур Л.А. Влияние рыбы-состофага белого толстолобика *Hypophthalmichthys molitrix* на состояние фитопланктона в Берешском водохранилище (Красноярский край) / *Вестник КрасГАУ*. 2009. № 8. С. 89–97.
7. Закон України «Про загальнодержавну програму розвитку водного господарства» від 17.01.2002 р. № 2988-III / *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*. 2002. № 25, С. 172.
8. Закон України «Про меліорацію земель» / *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*. 2000. № 11, С. 90.
9. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» : *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*. 1991. № 41. С. 546.
10. Иванов А.И. К методике определения биомассы сине-зеленых водорослей при их массовом развитии / «Цветение» воды. Киев : Наук. думка, 1968. С. 363–365.
11. Киселев И.А. Планктон морей и континентальных водоемов. Ленинград : Наука, 1969. Т. 1. 358 с.
12. Ковба М.В. Аквакультура промислово цінних видів риб на водних об'єктах Хмельницької АЕС / *Водні ресурси і аквакультура*. Київ : ДІА, 2010. С. 163–166.
13. Кожаева Д.К., Хаджобиков О.Б., Казанчев С.Ч. Первичная продукция нитчатых водорослей / *Биологические науки*. 2016. С. 198–206.
14. Лудянский М.Л. Биологическое обрастание в системах пресного оборотного водоснабжения (Обзор) / *Гидробиологический журнал*. 1989. Т. 25, № 6. С. 25–37.
15. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / Арсан О. М. та ін.; ред. В. Д. Романенка. Київ : ЛОГОС, 2006. 408 с.
16. Михеева Т.М. Оценка продукционных возможностей единицы биомассы фитопланктона / *Биологическая продуктивность эвтрофного озера*. Москва : 1970. С. 50–70.
17. Морозовская И.А., Протасов А.А. Зооперифитон и обрастание в водоемах-охладителях атомных и тепловых электростанций / *Ядерная энергетика та довкілля*. 2013. № 2. С. 55–58.
18. Охріменко О.В. Живлення білого товстолоба (*Hypophthalmichthys molitrix* Val.) в умовах Водойми-охолоджувача Запорізької АЕС / *Рибогосподарська наука України*. 2012. № 3. С. 39–42.
19. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження переліку видів діяльності, що належать до природоохоронних заходів» від 17.09.1996 р. № 1147. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1147-96-%D0%BF#Text> (дата звернення: 23.02.2022).
20. Растительность и бактериальное население Днепра и его водохранилищ / Сиренко Л.А. и др. Киев : Наук. думка, 1989. 232 с.
21. Спосіб покращення природної якості води та ефективності роботи спеціальних об'єктів водозабезпечення шляхом створення природно-штучного біомеліоративного комплексу / винахідники і власники патенту: Щербак В.І., Коротецький В.П., Сидоренко О.В., Боліла Н.О., Якобчук Ю.О. пат. UA 101959 U Україна, МПК (2015.01) C02F 3/00. № u 2015 03296; заявл. 07.04.2015; опубл. 12.10.2015, Бюл. № 19.
22. Техно-екосистема АЭС. Гидробиология, абиотические факторы, экологические оценки / ред. А.А. Протасова. Киев : Институт гидробиологии НАН Украины, 2011. 234 с.
23. Шакиров А.Ш., Хисматуллин М.М. Мелиорация земель (основные понятия и термины). Казань, 2006. 190 с.
24. Kravtsova O.V., Shcherbak V.I. Methodology of assessing the degree of the influence of anthropogenic factors on phytoplankton of urban water bodies / *Hydrobiological Journal*. 2020. Vol. 56, Issue 5. P. 3–14.
25. Potential ecological hazards to the Cheremosh River posed by a diversion hydropower plant (Roztoky Settlement, Kosiv District, Ivano-Frankivsk Region, Ukraine) / Shcherbak V. et al. / *Issues and Challenges of Small Hydropower Development in the Carpathians Region (Hydrology, Hydrochemistry, and Hydrobiology of Watercourses)* / ed. A. Kovalchuk. Uzhgorod–L'viv–Kyiv: Biological Faculty of L'viv National University and Hydroecological Society «Uzh», 2016. 195 p.
26. Protasov A.A., Zubkova Ye.I., Silayeva A.A. Conceptual approaches to organization of hydrobiological monitoring of technoecosystems of thermal and nuclear power plants / *Hydrobiological Journal*. 2016. Vol. 52, Issue 2. P. 59–70.

ОТРИМАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ВЕРМІКОМПОСТУ (БІОГУМУСУ) З МЕТОЮ ПОКРАЩЕННЯ ПОЖИВНОГО РЕЖИМУ ҐРУНТУ

Буцяк Г.А., Буцяк В.І., Калин Б.М.

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Ґжицького

вул. Пекарська, 50, 79010, м. Львів

byanna1712@ukr.net, v.butsyak@gmail.com, dana24b@ukr.net

На даний час, одним із напрямів екологічного дослідження в глобальному масштабі є розробка і запровадження технологій щодо зменшення викидів у довкілля вуглекислого газу та інших газів, які безпосередньо беруть участь у формуванні парникового ефекту. Однією із перспективних технологій у вирішенні даної проблеми є використання біоконверсії органічних відходів, зокрема, опалого листя дерев і кущів міських екосистем. Опале листя як органічні відходи, залежно від аеробних чи анаеробних умов зовнішнього середовища, піддається біологічному розщепленню з утворенням парникових газів та інших полутантів, які здатні включатися в трофічний ланцюг.

Використання біоконверсії органічного субстрату за допомогою вермікультури як безвідходної технології є вагомою альтернативою існуючим технологіям утилізації і переробки органічних відходів. Використання, у технологіях вирощування сільськогосподарських рослин, продукту переробки органічних відходів – біогумус дає можливість перейти виробникам до органічного землеробства. Така технологія передбачає вирощування екологічно безпечної продукції рослинництва.

У статті, на основі експериментальних даних, за використання базового субстрату, який складався з компосту опалого листя 85% та 15% ґною великої рогатої худоби були встановлені оптимальні характеристики температурного режиму, вологості та рН базового субстрату для вермікультивування. Встановлено оптимальний температурний режим (25°C), вологість (80%) та рН – 7,0 процесу біоконверсії базового субстрату популяцією вермікультури. Одержаний біогумус в процесі вермікомпостування проявляє стимулюючий ефект на відновлення родючості ґрунту, врожайність кукурудзи зросла на 36,6% за використання біогумусу в дозі 6 т/га. *Ключові слова:* вермікультивування, гібрид червоного каліфорнійського черв'яка, біоконверсія, базовий органічний субстрат, родючість ґрунтів, врожайність.

Obtaining and using of vermicompost (biohumus) with the purpose of improving the nutrient regime of the soil. Butsyak A., Butsyak V.

Currently, one of the directions of environmental research on a global scale is the development and introduction of technologies to reduce emissions into the environment of carbon dioxide and other gases that directly participate in the formation of the greenhouse effect. One of the perspective technologies in solving this problem is the use of bioconversion of organic waste, in particular, fallen leaves of trees and bushes of urban ecosystems. Fallen leaves as organic waste, depending on the aerobic or anaerobic conditions of the external environment, undergo biological decomposition with the formation of greenhouse gases and other pollutants that can be included in the trophic chain.

The use of bioconversion of organic substrate with the help of vermiculture as a zero-waste technology is a significant alternative to existing technologies for the utilization and processing of organic waste. The using of biohumus makes it possible for producers to switch to organic farming in the technologies of growing agricultural plants, the product of organic waste processing. This technology provides for the cultivation of ecologically safe plant products.

In the article, on the basis of experimental data, the optimal characteristics of the temperature regime, humidity and pH of the base substrate for vermiculture were established for the use of a base substrate consisting of 85% fallen leaf compost and 15% cattle manure. The optimal temperature regime (25°C), humidity (80%) and pH – 7.2 for the process of bioconversion of the basic substrate by the vermiculture population was established. The obtained biohumus in the process of vermicomposting has a stimulating effect on the restoration of soil fertility, the yield of corn increased by 36.6% when using biohumus at a dose of 6 t/ha. *Key words:* vermiculture, red California worm hybrid, bioconversion, basic organic substrate, soil fertility, yield.

Постановка проблеми. З метою успішної біоконверсії органічних відходів і одержання якісного вермікомпосту (біогумусу) необхідно створити оптимальні умови для забезпечення фізіологічно обумовленого росту та розвитку вермікультури. В перше чергу необхідно дотримуватися регламентованих технологічних умов культивування; правильно підібрати компоненти базового субстрату, врахувати

температурний режим культивування, вологість і рН, що дасть можливість отримання екологічно безпечного органічного добрива – біогумусу та використання його для відновлення родючості ґрунту [3].

Актуальність дослідження. Біоконверсія органічних відходів вермікультурою – гібридом червоного каліфорнійського черв'яка як безвідходна технологія дає можливість без забруднення при-

родного навколишнього середовища утилізувати і переробляти органічну біомасу в біогумус – органічне добриво II покоління та біологічну масу вермікультуру. Обґрунтування та розробка ефективних методів утилізації органічних відходів з допомогою вермікультури в сучасному етапі розвитку суспільства є своєчасною, необхідною і актуальною проблемою [1, 2].

Утилізація органічних відходів методом вермікультивування як безвідходна технологія, що забезпечує відновлення родючості ґрунтів та дає можливість розвитку органічного землеробства в сучасному аграрному секторі є своєчасною, необхідною і актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню стану біоконверсійних технологій, зокрема використання популяції вермікультури *Eisenia fetida* в утилізації та переробці органічних відходів, розробці співвідношення компонентів базового субстрату, заходів щодо оптимальних технологічних факторів (температурного режиму, вологості та рН) з метою одержання біогумусу присвячено велику кількість наукових праць [1-7, 9, 11-13]. Ряд публікацій висвітлюють питанням використання біогумусу для підвищення родючості ґрунту і одержання екологічно безпечної продукції [8, 10, 14].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. У даній статті проведено дослідження щодо безвідходної біоконверсії органічних відходів шляхом вермікультивуванням з одержанням біогумусу – органічного добрива II покоління. Масштаби застосування вермікультивування щорічно зростають, тому важливо у даній технології використовувати нетрадиційні субстрати, зокрема компост опалого листя дерев як основної складової частини поживного середовища для популяції *Eisenia foetida* [11].

Новизна. Вперше досліджено оптимальне співвідношення компонентів базового субстрату – компост опалого листя 85% і 15% гною ВРХ як корму для популяції вермікультури, а також встановлено оптимальні абіотичні фактори (температура, вологість та рН) для культивування даного субстрату.

Методологічне або загальнонаукове значення. Визначена важливість біоконверсії органічних відходів шляхом вермікультивування, обґрунтовані напрямки щодо оптимізації технологічного процесу одержання біогумусу як високоякісного органічного добрива, з метою використання його як складової компоненти органічного землеробства.

Матеріали та методи досліджень. Процес вермікультивування проводили як в лабораторних, так й у виробничих умовах із дотриманням всіх технологічних вимог. Для вермікультивування використовували червоний каліфорнійський черв'як родини Lumbricidae, під *Eisenia foetida*. Ложа формували за кількістю черв'яків, їхньою масою, площею і масою

субстрату (компост опалого листя 85% і 15% гною ВРХ). Бурти для ферментації закладали висотою 50-60 см. Для підтримки оптимальних параметрів ферментації субстрат зволожували водою до одержання вологості 70-80%. Для покращення аерації та вирівнювання вологи здійснювали перемішування субстрату один раз на тиждень.

Експериментальні дослідження були спрямовані щодо вивчення впливу абіотичних факторів на культивування, адаптованої до базового субстрату вермікультури.

Викладення основного матеріалу. До важливих абіотичних факторів, що впливають на активність вермікультивування та якість одержаних копролітів (біогумус) відносяться такі технологічні параметри як дотримання оптимального температурного режиму, вологості та рН базового субстрату. В попередніх дослідженнях було встановлено [12], що температурний режим в середині базового субстрату суттєво впливає на фізіологічний стан, ріст та розмноження популяції гібриду червоного каліфорнійського черв'яка. Відомо [13], що за температури нижче, ніж 3-4°C дощові хробаки мігрують у середину субстрату, стають малорухливими, а за температури вище 31-33°C та підвищеної вологості активність популяції черв'яків знижується, аж до температури вище 37°C, за якої вони гинуть.

Тому важливо дослідити вплив температурного режиму субстрату на приріст живої маси популяції вермікультури залежно кількості днів культивування (рис. 1). Як видно з рисунку, в умовах експериментального ложа, оптимальною є температура – 25°C. За даної температури приріст живої маси популяції червоного каліфорнійського гібриду досягнув 1000 мг за 80 днів культивування, тоді як за температури субстрату 15, 20 та 30°C дану живу масу популяція вермікультури набрала відповідно за 180, 135 та 150 днів культивування.

Враховуючи отримані результати, нами вибраний технологічний температурний режим 25°C, який забезпечить високу життєву активність популяції каліфорнійського гібриду та максимальний приріст її живої маси, що перевищував у 1,7-2,3 досліджувані зразки за інших температурних режимів субстратів.

Важливим абіотичним фактором у технологічному процесі культивування популяції гібриду червоних каліфорнійських черв'яків є підтримання оптимальної вологості базового субстрату (рис. 2). Як видно із даних наведених на рисунку, активність росту популяції вермікультури (приріст живої маси) зростає із підвищенням вологості субстрату. Так, за 50% вологості субстрату, приріст популяції *Eisenia foetida* був найменший і складав 1,9 кг/ложе, тоді як найвищим він був за вологості 80% (5,5 кг/ложе). За 60% вологості субстрату, приріст живої маси популяції *Eisenia foetida* був у 2,3 рази вищий порівняно з контрольним зразком (вологість субстрату 50%); за 70%, 80% та 90% відповідно вищий у 2,8, 2,9 та 2,7 рази.

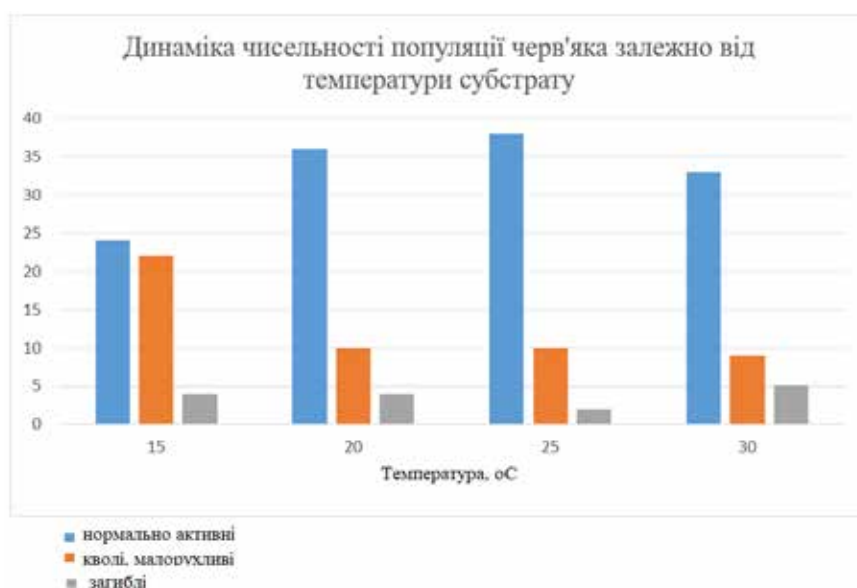


Рис. 1. Динаміка чисельності популяції гібриду червоного каліфорнійського черв'яка залежно від температури субстрату

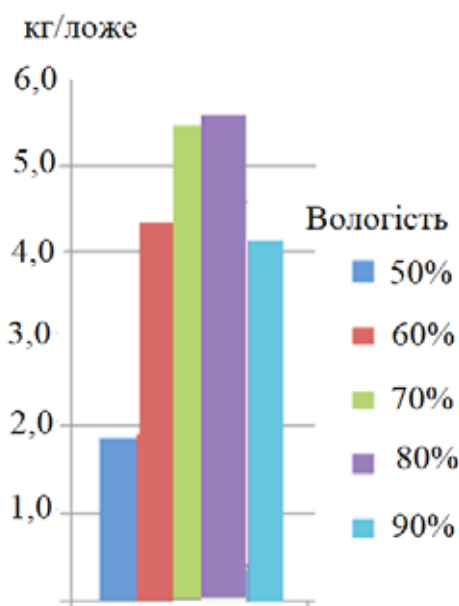


Рис. 2. Вплив вологості субстрату на приріст біомаси популяції *Eisenia foetida*, культивованої за 25°C, кг/ложе

Враховуючи результати експериментальних досліджень можна з упевненістю констатувати, що за вологості від 70 до 90% приріст живої маси популяції вермікультури був найвищим і коливався в межах від 5,18 до 5,57 кг/ложе. Однак, оптимальною вологістю адаптованого субстрату, який складався з компосту опалого листя 85% і 15% гною ВРХ була вологість в межах 80%.

За вологості менше як 60% сповільнюються процеси ферментація базового субстрату популя-

цією гібриду червоних каліфорнійських черв'яків, а за вологості вище 80% у субстраті зменшуються аеробні та прискорюються анаеробні процеси, що негативно впливає на ріст і розвиток хробаків.

Згідно технологічного регламенту, перед закладкою нової партії субстрату (корму) для вермікультури, необхідно визначити його рН. Допускається використання субстрату з рН від 6,2 до 8,0. Черв'яки можуть загинути, якщо реакція середовища кисла ($\text{pH} \leq 5,5$) або сильнолужна ($\text{pH} \geq 8,5$) [3]. Визначення кислотності обов'язкове для кожної нової субстрату. Нами встановлено (табл. 1), що оптимальним для популяції черв'яків червоного каліфорнійського гібриду є нейтральне середовище базового субстрату з $\text{pH} = 7,0$. Так, за 80 днів експерименту, найвищий приріст живої маси популяції вермікультури (1056 мг) було досліджено за використання базового субстрату з нейтральним значенням рН.

Приріст живої маси вермікультури на базових субстратах з рН 8,0 та 6,0 були найнижчими (621 та 734 мг), що відповідно на 435 та 322 мг були меншими порівняно до нейтральних умов культивування. За використання базових субстратів з рН 6,5 та 7,5 також спостерігається зниження приросту популяції черв'яків відповідно на 14,9 та 18,4%.

Кінцевим продуктом життєдіяльності вермікультури є копроліти (біогумус) – органічне добриво II покоління. Біогумус як добриво нового покоління має значні переваги над класичними органічними та мінеральними добривами. Пропускаючи частинки субстрату через шлунково-кишковий тракт черв'яки разом із симбіотичною мікрофлорою здатні синтезувати біологічно активні речовини, стимулятори росту, стабілізувати рН, що забезпечує збалансо-

Таблиця 1

Динаміка приросту живої маси вермікультури залежно від рН базового субстрату за дотриманням оптимального температурного режиму та вологості.

рН базового субстрату	Приріст живої маси, мг	± до субстрату з рН=7,0
6,0	734	- 322
6,5	898	- 158
7,0	1056	0
7,5	862	- 194
8,0	621	- 435

Таблиця 2

Вплив біогумусу на відновлення родючості ґрунту на прикладі врожайності кукурудзи, т/га.

Варіанти дослідів	Врожайність	Приріст	%
Контроль (класична технологія)	6,02	-	-
Дослідна 1 (К+ біогумус – 2 т/га)	6,86	0,84	13,9
Дослідна 2 (К+ біогумус – 4 т/га)	7,48	1,46	24,2
Дослідна 3 (К+ біогумус – 6 т/га)	8,22	2,20	36,6

ваність елементів живлення для рослин. У результаті життєдіяльності популяції каліфорнійського гібриду знищується шкідлива мікрофлора базового субстрату (спороутворюючі, гнильна, маслянокисла тощо), а це сприяє незараженню субстрату. Крім того в одержаному біогумусі відсутні насіння бур'янів, важких металів та інших поллютантів [11].

Використання біогумусу є однією із передумов ведення органічного землеробства та відновлення родючості ґрунту. Тому, нами досліджувався вплив біогумусу на відновлення та підвищення родючості ґрунту на прикладі врожайності кукурудзи (табл. 2).

Як видно із таблиці, додаткове внесення в ґрунт біогумусу в кількості від 2 до 6 т/га покращило поживний режим ґрунту, підвищило його родючість на 0,84 т/га за внесення біогумусу в кількості 2 т/га, на 1,46 т/га за внесення біогумусу в кількості 4 т/га та на 2,20 т/га за внесення біогумусу в кількості 6 т/га. Цей ефект зумовлений тим, що біологічно активні речовини (фітогормони) біогумусу проявляють стимулюючий ефект для росту та розвитку рослин.

Отже, можна стверджувати, що біогумус за рахунок високого вмісту поживних речовин (гумусу, загального Нітрогену, рухомого Фосфору і обмінного Калію), симбіотичних популяцій мікроорганізмів та біологічно активним речовинам, що утво-

рюються в процесі вермікомпостування сприятливо впливає на відновлення родючості ґрунту. Так, за додаткового внесення біогумусу в кількості 6 т/га врожайність кукурудзи зросла на 36,6%.

Висновки. Вермікультивування як безвідходна технологія переробки органічних відходів у біогумус – органічне добриво II покоління є вагомою альтернативою існуючим технологіям в рослинництві щодо можливості переходу до органічного землеробства. Така технологія передбачає вирощування екологічно безпечної продукції рослинництва.

На основі експериментальних досліджень встановлено, що оптимальним базовим субстратом (кормом) для вермікультури виявився компост опалого листя 85% і 15% гною ВРХ. Встановлено оптимальний температурний режим (20°C) та вологість (80%) процесу вермікомпостування базового субстрату в біогумус. Досліджено динаміку зміни рН в процесі ферментації досліджуваного компосту.

Додаткове внесення в ґрунт біогумусу в кількості від 2 до 6 т/га покращило поживний режим ґрунту, підвищило його родючість на 0,84 т/га за внесення біогумусу в кількості 2 т/га, на 1,46 т/га за внесення біогумусу в кількості 4 т/га та на 2,20 т/га за внесення біогумусу в кількості 6 т/га.

Література

1. Фурдичко О.І., Дем'янюк О.С. Якість і безпека сільськогосподарської продукції в контексті продовольчої безпеки. *Агроєкологічний журнал*. 2014. № 1. С. 7–10.
2. Буцяк В.І., Скіп О. С., Буцяк А. А., Гавриляк В. В., Швед О. В. Властивості копролітів, одержаних після культивування *Eisenia foetida* на субстраті з компосту опалого листя. *Збірник наукових праць. Сучасні досягнення фармацевтичної технології та біотехнології*. Харків. 2018. Вип.5. С. 352–356.
3. Гаценко М. В. Компостування органічної речовини. Мікробіологічні аспекти. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2014. Вип. 19. С. 11–20.
4. Сендецький В.М. Виробництво органічних добрив нового покоління «Біогумус» з органічних відходів агропромислового комплексу методом вермікультивування і його вплив на врожайність сільськогосподарських культур. *Збірник наукових праць Білоцерківського національного аграрного університету. Агробіологія*. 2010. № 4. С. 80.

5. Мерзлов С. В., Мельниченко О. М., Машкін Ю. О., Бількевич В. В. Ріст біомаси каліфорнійських черв'яків і накопичення у ній кобальту за різних концентрацій металу в поживному середовищі. WEB OF SCHOLAR. 2017. 5(14). С. 10-12.
6. Вовкогон А. Г., Мерзлов С. В. Вплив різних джерел та доз йоду на вирощування біомаси гібрида червоних каліфорнійських черв'яків. Науковий вісник НУБІП України. Київ, 2014. № 202. С. 286–291.
7. Буцяк В.І., Скіп О. С., Буцяк А. А., Гавриляк В. В., Швед О. В. Альтернативне використання субстратів опалого листя у вермікультивуванні/ СТAS. Хімія, технологія речовин та їх застосування. 2018. V.1, № 2. С. 74–79.
8. Буцяк Г.А. Використання біогумусу для підвищення родючості ґрунту і ожеряння екологічно безпечної продукції. *НВ ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2012. т 14, № 2 (52). Ч.3. С. 33–36.
9. Дошві черв'яки: наукові основи вирощування і практичне використання / І.П. Мельник та ін. Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2015. 444 с.
10. Гирка А.Д., Вінюков О.О., Андрейченко О.Г. Вплив біопепаратів та регуляторів росту на продуктивність рослин ячменю ярого голозерного та півчастого в умовах північного Степу. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України*. 2012. № 3. С. 65–68.
11. Скіп О. С., Буцяк В. І., Печар Н. П. Технологічні властивості та хімічний склад опалого листя як субстрату для вермікультивування. *Науковий вісник ЛНУ ВМБТ ім. С. З. Гжицького*. Львів, 2011. Т. 13, № 2 (48), Ч. 1. С. 466–470.
12. Буцяк Г.А., Буцяк В.І. Вплив температури базового субстрату на фізіологічний стан та приріст популяції *Eisenia foetida*. Матеріали І міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції 25 березня 2021 року. Харків. С. 118–119 с.
13. Mandal S., Chakravorty P. P., Kundu J. K. Relative Toxicity of two Selected Fungicides on Acid Phosphatase and Alkaline Phosphatase activity of Epigeic Earthworm *Eisenia Fetida* (Oligochaeta). *World Wide Journal of Multidisciplinary Research and Development*. 2017; 4(2). P. 14–17.
14. Мартенюк Г. М. Біогумус в системі органічного виробництва. Органічне виробництво і продовольча безпека: матеріали IV Міжнар. наук.-практ. конф., 12-13 трав. 2016 р. Житомир: Видавець О. О. Євенок. С. 189–192.

МОДЕЛЮВАННЯ ВОДНО-ДЕФЛЯЦІЙНОЇ ДЕСТРУКЦІЇ СТЕПОВИХ ҐРУНТІВ УКРАЇНИ

Пічур В.І., Потравка Л.О., Дудяк Н.В., Рутта О.В.
Херсонський державний аграрно-економічний університет
вул. Стрітенська, 23, 73006, Херсон
pichuravitalii@gmail.com

В статті представлені результати просторового моделювання водно-дефляційної деструкції степових ґрунтів. Більше 50% сільськогосподарських земель України постійно зазнають негативного ерозійного впливу, що призводить до значних незворотних еколого-економічних наслідків деструкції ґрунтового покриву. Дослідження проведені на території зони Степу України загальною площею – 167,4 тис. км², в т.ч. площа сільськогосподарських угідь – 131,6 тис. км². Використано методику оцінки водно-ерозійної небезпеки ґрунтів із застосуванням модифікованої моделі RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation); методику розрахунку втрат ґрунту від вітрової ерозії та визначення ступеня еродованості ґрунтів. Просторове моделювання здійснено із застосуванням методів геостатистики та алгебри карт програмного продукту ArcGIS 10.6. Розраховано, що близько 32,7% площі ріллі розташованої в західній і південно-західній частинах зони Степу України мають підвищену водно-ерозійну небезпеку. Зокрема, близько 40% площі ріллі в центральній і південно-східній частинах зони Степу мають сильну і дуже сильну ступінь прояву дефляційних процесів. В результат комплексного просторового моделювання встановлено, що близько 68,7% площі ріллі постійно піддаються комплексній дії ерозійних процесів, зокрема площа слабоеродованої ріллі складає 16,8%, середньо- та сильноеродовані – 22,1%. В результаті еродованості ґрунтового покриву спостерігається перехід площі сільськогосподарських земель із категорії високої та середньої якості у категорію середньої, низької та дуже низької якості. Визначено, що в середньому на слабоеродованих ґрунтах недобір врожаю сільськогосподарських культур складає 15–20%, на середньоеродованих – 20–40% і на сильноеродованих – до 70%. З метою захисту ґрунтів, підвищення їх родючості та підвищення урожайності сільськогосподарських культур в зоні Степу України запропоновано заходи адаптивно-ландшафтного протиерозійного проєктування з елементами ґрунтозахисного землеробства у відповідності до просторової диференціації якості ґрунтів та ступеню проявів водно-дефляційної ерозійної небезпеки. *Ключові слова:* водна ерозія, вітрова ерозія, еродованість ґрунтів, степові ґрунти, ГІС-технології, моделювання.

Modeling of water deflation destruction of steppe soils of Ukraine. Pichura V., Potravka L., Dudiak N., Rutta O.

The article is presented the results of spatial modeling of water-deflation destruction of Steppe soils. More than 50% of the agricultural land of Ukraine has been constantly exposed to negative erosion, which led to significant irreversible ecological and economic consequences of destruction of the soil cover. Studies were carried out on the territory of the Steppe zone of Ukraine with a total area of 167.4 thousand km², including the area of agricultural land – 131.6 thousand km². A method for assessing the water-erosion hazard of soils using a modified model RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) has been used; methodology for calculating soil losses from wind erosion and determining the degree of soil erosion. Spatial modeling was carried out using the methods of geostatistics and algebra of maps of the ArcGIS 10.6 software product. It is estimated that about 32.7% of the arable land area located in the western and southwestern parts of the Steppe zone of Ukraine has an increased risk of water erosion. In particular, about 40% of the arable land in the central and southeastern parts of the Steppe zone has a strong and very strong degree of manifestation of deflationary processes. The result of complex spatial modeling has been found that about 68.7% of the area of arable land is constantly subjected to the complex action of erosion processes, in particular, the area of poorly eroded arable land was 16.8%, medium and strong eroded – 22.1%. As a result of soil erosion, there was a transition of agricultural land area from the category of high and medium quality to the category of medium, low and very low quality. It was determined that, on average, crop yield loss is 15–20% on slightly eroded soils, 20–40% on moderately eroded soils, and up to 70% on heavily eroded soils. In order to protect soils, increase their fertility and increase the yield of crops in the Steppe zone of Ukraine, measures of adaptive-landscape anti-erosion design with elements of soil protection farming in accordance with the spatial differentiation of soil quality and the degree of manifestations of water deflation erosion hazard have been proposed. *Key words:* water erosion, wind erosion, soil erosion, steppe soils, GIS technologies, modeling.

Постановка проблеми. Найбільш потужними факторами деструкції ландшафтів, причиною зниження родючості ґрунтів і порушення продовольчої безпеки країни є водна та вітрова ерозії. Близько 13,3 млн га (31,3%) сільськогосподарських земель України, у т.ч. 32,6% (10,6 млн га) ріллі, постійно зазнають негативного впливу водної ерозії. Землі із середньо- та сильнозмінитим ступенем ґрунтів складають 4,5 млн га (13,8% ріллі), із них 1,5% повністю втратили гумусовий горизонт. Вітровій ерозії систематично піддається 18,5% ріллі, пиловим бурям –

61,5%. Щорічне зростання площ еродованої ріллі загалом в Україні сягає 60–80 тис. га [1]. В цілому, понад 1,1 млн га земель відносяться до деградованих, малопродуктивних та техногенно забруднених земель, більше 140 тис. га до категорії порушених земель, близько 320 тис. га до малопродуктивних угідь, які першочергово підлягають консервації, потребують рекультиватії та поліпшення [2].

Ерозійні процеси призводять до погіршення фізичних властивостей ґрунту, зменшення і повного знищення гумусового горизонту, в результаті

чого відбувається значне зменшення запасів гумусу, макро- і мікроелементів, погіршення родючості ґрунтів, що є причиною зниження значень бонітету зональних ґрунтів, зменшення урожаїв сільськогосподарських культур до 60% та зростання витрат на агротехнологічні заходи [3, 4]. В результаті досліджень встановлено, що обсяг виносу гумусу становить 310–460 кг з 1 га ріллі, азоту – 9,0–28,0 кг/га, фосфору – 21–28 кг/га, калію – 180–370 кг/га. За останні 100 років вміст гумусу в чорноземах зменшився з 13–14% до 3–5% [5].

Відсутність регулярного, рівномірного надходження мінеральних добрив у необхідній кількості, прояви вітрової та водної ерозії, включаючи іригаційну, і дефляції ґрунтів, а також тривале зрошення в зоні Степу України призвели до зменшення вмісту гумусу в середньому на 0,36%, обмінного калію на 18%, рухомого фосфору на 34,17%, нітрифікаційного азоту на 17,0% [6, 7]. За результатами нейромодельовання прогнозується [8] процес поступової дегуміфікації ґрунтів: на богарних землях – на 0,01%, на зрошуваних землях – на 0,03 % в рік і скорочення площ земель, які характеризуються середнім і підвищеним вмістом гумусу. Зазначені показники свідчать про суттєві відхилення, оскільки для збільшення гумусу в ґрунті на 0,1% в природних умовах необхідно 25–30 років. Значний негативний вплив ерозії проявляється на всіх компонентах ландшафтних структур, в результаті чого втрати сільськогосподарської продукції перевищують 2,7–3,7 ц/га зернових одиниць [9]. Тому, моделювання водно-дефляційної деструкції ґрунтів, визначення частоти прояву ерозійних процесів та неоднорідності їх просторового розподілу повинно стати основою для розрахунку

еколого-економічних збитків, обґрунтування ефективності ведення сільського господарства, розробки природоохоронних заходів з подальшим впровадженням адаптивно-ландшафтною протиерозійної організації території з елементами ґрунтозахисного землеробства.

Мета дослідження. Здійснити просторове моделювання водної та вітрової ерозії із застосуванням ГІС-технологій, встановити сумарний вплив ерозійних процесів на рівень деструкції степових ґрунтів, запропонувати заходи адаптивно-ландшафтного протиерозійного проєктування з елементами ґрунтозахисного землеробства.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проведені на території зони Степу України (рис. 1) загальною площею – 167,4 тис. км², в т.ч. площа сільськогосподарських угідь – 131,6 тис. км². Сільськогосподарська освоєність регіону варіює в межах 20–97%.

Розрахунок втрат ґрунту від водної ерозії. Для моделювання водно-ерозійних втрат ґрунтів використана модифікована емпірично-статистична модель RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) [10, 11]:

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (1)$$

де, A – середня багаторічна величина змиву від стоку дощових вод, т/га на рік; R – середньобогаторічний ерозійний потенціал опадів ($ЕПО$), умовні одиниці; K – змивання (еродованість) ґрунту, т/га на одиницю $ЕПО$; LS – фактор рельєфу; C – ерозійний індекс культури або сівозміни у цілому; P – коефіцієнт ґрунтозахисної ефективності протиерозійних заходів.

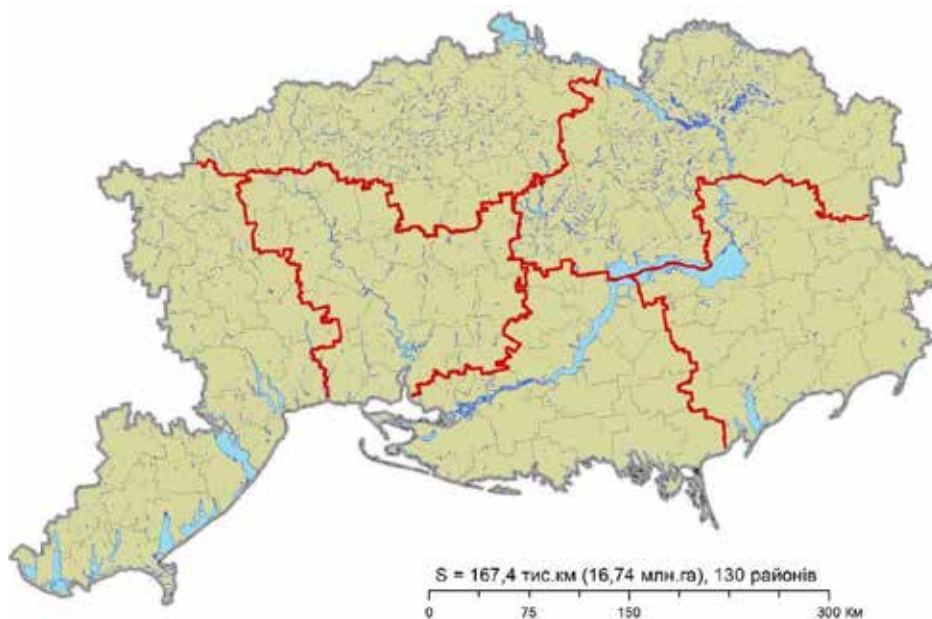


Рис. 1. Просторова характеристика території досліджень

Модель *RUSLE* використана в середовищі ГІС ліцензійного програмного продукту ArcGIS 10.1, для цього були створені растрові моделі (розмір чарунки 30×30 м.) кожного інтегрованого фактору моделі водної ерозії ґрунтів в зоні Степу України. Просторова модель середньорічного потенціалу дощових опадів (*R*) була отримана на основі екстраполяції декомпозицій даних картограм ерозійного індексу опадів [12]. При визначенні фактору еродованості ґрунтового покриву або фактор піддатливості ґрунтів ерозійним процесам (*K*) здійснена векторизація ґрунтових карт зони Степу України. Для кожного ґрунтового різновиду із урахуванням їх гранулометричного складу у відповідності до класифікації коефіцієнтів еродованості ґрунтів (т/га на рік) був розрахований параметр *K* і отримана просторова растрова модель.

Оцінку ерозійного потенціалу рельєфу (*LS*) здійснено за допомогою просторового аналізу гідрологічно-коректної цифрової моделі рельєфу (ЦМР) визначені морфометричні характеристики рельєфу і побудовані растрові картограми довжин (*L*) і ухилів (*S*) поверхні із використанням робочого модуля Hydrology tools of Spatial Analyst Tools і Surface of Spatial Analyst Tools, після чого з використанням модуля Raster Calculator, розраховували значення *LS* для кожного пікселя за формулою [10]:

$$LS = L^{0.5} \cdot (0,0011 \cdot S^2 + 0,0078 \cdot S + 0,0111) \quad (2)$$

Коефіцієнт рослинного покриву (*C*) разом з фактором *LS* є найбільш чутливим до втрати ґрунту [13, 14]. При збільшенні рослинності, втрати ґрунту зменшуються. Для визначення фактору *C* були використані дані дистанційного зондування землі (ДЗЗ) коректно каліброваного супутникового знімку *Landsat-8* із геометричним розрізненням (просторовим дозволом) ~ 30×30 м станом на березень і серпень місяць 2020 року. Генерація значень *C* фактора проводилася на основі безрозмірного показника NDVI (нормалізованого диференціального вегетаційного індексу), для цього використана формула [15]:

$$C = \exp(-\alpha((NDVI) / (\beta - NDVI))) \quad (3)$$

де, α і β – безрозмірні параметри, які визначають форму кривої, що відноситься до NDVI і *C* фактора. Параметри α і β мають значення 2 і 1 відповідно. Коефіцієнт ґрунтозахисних заходів (*P*) брали за 1, припускаючи, що додаткові заходи не проводилися.

Розрахунок втрат ґрунту від вітрової ерозії. Для визначення можливих втрат ґрунту на території Степу України використано модель вітрової ерозії ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського», яка адаптована до різних фізико-географічних умов країни [16-18]:

$$E_p = \frac{10^{a-bk} \cdot 0.1K_s \cdot V_{av_max}^3 \cdot t \cdot K_{spe}}{V_{aer}^3} \quad (4)$$

де, E_p – потенційно можливі дефляційні втрати ґрунту, т/га за рік; a , b – степеневі коефіцієнти, які залежать від генезису, гранулометричного складу, щільності і деяких інших властивостей ґрунтів (розраховані експериментально); k – грудкуватість поверхневого (0-3 см) шару ґрунту (вміст агрегатів або часток більше 1 мм), %; K_s – коефіцієнт руйнування агрегатів поверхневого шару ґрунту під впливом ударів ґрунтових часток та їх стирання повітряно-пиловим потоком; V_{av_max} – середня максимальна швидкість вітру при пилових бурях 20-ої забезпеченості, м/сек (20% забезпеченість показує, що цей показник, визначений за багаторічними даними, вірний у 80 випадках із 100, тобто тільки у 20% випадків швидкість вітру при пилових бурях буде більшою); t – середня кількість годин з проявленням вітрової ерозії за рік за багаторічними даними; K_{spe} – коефіцієнт ґрунтозахисної ефективності протидефляційних заходів; V_{aer} – базова швидкість потоку в аеродинамічній установці, яка дорівнює 23 м/сек у перерахуванні на висоту флюгера (10 м); $0,1$ – перерахування з г/м² за 5 хвилин у т/га за рік.

Просторові моделі розподілу величини коефіцієнтів регресій (a , b), грудкуватості (k) та коефіцієнтів руйнування (K_s) створені на основі присвоєння відповідних значень кожному ґрунтовому різновиду зони Степу України (рис. 2). Растрові моделі просторового розподілу середньої максимальної швидкості вітру при пилових бурях (V_{av_max}), а також середньої кількості годин з проявленням вітрової ерозії за рік (t) на території степових ґрунтів отримані на основі екстраполяції декомпозицій даних метеорологічних картограм за усередненими даними 1990–2020 рр.

Коефіцієнт ґрунтозахисної ефективності проти дефляційних заходів (K_{spe}) розраховано за модифікованим ерозійним індексом культури або коефіцієнту рослинного покриву (C') за формулою:

$$C' = C / \max(C) \quad (5)$$

Значення C розраховується за формулою 3. Значення C' знаходиться в діапазоні від 0 (максимальна проти дефляційна дія рослинного покриву) до 1 (мінімальна або відсутня проти дефляційна рослинність).

Розрахунок еродованості ґрунтового покриву. Ступінь еродованості ґрунтового покриву території окремих адміністративно-територіальних одиниць (районів) визначався за коефіцієнтом еродованості ґрунтового покриву за формулою [19]:

$$K = \frac{S_0 + 1,2S_1 + 1,57S_2 + 2,58S_3}{\sum S} \quad (6)$$

де, K – коефіцієнт еродованості ґрунтового покриву (території); S_0 , S_1 , S_2 , S_3 – площі, відповідно, нееродованих, слабкоеродованих, середньоеродованих та сильноеродованих ґрунтів, га або %; $\sum S$ – загальна площа території, га або 100%; 1,2,

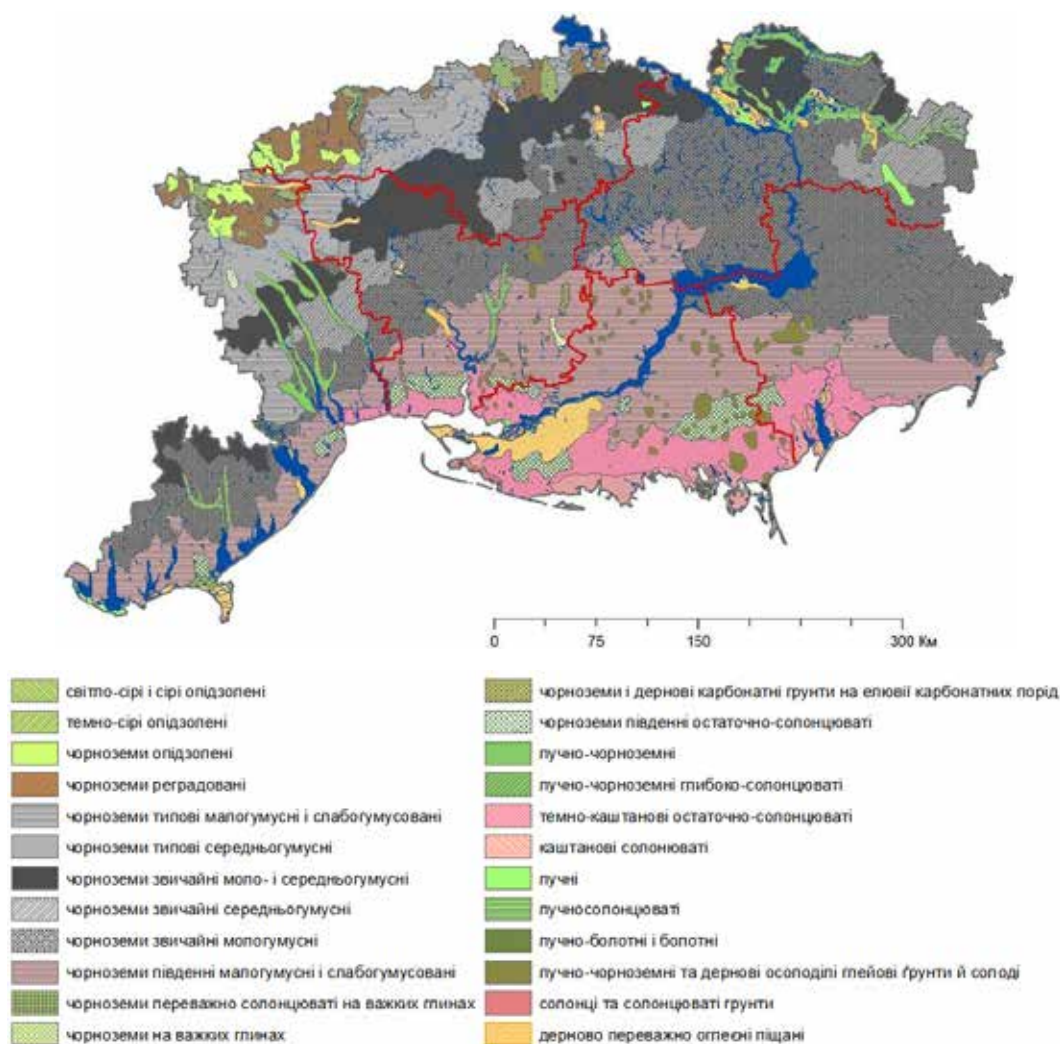


Рис. 2. Типи ґрунтів на території степових регіонів досліджень

1,57, 2,58 – відповідно коефіцієнти слабоеродованих, середньоеродованих та сильноеродованих ґрунтів.

Еродованість ґрунтового покриву (території районів) здійснено за класифікацією: нееродований ($K=1,0$), дуже слабоеродований ($K=1,0-1,05$), слабоеродований ($K=1,05-1,15$), середньоеродований ($K=1,15-1,25$), сильноеродований ($K=1,25-1,40$), дуже сильноеродований ($K>1,40$).

Просторове моделювання водно-дефляційної деструкції степових ґрунтів здійснено в середовищі ГІС ліцензійного програмного продукту ArcGIS 10.6.

Виклад основного матеріалу. Моделювання водно-ерозійної деструкції степових ґрунтів. В результаті моделювання визначено просторова неоднорідність диференціації основних факторів водно-ерозійної деструкції ґрунтів в зоні Степу України: ерозійний потенціал опадів (R) рівномірно збільшується з півдня на північний захід від 5,4 до 8,8; потенційні щорічні втрати родючого верхнього шару ґрунту (K) залежно від ерозійного потенціалу опадів зменшується з північного сходу на пів-

день від 3,6 до 1,2 т/га, значення ерозійного індексу культури (C) варіюють від 0 до 1,4 в напрямку із півночі на південь; значення фактора рельєфу (LS) варіює від 0,2 до 1,8, найбільшу ерозійну небезпеку рельєфу мають сільськогосподарські землі північно західної частини зони Степу України. В результаті ГІС-моделювання із використанням модифікованої моделі *RUSLE* була проведена оцінка ерозійної небезпеки, розраховано потенціал щорічних ґрунтових втрат на ріллі (рис. 3а). Виокремлено близько 4304,5 тис. га орних земель, які мають підвищену (більше 2 т/га на рік) ерозійну небезпеку (32,7 % від загальної площі ріллі).

Умовно ерозійно безпечні землі належать до рівнинних та буферних границь вододільних частин схилів і складають 67,3 % загальної площі ріллі, але й вони піддаються процесам водної ерозії [20].

Близько 48 адміністративно-територіальних одиниць (рис. 3б), які в більшій мірі розташовані в північній частині степового регіону досліджень, мають питому площу менше 5 % ерозійно порушених

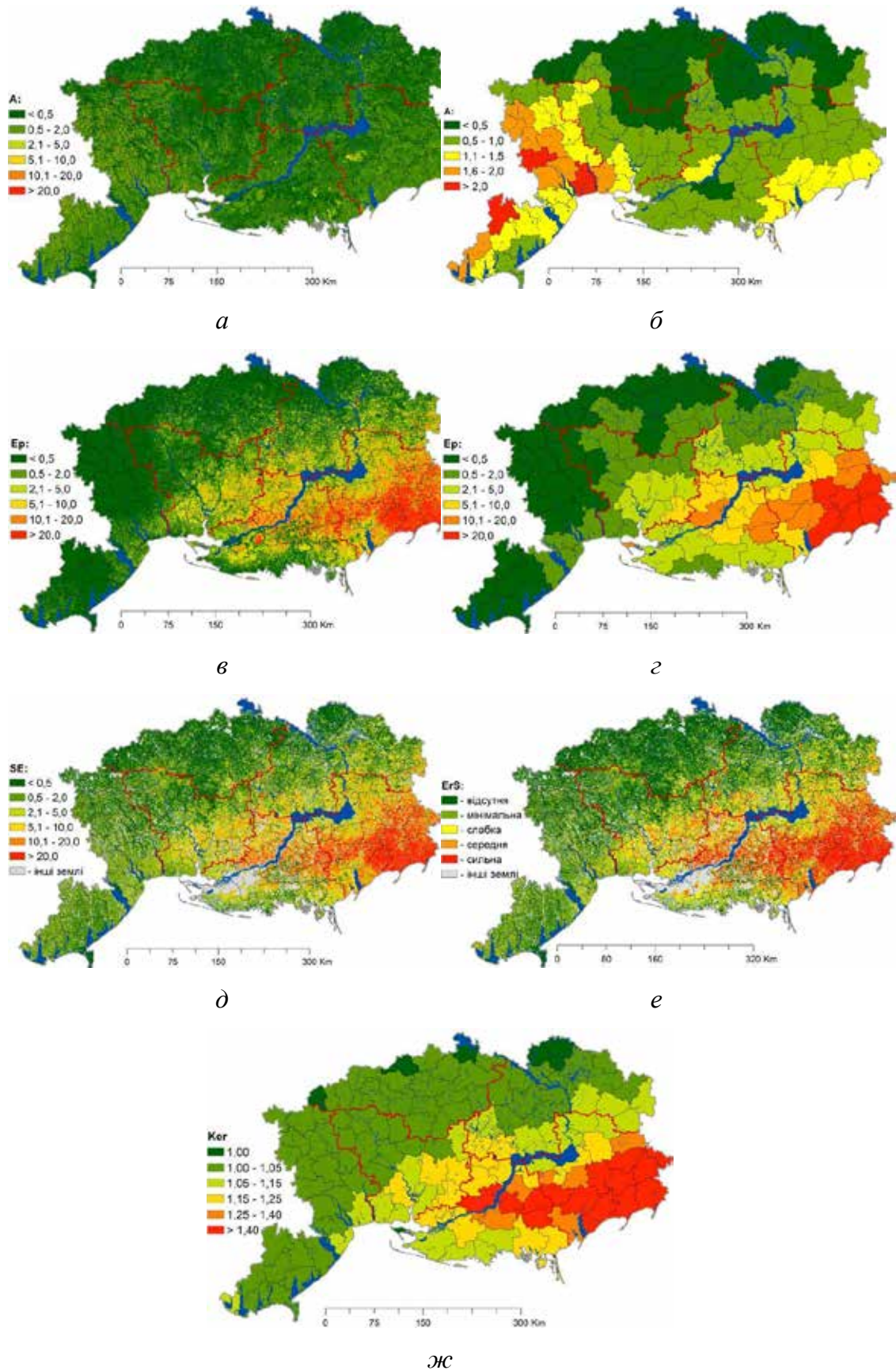


Рис. 3. Просторовий розподіл сумарних втрат ґрунту (т/га на рік) від водно-дефляційної деструкції ґрунтів зони Степу України: а, б – водно-ерозійна деструкція (А); в, г – дефляційна деструкція (Ер); д – сумарна деструкція ґрунту (SE); е – ступінь еродованості ґрунтів (ЕrS); ж – коефіцієнт еродованості ґрунтів (Ker)

земель і характеризуються стійким типом агроландшафтів до водно-ерозійних процесів.

Переважає більшість адміністративно-територіальних одиниць із високим ерозійно-аккумулятивним потенціалом, де частка площі складає більше 15% розміщені в західній і південно-західній частинах зони степу України, питома вага площі ерозійно небезпечних земель в окремих адміністративно-територіальних одиницях досягає 32%.

Моделювання дефляційної деструкції степових ґрунтів. Встановлено, що збільшення амплітуди коливання температури повітря та ґрунтів, зниження суми річних опадів [21], гідротермічного коефіцієнту, скорочення безморозного періоду, посилення активності вітру, сприяють розвитку дефляційних процесів, що визначається проявами ерозійно небезпечного клімату, який обумовлюється континентальністю [22]. Значні прояви вітрової ерозії властиві аридним і семіаридним зонам, які мають незначну кількість опадів, високу температуру повітря і ступень випаровуваності, посилені сильними вітрами і низькою диференціацією рослинної захищеності. В першу чергу, у зоні посилення вітрово-ерозійних процесів знаходяться ґрунти зони Степу, які характеризуються легким гранулометричним складом, низькою швидкістю ґрунтоутворення, середнім та низьким рівнем вмісту гумусу, слабкою зв'язністю і міцністю ґрунтової грудки. На степовому, переважно рівнинному рельєфі, вітер набуває великої швидкості, що спричиняє збільшення ударної сили переносу частинок. Прояви дефляційної деструкції ґрунтового покриву пов'язані з факторами вітру (швидкість, частота повторення, його сила і тривалість); особливостями земної поверхні (рослинність, його висота і щільність покриву, нерівність поверхні, наявність ґрунтової вологи), специфікою ґрунтів (розмір ділянок, їх зв'язаність, розподіл агрегатів і кількості органічної речовини) [18, 23, 24]. Внаслідок вітрової ерозії у відкритих степових ландшафтах щороку пошкоджується 5-6 млн. га родючих земель. Найбільш активна і шкідлива форма вітрової ерозії виникає у степовій та частково лісостеповій зонах за швидкості вітру понад 12-15 м/с. Дослідниками встановлено, що низька ефективність існуючих контурно-меліоративних протидефляційних заходів в зоні Степу України спричинила великомасштабну катастрофу 2007 року, коли близько 20% площ сільськогосподарських угідь знаходилися в епіцентрі дії пилових бур. У зв'язку з цим, втрат ґрунту становили від 10 до 400 т/га [25].

В результаті просторового моделювання створені растрові моделі просторової диференціації вітрово-ерозійних факторів та розраховані дефляційні втрати ґрунту на території зони Степу України. Величини коефіцієнтів регресій (a , b), грудкуватості (k), коефіцієнтів руйнування (K_s) для основних ґрунтів України розраховано у відповідності до методики потенційних втрат ґрунту [16-18]. Дослідженнями

визначено, що коефіцієнти характеристик генезису, гранулометричного складу, щільності та інших властивостей ґрунтів степового регіону варіюють *фактор-а* від 2,3497 (дерново-підзолисті, дернові опідзолені, оглеєні, опідзолені ґрунти піщані, глинисто-піщані і супіщані ґрунти) до 4,3060 (чорноземи типові і звичайні середньо-і сильно еродовані ґрунти), *фактор-б* від 0,020 (чорноземи південні солонцюваті ґрунти) до 0,058 (чорноземи типові і звичайні середньо-і сильно еродовані ґрунти). Середнє значення *фактору-к* варіює в межах 17,5% (дерново-підзолисті, дернові опідзолені, оглеєні, опідзолені ґрунти піщані, глинисто-піщані і супіщані ґрунти) – 50,0% (сірі опідзолені, чорноземи опідзолені і солонцюваті, каштанові солонцюваті, солонці суглинкові і глинисті ґрунти), *фактору- K_s* від 0,5 (чорноземи типові і звичайні середньо-і сильно еродовані ґрунти) до 0,83 (дерново-підзолисті, дернові опідзолені, оглеєні, опідзолені ґрунти піщані, глинисто-піщані і супіщані ґрунти). Середні максимальні швидкості вітру при пилових бурях 20%-ої забезпеченості ($V_{av.max}$) зменшуються із південно-східної частини регіону досліджень до північно-східної від 26,1 до 13,7 м/с, середнє число годин у рік з пиловими бурями (t) в зоні Степу України також варіює в даному напрямку від 0 до 37,8 год. Просторова диференціація дефляційного впливу *фактору- C'* залежить від розподілу площ земель зайнятих під природною рослинністю і сільськогосподарськими культурами, а сезонне значення його варіює від 0 до 1. В результаті ГІС-моделювання із використанням моделі потенційно можливих втрат ґрунту в результаті дефляційних процесів на території зайнятих чистим паром, за відсутності протиерозійних заходів, втрати ґрунту в епіцентрі пилових бур становитимуть від 0,02 т/га до 598,3 т/га [2].

Потенційні втрати ґрунту за умов дії проти-дефляційної ефективності культури або сівозміни *фактору- C'* в порівнянні із моделлю відсутності протидефляційних заходів знижуються у 5,62 рази (рис. 3в). Встановлено, що близько 40% сільськогосподарських земель мають сильну і дуже сильну ступінь прояву дефляційних процесів, які переважно розташовані в центральній і південно-східній частинах зони Степу України (рис. 3г).

Розрахунок водно-дефляційної деструкції степових ґрунтів. На основі растрових моделей втрати ґрунтового покриву (т/га) від дії водної (рис. 3а) і вітрової (рис. 3б) ерозії, створено растрову модель просторової диференціації сумарної водно-дефляційної деструкції степових ґрунтів (рис. 3д). Розподіл сільськогосподарських земель за градацією ерозійної небезпеки представлено в таблиці 1.

До умовно ерозійно безпечних земель (31,3 % загальної площі ріллі) відносять землі рівнинних та буферних границь вододільних частин схилів із наявністю рослинного покриву біо- та агроценозів. Близько 68,7% орних земель постійно піддаються

Таблиця 1

Розподіл площ орних земель за потенційною небезпекою водно-дефляційної деструкції ґрунтів

Ерозійна небезпека	Змив ґрунту, т/га на рік	Ступінь розвитку ерозійних процесів	Площа, тис. га	Питома вага, %
Умовно відсутня	< 0,5	I категорія	4119,2	31,3
Мінімальна	0,5–2,0	II категорія	3048,4	23,2
Слабка	2,1–5,0		2404,5	18,3
Середня	5,1–10,0	III категорія	1531,0	11,6
Висока	10,1–20,0	IV категорія	1070,1	8,1
Дуже висока	> 20,0		988,9	7,5
Всього:			13162	100

Таблиця 2

Вплив ступеню еродованості ґрунтів на зміну їхніх властивостей
(за одиницю прийняті властивості і показники нееродованих ґрунтів)

Властивості і показники		Еродованість ґрунтів				
		Відсутня	Мінімальна	Слабка	Середня	Сильна
Сільськогосподарські землі	тис. га	4844,3	3202,8	2210,0	1316,4	1588,6
	%	36,8	24,3	16,8	10,0	12,1
Вміст гумусу		1,0	1,00–0,95	0,95–0,75	0,75–0,50	0,50–0,30
Легкогідролізований азот		1,0	1,00–0,95	0,95–0,80	0,80–0,66	0,66–0,50
Рухомий фосфор		1,0	1,00–0,82	0,82–0,70	0,70–0,60	0,60–0,40
Обмінний калій		1,0	1,00–0,91	0,91–0,85	0,85–0,80	0,80–0,70
Об'ємна маса		1,0	1,00–1,03	1,03–1,05	1,05–1,10	1,10–1,23
Вологість в'янення рослин		1,0	1,00–0,96	0,96–0,90	0,90–0,85	0,75–0,65
Пористість (за Заславським)		1,0	1,00–0,95	0,94–0,90	0,90–0,80	0,80–0,75
Повна вологоємність (за Заславським)		1,0	1,00–0,98	0,98–0,95	0,95–0,80	0,80–0,70
Середня урожайність культур:						
– зерна		1,0	1,00–0,85	0,85–0,80	0,80–0,60	0,60–0,30
– зеленої маси		1,0	1,00–0,95	0,95–0,90	0,90–0,70	0,65–0,45

комплексній дії ерозійних процесів, зокрема: мінімальні та слабкі негативні прояви розповсюджені на 41,5% площі, середні – 11,6%, високі та дуже високі – 15,6% площі орних земель.

Таким чином, визначено, що за умов відсутності екологічно обґрунтованих протиерозійних заходів набули посилення деградаційні процеси ґрунтового покриву, які характеризуються показником еродованості. Зокрема, спостерігається перехід земель із категорії мало- та слабоеродованих у категорію середньоеродованих та сильноеродованих (рис. 3е), що обумовлено втратою найбільш родючого шару ґрунту, виносом гумусу (дегуміфікації ґрунтів) і поживних речовин, значним погіршенням фізичних властивостей ґрунтів та, в результаті, зменшенням урожайності сільськогосподарських культур. З погіршенням агрофізичних властивостей ґрунтів ще більше зростає їх схильність до ерозії, яка може привести до повної втрати гумусового горизонту та безповоротного погіршення ґрунту.

Визначено, що за останні 40 років площа еродованих земель на території України збільшилася на 2,5 млн га з щорічним розширенням еродованої

ріллі на 60–80 тис. га. В період 1960–2015 рр. площа еродованих ґрунтів збільшилася на 30–35 %; площа сильнозмитих ґрунтів зросла на 20 %; слабо- і середньозмитих – на 2 і 12 % відповідно [5]. Площа слабоеродованої ріллі на території Степу України складає 2,2 млн га (16,8% площі ріллі), середньо- та сильноеродовані – 2,9 млн га (22,1%) (табл. 2).

На середньо- та сильнозмитих землях інфільтраційна можливість ґрунту зменшується до 30% і змиваемість збільшується в 1,5–2,0 рази, що призводить до акумуляції у водоймах продуктів ерозійного руйнування ґрунтів, а разом з ними – агрохімікатів, біогенів, важких металів, в тому числі, радіонуклідів. В результаті цього значно погіршується якість поверхневих вод, провокується евтрофікація акваторій, відбувається замулення малих річок, що є причиною їх зникнення.

Збільшення площ еродованих ґрунтів обумовлює ступінь деградації територіальних екосистем (одиниць) та актуалізує необхідність впровадження відповідних протиерозійних та меліоративних заходів. Для відновлення втраченої родючості еродованих ґрунтів необхідно компенсувати втрати гумусу

в результаті ерозії, тому необхідно вносити в 3 рази більше органічної речовини, ніж було змито гумусу, оскільки гуміфікується не більше 25–30 % обсягу органічних добрив та сидератів. Визначено, що ступінь еродованості ґрунтового покриву в межах окремих адміністративно-територіальних одиниць (АДТО) на рівні районів (рис. 3ж) варіює від 1,0 (нееродований) до 1,4 і вище (дуже сильноеродований): 6 АДТО (3,4% загальної площі території досліджень) відсутні еродовані землі; 63 АДТО (47,0%) мають дуже слабоеродований ступінь ґрунтового покриву; 23 АДТО (18,6%) слабоеродований ґрунтовий покрив; 17 АДТО (15,4%) середньоеродований ґрунтовий покрив; 7 АДТО (4,3%) сильноеродований ґрунтовий покрив; 14 АДТО (11,3%) дуже сильноеродований ґрунтовий покрив. Визначено, що в середньому на слабоеродованих ґрунтах надбій врожаю сільськогосподарських культур складає 15–20%, на середньоеродованих – 20–40% і на сильноеродованих – до 70%.

Для формування екологічно стійких агроландшафтів і зменшення ерозійно-кумулятивних процесів на території зони Степу України необхідно здійснити просторову диференціацію науково обґрунтованих систем організаційно-господарських, агротехнічних лісомеліоративних, гідротехнічних та меліоративних заходів, спрямованих на раціональне використання земельних ресурсів, збереження й підвищення родючості ґрунтів, відтворення їхньої продуктивності з метою найкращого використання всіх біологічних можливостей територіальних та аквальних екосистем.

Організаційно-господарські заходи передбачають використання зернотрав'яних сівозмін, суцільне заліснення та заростання степовими біоценозами на крутих схилах, на малопродуктивних землях відмова вирощувати просапні культури, випас худоби на сильноеродованих легких ґрунтах. Застосування агротехнічних заходів обумовлюються видом ерозійної деструкції і типом агроландшафту. Зокрема, сільськогосподарські угіддя, які зазнають водної ерозії – оранку, сівбу, культивування ґрунту проводять поперек схилу, що зменшує поверхневий стік до 4 разів і більше. Ефективним способом боротьби з водною ерозією є використання ґрунтозахисних сівозмін, смугове розміщення сільськогосподарських культур поперек схилу, залуження ґрунтів на схилах.

У районах з переважним поширенням вітрової ерозії застосовують ґрунтозахисні сівозміни, розміщують смугами посіви й пари, висівають буферні смуги

з багаторічних трав, проводять снігозатримання, безвідвальний обробіток ґрунту із залишенням стерні на поверхні, залуження еродованих земель, мульчування та поліпшення структури ґрунту. Впровадження агролісомеліоративних заходів мають важливе значення для поліпшення мікрокліматичних умов, снігозатримання та боротьби з вітровою ерозією. Система полезахисних лісових смуг захищає посіви від суховіїв і бур, поліпшує водний режим ґрунтів і запобігає ерозії. Урожайність зернових на захищених смугами полях підвищується на 2–3 ц/га. Для зменшення водно-ерозійних процесів на полях прилеглих до балок і ярів, створюють прибалкові і прияружні лісові смуги. Гідротехнічні та меліоративні заходи направлені на збалансоване зрошення в комплексі з протиерозійними насадженнями, спорудження спеціальних колекторів та протиерозійних ставів для відведення та накопичення поверхневих стоків, будівництво берегозакріплюючих конструкцій в зоні підвищеної небезпеки абразії берегів у руслах річок, дотримання меж водоохоронних зон тощо.

Головні висновки. В результаті просторового моделювання встановлено, що близько 68,7% площі ріллі постійно піддаються комплексній дії ерозійних процесів, зокрема: мінімальні та слабкі негативні прояви розповсюджені на 41,5% площі, середні – 11,6%, високі та дуже високі – 15,6% площі орних земель. Розраховано, що площа слабоеродованої ріллі складає 16,8%, середньо- та сильноеродовані – 22,1%. В результаті еродованості ґрунтового покриву відбувається перехід значних площі сільськогосподарських земель із категорії високої та середньої якості у категорію середньої, низької та дуже низької якості, що обумовлюється втратою ґрунтової родючості до 70%, зниженням урожайності та прибутку сільськогосподарських виробників, збільшенням прямих витрат в результаті використання еродованих земель і порушенням продовольчої безпеки регіонів Степу України. Для захисту ґрунтів, підвищення їх родючості та урожайності сільськогосподарських культур необхідно впровадити заходи адаптивно-ландшафтного протиерозійного проектування з елементами ґрунтозахисного землеробства, що має включати систему організаційно-господарських, агротехнічних лісомеліоративних, гідротехнічних та меліоративних заходів із урахуванням просторової диференціації якості ґрунтів та ступеню проявів водно-дефляційної ерозійної небезпеки.

Література

1. Пічур В.І., Скрипчук П.М., Дудяк Н.В. Управлінські аспекти еколого-економічних наслідків водно-ерозійної деструкції ґрунтів в зоні Степу України. *Збалансоване природокористування*. 2019. № 3. С. 109–118.
2. Dudiak N.V., Pichura V.I., Potravka L.A., Stroganov A.A. Spatial modeling of the effects of deflation destruction of the steppe soils of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. 2020. Vol. 21 (2). P. 166–177.
3. Pichura V.I. 2015. Basin approach to spatial-temporal modeling and neyroprediction of potassium content in dry steppe soils. *Biogeosystem Techniqu*. 2015. Vol. 2 (4). P. 172–184.

4. Тараріко О.Г., Кучма Т.Л., Ільєнко Т.В., Дем'янюк О.С. Ерозійна деградація ґрунтів України за впливу змін клімату. *Агроєкологічний журнал*. № 1. С. 7-15.
5. Наукові та прикладні основи захисту ґрунтів від ерозії в Україні: монографія. За ред. С.А. Балюка, Л.Л. Товажнянського. Харків: НТУ «ХПІ», 2010. 460 с.
6. Пічуря В.І., Безніцька Н.В. Просторово-часова трансформація агрохімічного стану ґрунтів у зоні сухого степу. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2017. № 3 (67). Режим доступу: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovid/article/view/8723>
7. Пічуря В.І., Потравка Л.О., Бреус Д.С., Домарацький Є.О., Карташова О.Г. Агроєкологічне обґрунтування ведення органічного землеробства в умовах півдня України: монографія. Херсон: Олді+, 2022. 222 с.
8. Lisetskii F.N., Pichura V.I., Breus D.S. Use of Geoinformation and Neurotechnology to Assess and to Forecast the Humus Content Variations in the Step Soils. *Russian Agricultural Sciences*. 2017. Vol. 2 (43). P. 151–155.
9. Dudiak N., Pichura V., Potravka L., Stratchuk N. Environmental and economic effects of water and deflation destruction of steppe soil in Ukraine. *Journal of Water and Land Development*. 2021. No. 50. P. 10–26.
10. ГОСТ 17.4.4.03-86. Охрана природы. Почвы. Метод определения потенциальной опасности эрозии под воздействием дождей. Москва, 1986. 12 с.
11. Renard K.G., Foster G.R., Weesies G.A., McCool D.K., Yoder D.C. 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *Agriculture Handbook*, (703), USDA-ARS.
12. Grushetsky A.V., Krivov V.N., Panochko N.M., Telesh P.V., Chepkov B.M., Moskalenko V.M. Album of typical solutions of marking linear boundaries in the development of intrafarm land management projects with the contour-reclamation area organization. Scientific Supervisor. Doctor of Economics L.Y. Novakovskiy. UkrNIIZemproekt, 1990. 97 p.
13. Benkobi L., Trlica M.J., Smith J.L. Evaluation of a refined surface cover subfactor for use in RUSLE. *Range Manage.* 1994. Vol. 47. P. 74–78.
14. Biesemans J., Meirvenne M.V. and Gabriels D. 2000. Extending the RUSLE with the Monte Carlo error propagation technique to predict long-term average off-site sediment accumulation. *Soil Water Conserv.* 2000. Vol. 55. P. 35–42.
15. Van Leeuwen W.J.D., Sammons G. Vegetation dynamics and soil erosion modeling using remotely sensed data (MODIS) and GIS. *Tenth Biennial USDA Forest Service Remote Sensing Applications Conference*, 5–9 April 2004, Salt Lake City, UT. US Department of Agriculture Forest Service Remote Sensing Applications Center, Salt Lake City.
16. Ачасов А.Б., Булигін С.Ю., Можейко Т.А. та ін. Методика і нормативи обліку прояву і небезпеки ерозії (методичний посібник) / За ред. Булигіна С.Ю. Харків, 2000. 64 с.
17. Можейко Г.А., Москаленко В.М., Булыгин С.Ю., Тимченко Д.О., Лавровський А.Б., Канаш А.П. Прогноз возможных потерь почвы от ветровой эрозии в степной зоне Украины. Харьков: ИПА им. А.Н. Соколовского. 1980. 83 с.
18. Булигін С.Ю. Формування екологічно сталих агроландшафтів. Київ: Урожай, 2005. 300 с.
19. Шелякин Н.М., Белолипский В.А., Головченко И.Н. Контурно-мелиоративное земледелие на склонах. Киев : Урожай, 1990. 168 с.
20. Dudiak N.V., Pichura V.I., Potravka L.A., Stratchuk N.V. Geomodelling of Destruction of Soils of Ukrainian Steppe Due to Water Erosion. *Journal of Ecological Engineering*. 2019. Vol. 20 (8). P. 192–198.
21. Pichura V.I., Potravka L.A., Dudiak N.V., Skrypchuk P.M., Stratchuk N.V. Retrospective and Forecast of Heterochronal Climatic Fluctuations Within Territory of Dnieper Basin. *Indian Journal of Ecology*. 2019. Vol. 46 (2). P. 402–407.
22. Shahaev V.L. Modification of soil protection technologies against wind erosion through designing thatcherizer of couch grass: Dissertation Cand. of Tech. Scien.: 05.20.01:Ulan-Ude, 2004. 159 p.
23. Luo W., Zhao W., Zhuang Y. Sand-burial and wind erosion promote oriented-growth and patchy distribution of a clonal shrub in dune ecosystems. *CATENA*. 2018. Vol. 167. P. 212–220.
24. Chi W., Zhao Y., Kuang W., He H. Impacts of anthropogenic land use/cover changes on soil wind erosion in China. *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 668. P. 204-215.
25. Чорний С.Г. Причини та наслідки пилової бурі 23-24 березня 2007 року. *Регіональні проблеми України: Географічний аналіз та пошук шляхів вирішення*. Херсон. 2007. 43 с.

ВПЛИВ АГРОЕКОЛОГІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ НА ВМІСТ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ В ЗЕЛЕНІЙ МАСІ АМАРАНТУ

Романчук Л.Д., Кравчук Т.В., Можарівська І.А.

Поліський національний університет

бульв. Старий 7, 10008, м. Житомир

ludmilaromanchuk14@gmail.com, taja_slivinsjka@ukr.net, innamozharivska@gmail.com

Рациональне та ефективне використання природних та рослинних ресурсів – одна з найважливіших проблем сьогодення. Шляхом вирощування нішевих культур можна вирішити ряд важливих проблем сучасного сільськогосподарського виробництва, одним з яких є дефіцит клітковини та рослинного жиру.

Дані дослідження проводились для вивчення впливу системи удобрення на формування продуктивності та якості зеленої маси амаранту, а саме на вміст рослинного жиру та клітковини. Предметом досліджування були три сорти амаранту: сорт Кремовий ранній (св. *Kremovyi rannii*), сорт Геліос (св. *Helios*), сорт Стерх (св. *Sterkh*) за різного рівня мінерального живлення. Представлені результати оптимізації елементів технології вирощування даних сортів амаранту для умов Полісся України.

За даними досліджень встановлено, що на варіантах без внесення мінеральних добрив показник вмісту клітковини значно відрізнявся від варіантів де вносили мінеральні добрива. Найкращі показники клітковини спостерігались у сорті Кремовий ранній 26,82 % – 28,37 %. Істотно вищими, у порівнянні з контролем, були відмічені показники на варіанті з внесенням мінеральних добрив $N_{90}P_{90}K_{90}$ – 28,37 %. Зниження показників клітковини відмічались у сорті Геліос – 18,37 % – 20,37%.

Щодо вмісту жиру в зеленій масі амаранту, то істотне підвищення показників було у сорті Геліос. Внесення мінеральних добрив у дозі $N_{30}P_{30}K_{30}$ забезпечило підвищення рослинного жиру на 35,1 % в порівнянні з показниками на варіанті без внесення добрив. Низькі показники вмісту жиру в зеленій масі амаранту показав сорт Стерх, варіант без внесення мінеральних добрив мав показник 0,8 %. Найвищий вміст рослинного жиру в даному сорті був на варіанті з внесенням мінеральних добрив у дозі $N_{30}P_{30}K_{30}$, що становить 0,99 %. *Ключові слова:* мінеральні добрива, система удобрення, клітковина, жир, елементи живлення, продуктивність.

The influence of the agroecological elements of the cultivation technology on the microelements content in amaranth green mass. Romanchuk L., Kravchuk T., Mozharivska I.

Rational and effective use of natural and plant resources is one of the most important problems nowadays. A number of urgent problems of modern agricultural production, like fiber and vegetable fat deficiency, can be solved by growing new plants.

The purpose of the research was to study the influence of a fertilizer system on the formation of both productivity and quality of amaranth green mass, on the content of vegetable fat and fiber, in particular. The results of studying of three amaranth cultivars – cv. *Kremovyi rannii*, cv. *Helios*, cv. *Sterkh* under a different mineral nutrition level have been presented. The results of the optimization of the elements of amaranth cultivars cultivation technology under conditions of Polissia of Ukraine have been given.

According to the research, it has been established that in the variants with unfertilized amaranth plants the index of fiber content differed from the index in the variants with fertilized plants. The highest fiber indices were registered in cv. *Kremovyi rannii* (26,82% – 28,37%). The highest index (28,37%) was registered in the variants with mineral fertilizers in dose of $N_{90}P_{90}K_{90}$. The lowest fiber indices were registered in cv. *Helios* – 18,37% – 20,37%.

As to a fat content in amaranth green mass, the highest indices were registered in cv. *Helios*. The highest index was registered in a variant with mineral fertilizers in dose of $N_{30}P_{30}K_{30}$ – 1,79 % which is by 35,1% higher than the index in a variant without using mineral fertilizers.

The cultivar *Sterkh* had low indices of fat content (0,8%) in amaranth green mass in the experimental field without the application of mineral fertilizers. The best index (0,99%) for a given cultivar was registered in a variant with an application of mineral fertilizers in dose of $N_{30}P_{30}K_{30}$. *Key words:* mineral fertilizers, fertilizer system, fiber, fat, nutrients, productivity.

Постановка проблеми та актуальність дослідження. Основним завданням технологій вирощування сільськогосподарських культур на сьогоднішній день є отримання високої рентабельності виробництва продукції та максимальної реалізації продуктивності рослин [1]. На даний час землеробство знаходиться на етапі переходу від високовитратних до менш енергомістких та раціональних технологій вирощування сільськогосподарських культур [2, 3].

Кліматичний потенціал та родючість ґрунтів Полісся не повністю відповідають біологічним потребам певних сільськогосподарських культур,

зокрема, сучасних сортів амаранту для реалізації їхнього потенціалу в цілому [4]. Це призводить до зниження врожаїв, якість зерна значно погіршується та стає мало придатне для продовольчих потреб. Одним із напрямів даного дослідження є максимальне використання потенціалу високої врожайності сільськогосподарської культури – амаранту, що дає здатність розширити можливості виробництва якісної продукції і зміцнить ринок екологічно чистого та безпечного продовольчого зерна [5.6].

Амарант – зернова культура, яка має здатність вирощуватися на бідних ґрунтах, з недостатньою

кількістю мінерального живлення. Він ефективно використовує елементи живлення добрив та інші елементи технології вирощування, що забезпечує високу врожайність [7].

Метою роботи було встановити вплив системи удобрення на формування продуктивності та якості зеленої маси амаранту.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття, та новизна досліджень. Загальновідомо, що внесення мінеральних добрив суттєво підвищує продуктивність сільськогосподарських культур, до того ж застосування мінеральних добрив позитивно впливає на якість родючості ґрунту. За допомогою підвищення родючості ґрунту збільшується і продуктивність культур, що в свою чергу підвищує вміст клітковини та рослинного жиру в зеленій масі амаранту. У фітомасі амаранту, в залежності від сорту, вміст клітковини становить до 18 – 28%, та рослинного жиру до 0,8 – 1,6 % [8–11].

Дослідження якості зеленої маси амаранту за рахунок внесення мінеральних добрив при посіві на дернових ґрунтах Полісся України, було мало вивчене, і тому виникає необхідність для проведення наукових досліджень у цьому напрямку [12]. Фактори, які вивчаються у досліді, мають відчутний вплив на формування показників якості зеленої маси різних сортів амаранту.

Матеріали та методи досліджень. Польові досліді проводились на території Ботанічного саду Поліського національного університету. Ґрунт дослідної ділянки – дерновий, з вмістом в орному шарі: рН – 7,14, рухомого фосфору – 14,01 мг/100 г ґрунту (за Кірсановим), лужногідролізованого азоту – 6,02 мг/100 г (за Корнфільдом), обмінного калію – 5,32 мг/100 г ґрунту (за Кірсановим). Досліджувались три сорти амаранту: сорт Геліос (св.

Helios), сорт Кремовий ранній (св. *Kremovyi rannii*), сорт Стерх (св. *Sterkh*).

Посів проводили вручну згідно схеми досліді. Спосіб сівби суцільно-рядковий, глибина загортання насіння – 1–2 см. Варіанти мінерального живлення передбачали внесення $N_{30}P_{30}K_{30}$, $N_{60}P_{60}K_{60}$, $N_{90}P_{90}K_{90}$. Мінеральні добрива використовували у вигляді калій магнезій – 40,2 %, суперфосфату – 18,4 %, та аміачної селітри – 34,4 %.

Виклад основного матеріалу. Аналіз одержаних даних показав, що елементи технології вирощування впливають на показники якості зеленої маси амаранту. Вміст клітковини та рослинного жиру суттєво збільшується за рахунок внесення мінеральних добрив при посіві (таб.1).

Дані результатів вказують на те, що вміст клітковини на контролі для сорту Геліос становив 18,37 %, тоді як внесення мінеральних добрив підвищує цей показник до 20,37 %.

Доведено, що внесення мінеральних добрив в дозі $N_{60}P_{60}K_{60}$ забезпечує значний приріст клітковини в даному сорті, тоді як в інших варіантах досліді спостерігається неістотне підвищення – до 19,75% (Рис. 1).

Аналогічна тенденція спостерігається і для сорту Стерх. Так, на фоні внесення мінеральних добрив клітковина у фітомасі амаранту збільшується на варіантах $N_{30}P_{30}K_{30}$ та $N_{60}P_{60}K_{60}$.

Щодо сорту Кремовий ранній, то тут ми маємо дещо меншу різницю між контролем та варіантами з різними системами удобрення. Так, якщо на контролі вміст клітковини становить 26,82 %, то на інших варіантах відмічається збільшення вмісту даного показника лише на 5,5%.

Аналіз даних вмісту рослинного жиру в зеленій масі амаранту показав, що найсуттєвіше його підвищення спостерігається у сорті Геліос (Рис. 2).

Максимальне значення рослинного жиру відмічається на варіанті з нормою внесення мінеральних

Таблиця 1

Показники якості зеленої маси амаранту в залежності від норм внесення мінеральних добрив

Фактори		Показники якості зеленої маси	
Сорт (Фактор А)	Норма внесення мінеральних добрив	Клітковина, %	Жир, %
Геліос	Без добрив (контроль)	18,37	1,16
	$N_{30}P_{30}K_{30}$	19,75	1,79
	$N_{60}P_{60}K_{60}$	20,37	1,44
	$N_{90}P_{90}K_{90}$	20,25	1,35
Кремівий ранній	Без добрив (контроль)	26,82	1,46
	$N_{30}P_{30}K_{30}$	27,64	1,51
	$N_{60}P_{60}K_{60}$	27,35	1,36
	$N_{90}P_{90}K_{90}$	28,37	1,52
Стерх	Без добрив (контроль)	18,55	0,8
	$N_{30}P_{30}K_{30}$	20,37	0,99
	$N_{60}P_{60}K_{60}$	19,75	0,82
	$N_{90}P_{90}K_{90}$	19,37	0,93

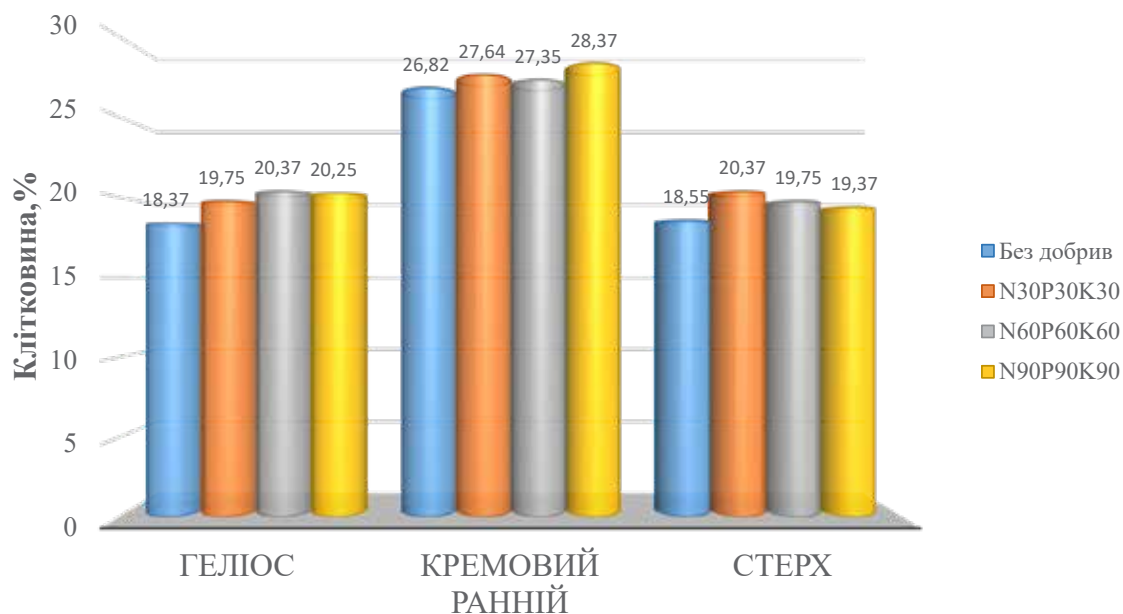


Рис. 1. Показники вмісту клітковини в зеленій масі амаранту в залежності від норм внесення мінеральних добрив

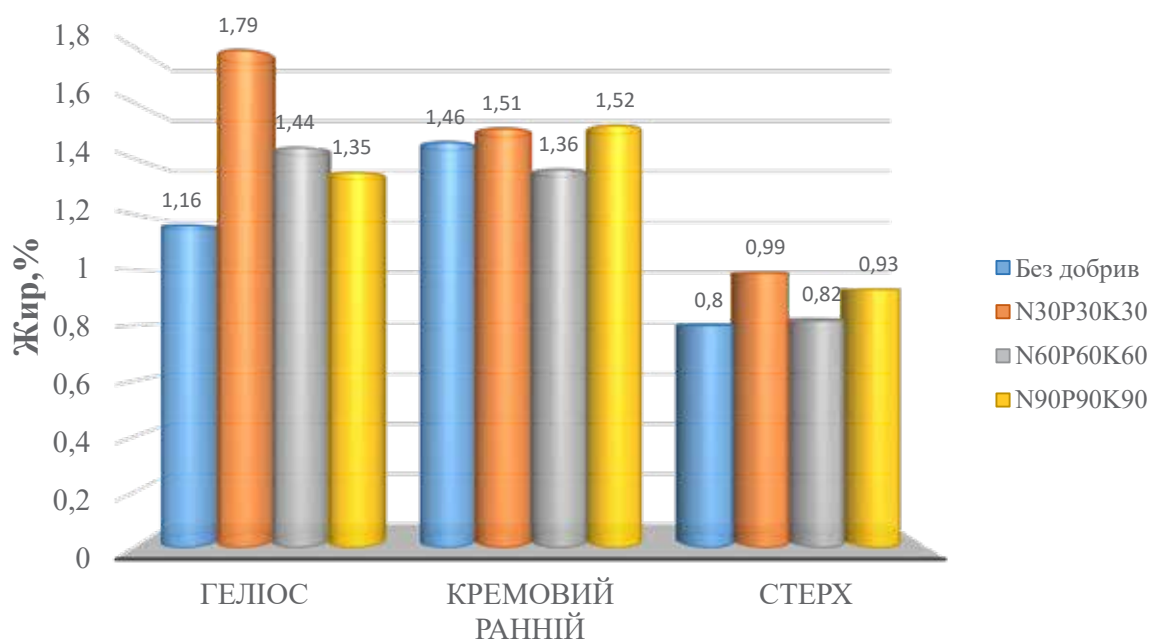


Рис. 2. Показники вмісту жиру в зеленій масі амаранту в залежності від норм внесення мінеральних добрив

добрив $N_{30}P_{30}K_{30}$, і становить порівняно з контролем на 35,1 % більше. Неістотне підвищення вмісту рослинного жиру відносно контролю спостерігається на решті варіантів системи удобрення.

Максимальний вміст рослинного жиру у сорті Геліос спостерігається на ділянці зі системою удобрення $N_{90}P_{90}K_{90}$. В інших варіантах показники були значно меншими.

Подібна тенденція спостерігалась й під час аналізу показників сорту Стерх. Вміст рослинного жиру на контролі становила 0,8 %, тоді як при внесенні мінеральних добрив відмічається зріст до 13,9 %. Доведено, що всі варіанти системи удобрення підвищують вміст рослинного жиру у фітомасі амаранту.

Проведені нами дослідження свідчать, що підживлення мінеральними добривами при посіві має

позитивний вплив на ріст та якість зеленої маси амаранту.

Аналіз даних доводить, що найкращі показники по вмісту клітковини в зеленій масі має сорт Кремовий ранній на варіанті з системою удобрення $N_{60}P_{60}K_{60}$. Щодо вмісту жиру в фітомасі амаранту, то максимальні показники спостерігаються у сорті Геліос у варіанті $N_{30}P_{30}K_{30}$.

Головні висновки

Встановлено, що за введення системи удобрення спостерігається істотне підвищення показників клітковини та рослинного жиру в рослинах, в наслідок чого значно збільшується поживна цінність амаранту, а у варіантах без внесення мінеральних

добрив відмічається протилежна реакція. За таких умов найвищу продуктивність фітомаси рослин амаранту отримуємо на варіанті $N_{30}P_{30}K_{30}$.

Результати досліджень показують, що і показники якості зеленої маси амаранту залежать від особливостей сорту та норми внесення мінеральних добрив. Виявлено, що забезпечення рослин елементами мінерально живлення за рахунок внесення добрив позитивно впливає на формування показників якості зеленої маси амаранту. Таким чином, при оптимізації елементів технології вирощування у поєднанні з внесенням мінеральних добрив, забезпечується формування високого рівня продуктивності сільськогосподарських культур.

Література

1. Шувар І.А., Іванишин В.В., Сендецький В.М., Бунчак О.М. Агроєкологічні основи поліпшення родючості ґрунтів для сталого функціонування агроєкосистем, виробництва екологічно чистої продукції та охорони довкілля в сучасному землеробстві. *Актуальні проблеми підвищення родючості ґрунтів та застосування агрохімічних засобів в агрофітоценозах*: матер. Міжнар. наук.-практ. інтернет-конференції, присв. Міжнар. Дню агрохіміка (7–9 червня 2017 р.). Львів, 2017. С. 255–264.
2. Гончар Н.В., Каменев І.В., Клочко В.С. Мікробні препарати як один із елементів технології вирощування сільськогосподарських культур. *Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки*: матер. X Міжнар. наук.-практ. конф. Кіровоград: КНТУ, 2015. С. 61–62.
3. Фітосанітарний моніторинг: навч. посібник / М.М. Доля та ін. Київ: ННЦ ІАЕ, 2004. С. 294.
4. Гопцій Т.І., Воронков М.Ф., Криворученко О.М. Внутрішньовидова мінливість амаранта: матеріали XI з'їзду Укр. бот. т-ва. Харків, 2001. 96–97 с.
5. Бенцаровський Д. М., Дацько Л. В. Зміна родючості ґрунтів України під впливом сільськогосподарського використання. *Охорона родючості ґрунтів*. Київ, 2004. Вип. 1. С. 123.
6. Гарбар Л. А., Юник А. В., Горбатюк Е. М. Вплив елементів технології вирощування на формування продуктивності ріпаку ярого. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів природокористування України. Сер.: Агрономія*. 2012, Вип. 176. С. 57–62.
7. Дуда Ю.В., Прус М.П., Кунєва Л.В., Косянчук Н.І. Вплив кормової добавки на основі амаранту на показники білкового обміну кролів за еймеріозу. *Проблеми зооінженерії та ветеринарної медицини: збірник наукових праць: Ветеринарні науки*. Харків, 2017. Вип. 35, Т. 2., Ч. 2. С. 42–47.
8. Амарант: селекція, генетика та перспективи вирощування: монографія / Т.І. Гопцій та ін. Харків: ХНАУ, 2018. С. 362.
9. Ovcharuk V. Biomass potential of post-harvest residues as an organic fertilizers. *The scientific heritage*. 2020. № 49. Р. 4–7.
10. Овчарук В. В. Побічна продукція рослинництва – альтернатива поповнення органічної речовини ґрунту. *Dynamics of the development of world science. Vancouver, Canada*. 2020. № 9. Р. 781–788.
11. Ткачук О. П., Овчарук В. В. Потенціал біомаси побічної продукції рослинництва для удобрення ґрунту. *Scientific achievements of modern society. Abstracts of IX international scientific and practical conference*, April 28–30, 2020, Liverpool. Р. 1069–1076.
12. Трембіцький В. А. Агроєкологічний стан ґрунтів правобережного Полісся України, вдосконалення управління їх родючістю і продуктивністю агроценозів: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 00.03.16. Житомир, 2004. С. 22.

УДК 332.33:502/504(477.61)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.5-44.19>

GEOHISTORICAL ANALYSIS OF ECOLOGICAL PROBLEMS OF LAND RESOURCES OF LUHANSK REGION (UKRAINE): PRE-WAR RETROSPECTIVE

Sopov D.S.

Luhansk Taras Shevchenko National University

Koval str., 3, 36003, Poltava

lnu.sopov@gmail.com

The article highlights the results of a geohistorical analysis of ecological problems of land resources in the Luhansk region before the start of a full-scale Russian military invasion of Ukraine. The influence of human economic activity (in particular, agriculture and coal industry) on the nature of land use in Luhansk region (separately for the right-bank and left-bank parts) is considered. Emphasis is placed on the importance of soil contamination and planar erosion in the process of soil and land degradation, which is especially pronounced on the Donetsk ridge (right bank of the Seversky Donets). The role of the semi-mountainous relief of the Donetsk ridge as a natural factor in the spread of erosion processes is noted. A brief historical overview of attempts to combat the development of ravines in the Luhansk region, which were carried out since the second half of the nineteenth century, but in the vast majority were not effective. One of the negative factors influencing the structure of land use is the allocation of an increasing area for pastures, which increases the intensity of erosion processes. The detrimental influence of mine production on the structure of land use in the studied region is highlighted. The ecological consequences of physical alienation of lands as a result of their occupation by waste heaps, heaps and other anthropogenic forms of relief formed by mining activities are noted. It is emphasized that not only the mines themselves, but also concentrators, communication facilities, etc. play a role in reducing the area occupied by agricultural land, and thus cause negative changes in the structure of land use in the right bank of the Luhansk region. It is noted that extensive as well as excessively intensive land use in agriculture and coal mining in Luhansk region has led to the degradation of large areas of land and impoverishment of the land fund. It is emphasized that the current structure of land use needs radical changes, which should be based on new conceptual principles and a systematic approach to the problems of nature management. Of course, all these principles and approaches will be possible to implement and put into practice only after the complete de-occupation of the studied region. *Key words:* land using, degradation of lands, plane washing, extensive using of lands, nature using.

Геоісторичний аналіз екологічних проблем земельних ресурсів Луганської області (Україна): довійськова ретроспектива. Сопов Д.С.

В статті висвітлено результати проведеного геоісторичного аналізу екологічних проблем земельних ресурсів Луганської області до початку повномасштабного російського військового вторгнення в Україну. Розглянуто вплив господарської діяльності людини (зокрема, сільського господарства та вугільної промисловості) на характер землекористування в Луганській області (окремо для правобережної та лівобережної її частин). Наголошено на значенні зарученості території й площинного змиву в процесі деградації ґрунтів і земель, що особливо виражено на Донецькому кряжі (правобережжі р. Сіверського Дінця). Відзначено роль напівгірського рельєфу Донецького кряжа як природного чинника поширення ерозійних процесів. Наведено короткий історичний огляд спроб боротьби з розвитком ярів на Луганщині, які проводилися, починаючи ще з другої половини XIX ст., але в переважній більшості не були ефективними. Як один із негативних чинників, що вплинули на структуру землекористування, окреслено відведення дедалі більшої площі під пасовища, що підвищує інтенсивність ерозійних процесів. Висвітлено згубний вплив шахтного виробництва на структуру землекористування в досліджуваному регіоні. Зауважено щодо екологічних наслідків фізичного відчуження земель внаслідок їх зайняття породними відвалами, териконами та іншими антропогенними формами рельєфу, утвореними гірничопромисловою діяльністю. Підкреслено, що не лише власне шахти, а й збагачувальні фабрики, комунікаційні споруди тощо відіграють певну роль у зменшенні площ, зайнятих сільськогосподарськими угіддями, а отже – викликають негативні зміни структури землекористування у правобережній частині території Луганської області. Відзначено, що екстенсивне, а також надміру інтенсивне землекористування в сільському господарстві та вугледобувній промисловості в Луганській області призвели до деградації великих площ земель та зубожіння земельного фонду. Наголошено, що сформована структура землекористування потребує радикальних змін, які б мали базуватися на нових концептуальних принципах і системному підході до проблем природокористування. Звісно, всі ці принципи і підходи можливо буде впровадити і втілити в життя тільки після повної деокупації досліджуваного регіону. *Ключові слова:* землекористування, деградація земель, площинний змив, екстенсивне використання земель, природокористування.

Introduction. The economic development of any territory is always connected with the use of natural resources. With the increase in volumes and rates of production, the pressure on the natural environment also increases. In the Luhansk region, the development of the economy proceeded in two directions: agricultural production and coal production. In both cases, the land expe-

rienced the greatest pressure, which caused the physical reduction of the land fund, the deterioration of the physico-chemical properties of the soil, the loss of crops, the deterioration of the sanitary and hygienic living conditions of the population, etc. of special relevance.

The purpose of the article is a pre-military excursion into the history of land use in the Luhansk region

and the identification of the causes and consequences of the impoverishment of the land fund – the basis of the socio-economic development of the region.

Review of recent publications. Among Ukrainian scientists whose focus is on researching the history of the development of land relations and land use in Ukraine and the world as a whole, L. M. Boyko [13], A. M. Tretyak [15], V. V. Medvedev and T. M. Laktionova [18]. In particular, with regard to the Luhansk region, these questions and problems are investigated by such scientists as O. O. Kiselyova, Yu. O. Kiselyov, L. V. Denischenko [14; 16; 17] and others. In their works, the historical and geographical aspects of land evaluation are considered, the issues of geoplanning and regional planning are raised, ecological problems of land use are highlighted, etc.

Presenting main material. The economic development of the territory of the modern Luhansk region began with agriculture, which was associated with favorable natural conditions and rich natural resources – a temperate climate, fertile lands, large areas of forests confined to the valleys of navigable rivers and large streams [20].

The bulk of the inhabitants of Slobozhanshchyna and the Donetsk steppes were engaged in land cultivation. Two systems of agriculture operated here: three-field and fallow. In the presence of large reserves of land, the peasants used the fallow system, which was gradually replaced by the three-field system, according to which the land was divided into three parts: two of them were cultivated and sown, and the third was left for steam. In the future, there was an alternation of used plots. After two years of processing, the land remained free and rested for the third year [7]. Such a system was determined by the fact that there was plenty of land, and there was no point in worrying about the problem of preserving their fertility.

In the first half of the 18th century only a small part of the land was cultivated. As the territory was settled and developed, starting from the middle of the century, the cultivated areas began to expand. Wasted lands were abandoned, transferred to new, virgin lands. Gradually, arable lands advanced on the slopes of river valleys and large streams, fallow lands were plowed; steppe fires and fires, unregulated livestock grazing led to disruption of the turf cover, physical rejection of land for buildings, roads, etc. took place. The extensive form of land ownership caused a low yield of grain crops.

The structure of nature management in the Luhansk region has changed qualitatively since the end of the 18th and the beginning of the 19th centuries, when, after the discovery of hard coal in the Donbass, coal mining began and spread more and more. At this stage, human activity in the natural environment began to lead to its significant changes [19].

The systematic influence of man on the environment increased, which caused a violation of the ecological balance in nature. This was especially noticeable on lands, as the most vulnerable component of the natural environment.

Already from the beginning of the economic development of the modern territory of the Luhansk region, the land began to be destroyed. But official data on the condition of the lands and the structure of land use date back only to the 18th century, when in 1789–1804, the General Demarcation was carried out. According to his data, until 1861, the plowed area of the territory did not exceed 1–2 % [12]. The reform of 1861 removed the invisible barrier that prevented the settlement of the rich, but unexplored region. And the first result of mass settlement was a sharp increase in arable land by the end of the 18th century – up to 31–45 % [6], which entailed increased erosion.

Plain washing from the sloping lands, common in the region, almost did not attract the attention of researchers. The most obvious consequence of erosion processes was the formation of ravines. Thus, characterizing the Lysychan parish of the Bakhmut district, I. F. Levakivskyi (1871) noted: «there are many ravines, they occupy an area of up to 40 acres on the estate of 648 acres, not counting the beams...» [4]. Based on these figures, it can be calculated that the area occupied by ravines was more than 6 % of the area of the estate. There is no reason to believe that the author cites the most developed territory as an example, so we apply these figures to the entire Lysychansk Volost, which is homogeneous both in terms of nature and development.

The plowing of more and more new territories, mainly slopes, the formation of numerous borders served as the cause of accelerated erosion. And I. F. Levakivskyi gives the following example: «In 1890, in the fall, a furrow was made in the direction of the slope; by the fall of 1990, a ditch about 40 fathoms long, two-quarters deep, and the same width formed from this furrow» [4]. It was about the village Nagalno-Tarasivka, located in the central part of the Donetsk ridge.

Immoderate and unreasonable plowing with all its consequences «has a long history and its own historical reasons: firstly, the possibility of selling cereals and their export, which continuously grew, and later – the growth of the population – forced to constantly increase the arable area» [5]. The increase in the area of arable land led to the destruction of natural vegetation, the reduction of virgin steppes, which further strengthened erosion processes (natural erosion changed to more intensive accelerated or anthropogenic erosion).

In the conditions of the Donbass, where virgin steppes were confined to watersheds with a ridge-ridge-basin relief, both basins and slopes were destroyed, which intensified erosion processes. V. I. Taliyev [9] noted that the majority of exposed slopes with washed away soils occur near settlements, which clearly indicates the anthropogenic origin of erosion. The same opinion was shared by E. M. Lavrenko, who linked the presence of large areas of stony wastelands with unmanaged human activity [3].

Abandoned eroded lands, which were previously used for arable land, were collapsing. Unregulated live-

stock grazing had a detrimental effect on the condition of the turf. Even in bairach forests, which play an ameliorating role and contain rich fodder resources, livestock grazing led to the disturbance of the sod cover, the washing away of forest soils, the exposure of the root system of trees and shrubs, the young growth being eaten by cattle, the forests withered, gradually losing their water protection and forest improvement significance. The destruction of forests for the purpose of increasing arable, garden and meadow land is evidenced by the names of some streams – Gorikhova, Lypova, etc. The so-called «unsuitable» lands were formed on the slopes of these beams [19].

Solid runoff, which increased due to erosion, worsened the hydrogeological conditions of the once navigable rivers of Donbas. Fine soil, carried in large quantities from ravines and gullies, caused siltation and shallowing of rivers, their waterlogging in some areas. Surface runoff from sloping plowed lands reduced the humus horizon and worsened soil quality.

The extent of erosion in general and furrow erosion in Donbas, in particular, is evidenced by the materials of the report of forester V. Reich to the head of the Luhansk sand-furrow district of the Donetsk regional department in 1918: «Everyone knows too well what inconvenience growing ravines present to the plowman. In particular, in our county (Slavyanosersky), they are simply a scourge for any peasant, because it is absolutely impossible to find a single road in the county that is not cut by one or another ravine. According to survey data, I can say that in our county there are about 3000 ravines, which, together with the beams, take almost a tenth of the entire land from the plowman, that is, about 34000 acres» [1].

In another «Report on the fortification of ravines in the past, present and future» of 1918, it is also noted that, according to survey data, there are more than 3000 ravines with an area of over 3000 acres in the Slavyanosersky district [1].

The fragmentation of the territory, which was growing more and more, and the growth of areas unsuitable for agricultural use of land, caused a decrease in plowing. The damage caused by ravines became so significant that they were one of the causes of crop failures. In particular, the cause of the crop failure of 1891, which covered twenty-one of the best agricultural provinces of the Russian Empire, «many considered... the draining and destructive activity of the ravines» [9], which were gradually formed from previous farming. Destruction of any woody vegetation in steppe areas and plowing of steep slopes of valleys and streams led to a decrease in soil moisture.

The strengthening of erosion processes in the region began in the second half of the 19th century, that is, much later than in the entire territory of European Russia. Intensive plowing, incorrect agricultural techniques, bordering in combination with peculiar natural conditions (significant dismemberment by an ancient erosion network, large areas of steep slopes, weak soil resistance to erosion, the nature of precipitation, etc.) led to such a

rapid development of erosion that by 1917 it had reached catastrophic proportions. In order to get the maximum benefit from the land at minimum costs, eroded areas were abandoned and new ones were developed. The «unsuitable» land used for cattle grazing was turned into stony and crushed stone and was finally taken out of economic use. Thus, the increase in arable land eventually led to its reduction [20].

It cannot be claimed that no attempts were made to improve the situation, but they were of a local nature. All attempts to stop the effect of erosion by means of forest improvement without combining them with agrotechnical measures did not give the proper effect [11]. The main task – complex regulation of runoff and soil protection throughout the eroding catchment area – remained unsolved.

M. A. Rozov noted that a whole complex of extremely favorable conditions and reasons for alluvial erosion was formed on the Donetsk Ridge. In his opinion, the Luhansk district was the most affected: «...the highlands, which diversify the relief, increased plowing, lack of trees, obviously, and the pronounced continental climate – all this contributed to spring formation» [8].

The evaluation of the territory of Donbas in terms of erosion is confirmed by the above materials of E. E. Kern, who singled out the Katerynoslav province, and especially the Bakhmut district, as strongly charged. In many villages, he wrote, «the area under active ravines was from 5 to 30 % of the total area of the poviats» [2].

After the Second World War, anti-erosion measures were carried out on a limited scale and were reduced only to remedial ones. Their effect was insignificant due to the plowing of «virgin» lands. Further measures were not effective, there was no systematic fight against erosion in Donbas [19].

The processed literary, archival and fund materials testify to the fact that the problems of the catastrophic state of agricultural lands not only did not disappear, but deepened over time.

In the northern part of Luhansk region, which has been in the middle of the 17th century was settled mainly by people from Zadnipryan Ukraine, settlements were concentrated along rivers and large streams. Since mineral deposits had not yet been found there, the peasants grew bread, vegetables and raised livestock. The ancient erosional dismemberment of the region became stronger here as well due to human economic activity, and the steppes receded into watersheds, the rich natural pastures were subjected to intensive and unregulated livestock grazing, planar washing occurred on the slopes, ravines were formed. The formation of ravines became more and more intense due to the fact that the peasants abandoned the lands disturbed by erosion and developed new areas, the so-called «wastelands», but the erosion processes did not stop even on the abandoned lands, because an impetus had already been given due to the disturbance of the turf cover, mainly on the slopes surfaces.

It is known that planar washing leads to a decrease in soil fertility due to the deterioration of the physical and chemical properties of the soils themselves and the air-water regime. There are no data on the intensity of planar washout in the territory of the modern Luhansk region over the past centuries, but modern studies testify to the gradual and steady nature of this process. Currently, 63,6 % of agricultural land in Luhansk region suffers from planar erosion alone.

At that time, quite widespread bayrak forests, which played a reclamation role and contained rich fodder resources, were intensively affected by cattle grazing, which led to disturbance of the turf, washing away of forest soils, exposing the roots of trees and bushes; the young growth was eaten by livestock, so the forests degraded and lost their water protection and forest improvement significance. Thus, the spontaneous use of land caused the strengthening of erosion processes, in particular planar washing, and, therefore, led to soil degradation, especially from the second half of the 19th century.

The semi-mountainous nature of the relief of the right bank, especially its highest part – the Donetsk ridge, was not favorable for agricultural development, and therefore for a long time there was no large permanent population here [1].

The right bank of our region was somewhat late, but underwent the same changes in the landscape contours of the environment as the left bank, which was also connected with the agricultural development of the territory.

Despite the predominant development of the mining industry on the right bank of Luhansk region, agricultural production here also played its role in the degradation of the land fund. Fertile chernozems confined to the Main Donetsk watershed were intensively exploited, which, together with negative natural processes, could not but cause their rather rapid impoverishment. The lands were subjected to a great violent agricultural load. As a result of the combined action of various anthropogenic factors, there is a greater transformation of the natural environment, and therefore the environmental stress on land resources is greater.

After the reform of 1861, the rapid development of industry began in the region. This was facilitated by the presence of huge natural resources, which at that time were not only explored, but were already being developed. In 1792, coal deposits were discovered in the area of present-day Lysychansk. A little later, ore was discovered here and the first blast furnaces were built, which were soon abandoned.

With the discovery of hard coal deposits, this region began to take shape as an industrial one, which left a certain mark on the structure of the land. After all, the area of disturbed land, unsuitable for agricultural use, was also increased due to both underground excavations and surface excavation works.

Industrial coal mining began in the second half of the 19th century, and during the first ten years, 500000 poods (about 8 tons) of coal were mined monthly. Over a century and a half, coal production has increased more than 200000 times.

Today, the number of mines in Luhansk region, together with closed ones and those in private ownership, is more than 300. About 30 beneficiation factories should be added to them, since the latter play the same role in reducing the land fund.

The contour of influence of mining operations within the mining region of Luhansk region covers an area of more than 1300 km², mainly on the right bank of river Siversky Donets. The area of mine fields exceeds 8000 km², which is 31 % of the area of the coal region [10].

The urgent problem of the coal region of the region has long been the physical loss of land, that is, the reduction of land resources as a result of their occupation by rock dumps and branched ground structures and communications, which make up more than 4 % of the area of the coal region. Annually, 12 million tons of «empty» rock is accumulated in the dumps of mines and beneficiation factories. The total volume of rock removed to the earth's surface within the Luhansk region is more than 10 billion m³ [10].

For several centuries, significant areas under agricultural and forest lands were destroyed or significantly reduced, significant areas were used under various man-made constructions and communications. Thus, only the mining industry reduces the land fund of the region by 4,1 %.

Conclusions. Intensive and extensive agricultural activity in the Luhansk region over the centuries has led to the degradation of land in agriculture due to anthropogenic, accelerated erosion, and in mining – due to the physical removal of land due to intensive mine construction and soil intoxication by mine waters and runoff from rock dumps.

The structure of land use has acquired violent features, the use of land in the region has become irrational and ineffective and requires the development of new conceptual principles and a systematic approach to the formation of an optimal structure of nature use in general and land use in particular.

References

1. Sopov Dmitry, Sopova Nadiia, Dankeyeva Olha, Chuhaiev Serhii. Natural-historical and ecological analysis of land resources and land use in Lugansk region. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2018. № 27(2). C. 357–367. DOI: <https://doi.org/10.15421/111860>.
2. Kern E. E. Ravines, their fastening, forestation and sealing. M. L.: Gosizdat. 1928. 198 p.
3. Lavrenko E. M. Forest of the Donetsk ridge. *Soil Science*. 1926. № 3–4. P. 20–25.
4. Levakovsky I. F. On the causes of differences in the form of slopes of river valleys (Dnieper and Don). *Proceedings of the Society of Nature Examiners at Kharkiv University*. Vol. 3, Kh., 1871. P. 32–35.

5. Lyashchenko P. I. History of the national economy of the USSR. Volume II. Capitalism. 4th ed. M.: Politizdat. 1956. 302 p.
6. Pirko V. Settlement of Donetsk region in the 16th–18th centuries. (a short historical sketch and excerpts from sources). Donetsk: Eastern Publishing House. 2003. 284 p.
7. Podov V. I. History of Donbass: In 3 vols. Volume 1. Donbass in the 17th-18th centuries. Luhansk: Alma Mater. 2004. 336 p.
8. Rozov N. A. Ravines of Ukraine. Materials on the ravine-sand issue of Ukraine. K., 1927. 61 p.
9. Taliev V. I. Vegetation of the extreme southeastern point of Ekaterinoslav province. *Proceedings of the Society of Nature Examiners at Kharkiv University*. T. XXX., Kh., 1896. P. 15–26.
10. Stock materials of the Main Department of the State Geocadaastre in Luhansk region.
11. Shikula N.K. Development of erosion processes in Donbass. *Natural resources of the Left Bank of Ukraine and their use*. Materials of interdisciplinary science conference T. II., Kh.: Kharkov Publishing House. Univ. 1961. P. 332–338.
12. Yanata O. To the problems of socialist reconstruction of agriculture in Donbas. *Ways of socialist reconstruction of agriculture*. 1932. № 7. P. 30–37.
13. Boyko L. M. Historical and social aspects of creation of agricultural lands. *Land Management Bulletin*. 2009. № 11. P. 38–41.
14. Kiselyova O. O., Denischenko L. V. Natural and historical conditioning of features and consequences of land use on the left bank of Luhansk region. *Ukrainian geography: modern challenges*. Collection of scientific works in 3 volumes. Kyiv: Print-Service. 2016. Volume II. P. 19–21.
15. Tretyak A. M. History of land relations and land management: textbook. Kyiv: Agrarian science. 2002. 208 p.
16. Kiselyova O. O., Kiselyov Yu. O. Physical geography of the Ukrainian Donbass: Study guide for students of geographic specialties of higher educational institutions. Kyiv: TALKOM. 2018. 92 p.
17. Kiselyova O. O. Problems of conservation of land resources of Luhansk region. *Physical geography and geomorphology*. Interdepartmental scientific collection. Vol. 3(60). Kyiv. 2010. P. 239–242.
18. Medvedev V. V., Laktionova T. M. Land resources of Ukraine. Kyiv: Agrarian science. 1998. 148 p.
19. Sopov D. S. Disturbed lands of Luhansk region and their classification. *Bulletin of Dnipro University. Geology, geography*. 2018. № 26(1). P. 176–183. DOI: <https://doi.org/10.15421/111819>.
20. Dmytro Sopov, Tetiana Karpenko. Geospatial features of land use and natural prerequisites for land development in Luhansk region (Ukraine). *Modernization of research area: national prospects and European practices: Scientific monograph*. Riga, Latvia: Baltija Publishing, 2022. P. 161–183. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-221-0-7>.

ЕРОЗІЙНІ ПРОЦЕСИ НА СКЛОНОВИХ ЗЕМЛЯХ ЛУГАНСЬКОЇ ОБЛАСТІ (УКРАЇНА): ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ

Сопов Д.С.¹, Кирпичова І.В.¹, Березенко К.С.¹, Карпенко Т.А.², Данкеєва О.Є.³

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

²Криворізький державний педагогічний університет
пр. Гагаріна, 54, 50086, м. Кривий Ріг

³Управління соціального захисту населення в Приморському районі
Департаменту праці та соціальної політики Одеської міської ради
вул. Маршала Говорова, 7, 65000, м. Одеса

lnu.sopov@gmail.com, kirinopsis@gmail.com, berezenko.e.s@gmail.com,
tkazakova1810@gmail.com, dankeeva.olga@gmail.com

На прикладі Луганської області (Україна), проведено аналіз залежності площинного змиву від крутості схилів, які задіяні у сільськогосподарському виробництві, а також визначено екологічні наслідки змиву ґрунтів. Приуроченість сільськогосподарських угідь, зокрема орних земель (рілля), до крутосхилів, призводить до значного площинного змиву і – як наслідок – до втрат ґрунту та гумусу, що не компенсується процесами природного ґрунтоутворення. За різними методиками розрахована інтенсивність площинного змиву для схилів земель. Доведено, що найбільші втрати ґрунту відбуваються на схилах крутістю понад 2°, 63,7 % площі області яких займає рілля, що призводить до значних втрат врожаю. Також, на основі отриманих даних, складено картосхему екологічної небезпеки за показником площинного змиву, аналіз якої дає можливість диференційовано вирішувати проблеми запобігання несприятливим геоморфологічним процесам, що викликають виснаження земельного фонду, зокрема і земель сільськогосподарського призначення. Отримані показники модулів змиву ґрунтів свідчать про значний антропогенно-техногенний тиск на сільськогосподарські землі. Наші дослідження виявили, що деградація ґрунтів на землях, що віддавна використовувались у сільському господарстві, змушувала освоювати схили дедалі все більшої крутості. Закономірно зростає і площинний змив на таких землях, що в свою чергу призводило до зменшення гумусового горизонту та зниження врожайності. Найбільших збитків Луганщині завдає використання схилів під орними землями (ріллею). Звідси породжуються і екологічні проблеми, вирішення яких пов'язане зі зменшенням впливу антропогенного фактора, який або провокує або посилює природну ерозію. Екологічна напруженість за площинним змивом у досліджуваному регіоні визначається загалом як катастрофічна. *Ключові слова:* площинний змив, ерозія, ґрунти, гумус, екологічна напруженість.

Erosion processes on sloping lands of Luhansk region (Ukraine): environmental consequences. Sopov D., Kyrpychova I., Berezenko K., Karpenko T., Dankeyeva O.

On the example of Luhansk region (Ukraine), the analysis of the dependence of planar erosion on the steepness of the slopes involved in agricultural production, as well as the environmental consequences of soil erosion. The confinement of agricultural lands, in particular arable lands, to steep slopes, leads to significant planar erosion and – as a consequence – to the loss of soil and humus, which is not compensated by the processes of natural soil formation. According to various methods, the intensity of planar runoff for sloping lands is calculated. It is proved that the greatest soil losses occur on slopes steeper than 2°, 63.7 % of the area of which is occupied by arable land, which leads to significant crop losses. Also, based on the obtained data, a map of environmental hazards based on planar erosion was compiled, the analysis of which allows differentiated solutions to prevent adverse geomorphological processes that cause depletion of land, including agricultural land. The obtained indicators of soil erosion modules indicate a significant anthropogenic and man-made pressure on agricultural lands. Our research has shown that soil degradation on lands that have long been used in agriculture has forced the slopes to become increasingly steep. The planar washout on such lands also grew naturally, which in turn led to a decrease in the humus horizon and a decrease in yield. The greatest damage to Luhansk region is caused by the use of slopes under arable land (arable land). This raises environmental problems, the solution of which is to reduce the impact of anthropogenic factors, which either provoke or exacerbate natural erosion. The ecological tension in terms of planar runoff in the studied region is generally defined as catastrophic. *Key words:* planar washout, erosion, soils, humus, ecological tension.

Вступ. Об'єктом дослідження було обрано такий поширений у степовій та лісостеповій природних зонах несприятливий процес, як площинна ерозія, що спостерігається в основному на крутих та спадистих схилах при випадінні зливових дощів або під час інтенсивного танення снігу.

Предметом дослідження є закономірності прояву площинної ерозії та екологічні наслідки цього процесу.

Завдання дослідження, які вирішувалися у процесі роботи, полягали у виявленні та аналізі просторово-часових закономірностей прояву площинної ерозії, на вирішення яких було залучено наступні **методи дослідження:**

- математико-статистичні (кластерний аналіз, факторний аналіз та ін.);
- картометричний (застосування при знятті інформації з топографічних карт різного масштабу

й різних років видання, зокрема, з метою одержання кількісних характеристик рельєфу (абсолютних висот, крутизни схилів тощо));

– логічні методи пізнання (аналіз, синтез, порівняння тощо) та інші.

Аналіз досліджень і публікацій. У роботах таких відомих вчених як С. А. Балюк, В. О. Белоліпський, В. М. Белослудцева, С. Ю. Булигін, О. М. Другов, О. О. Кисельова, В. П. Коляда, Т. М. Лактіонова, В. В. Медведєв, М. М. Полулях, С. Г. Чорний та ін., розглядаються питання екологічного стану ґрунтів України, зокрема і Луганської області. Проблема ерозії ґрунтів є однією з найактуальніших проблем сьогодення. Інтенсифікація ерозійних процесів та їх поширення на величезні території призводять до істотної деградації ґрунтів, спричиняють великі збитки в сільському господарстві та загалом ставлять під загрозу безпечний розвиток людства в цілому. У світі найбільшу вагу серед процесів деградації мають процеси водної та вітрової ерозії: 56 % та 28 % відповідно. Це свідчить про те, що охорона ґрунтів від ерозії є однією з найважливіших проблем, без вирішення якої досягнення сталого землекористування є неможливим.

Виклад основного матеріалу. Загальновизнано, що природні фактори та їх поєднання визначають головним чином процеси природної ерозії. Антропогенний вплив робить ці процеси прискореними, на що в свою чергу звертали і звертають увагу багато дослідників. Тому закономірно, що в наш час більше уваги приділяється екологічним наслідкам ерозійних процесів, спричинених екстенсивним використанням земель, зокрема, використанням ерозійно-небезпечних крутосхилів та нерациональністю структури сільськогосподарського землекористування.

За фондовими матеріалами [13], сільськогосподарські угіддя Луганської області еродовані на 66,1 %, з них на сильнозмиті припадає 8,6 %, середньозмиті займають 15,3 %. Рілля уражена водною ерозією на 66,5 %. Еродованість ріллі досягає все більших значень, вона просувається на схили крутістю понад 5°, де її площа за останні десятиліття збільшилася більше ніж в 10 разів [12].

Землі, задіяні у сільськогосподарському виробництві, значно уражені ерозією, що призвело до деструктуризації ґрунтів [8]. Площі орних земель на таких ділянках скорочуються, а широке використання ділянок крутизою 1–2°, площа яких становить 58 % орних земель, вже потребує значних витрат на відновлення їхньої екологічної безпеки [11].

Майже всі сільськогосподарські землі, у тому числі і рілля, займають площі зі схилами всіх градацій крутості. Так, до схилів крутістю понад 2° присвячено 63,7 % площі ріллі. Тому закономірна ерозійна ураженість найцінніших орних земель [9].

Площинний змив є неодмінним супутником ґрунтоутворення. У природних умовах це нормальна еро-

зія або «нормативна ерозія», або «агроурівноважена ерозія» [4], або «припустимий змив» [1], (коли, за М. М. Заславським, змив не перевищує темпи ґрунтоутворення [6]). Таким чином, показник площинної ерозії характеризується допустимою величиною змиву, що компенсується ґрунтоутворенням. Але в умовах інтенсивного сільськогосподарського використання земель, особливо орних, «темпи та напрямки ґрунтоутворюючих процесів, зокрема, зміни у ґрунті гумусу, залежать від багатьох факторів, більшість з яких важко чи неможливо враховувати» [6].

Результати розрахунків різними дослідниками швидкості ґрунтоутворення та норм змиву не збігаються як в абсолютних цифрах, так і в одиницях виміру. Так, у різних авторів швидкість ґрунтоутворення оцінюється по-різному, оскільки цей процес залежить від багатьох факторів: геологічного, геоморфологічного, кліматичного та ін.

М. Є. Бельгібаєв [2; 3] оцінював швидкість ґрунтоутворення чорноземів у 0,28 мм/рік. Він доводив, що з земель, що використовуються в землеробстві, приріст ґрунту уповільнений (приблизно на 1/3), тому втрати оброблюваних чорноземів не повинні перевищувати 1 мм за 5 років.

М. М. Заславський [6] припускає, що з середньої об'ємної маси 1,25 г/см допустима норма ерозії для чорноземів становить 3,5 т/га.

У вітчизняних дослідників [14] знаходимо такі норми змиву для водороздільних схилових ділянок (табл. 1):

О. П. Добродєєв [5] встановив межу ймовірності ґрунтоутворення, яка дорівнює 1 мм за рік. Н. К. Шикіла, А. Г. Рожков, П. С. Трегубов [15] умовно прийняли тисячу років за період, достатній для відновлення горизонту А, та отримали для степових ґрунтів «припустиму межу змиву» в 3–6 т/га/рік.

За методикою М. Ю. Білоцерківського [1], потенційна загроза ерозії (розрахунковий змив) для Луганської області на 1990 рік становила 5,5 т/га/рік, при цьому відсоток ерозійно-небезпечних земель від загальної площі ріллі розподілився таким чином: 5 % території зі змивом 5 т/га/рік; 26 % – 0,5–2,0 т/га/рік; 32 % – 2,0–5,0 т/га/рік; 24 % – 5,0–10,0 т/га/рік; 0,6 % – понад 20 т/га/рік (табл. 2).

На природних кормових угіддях з 87,2 % площі змивалося 0,5 т/га/рік, з 12,4 % площі – 0,5–0,2 т/га/рік та на території, що становить 0,4 %, змив перевищував 2,0 т/га/рік [1].

За О. П. Добродєєвим [5], шар змитого ґрунту об'ємом 10–12 т/га відповідає 1 мм. Якщо взяти цей показник за базовий, то з території Луганської області щорічно змивається шар ґрунту потужністю 0,54 мм, тобто, модуль площинного змиву в нашому регіоні перевищує швидкість ґрунтоутворення, розраховану М. Є. Бельгібаєвим [2; 3], удвічі.

Для Луганської області середньозважена величина площинної ерозії дорівнює 4 т/га/рік. Таким

Таблиця 1

**Допустимі норми ерозії для чорноземів звичайних –
водороздільних схильних ґрунтів степів України (т/га)**

Ступінь змитості	Польові сівозміни			Кормові сівозміни		
	Рівень агротехніки					
	Високий	Середній	Низький	Високий	Середній	Низький
Незмиті	0,1/0,1	0,1/0,1	0,1/0,1	0,1/0,1	0,1/0,1	0,1/0,1
Слабозмиті	0,3/0,2	0,3/0,2	0,1/0,1	0,4/0,3	0,3/0,2	0,2/0,1
Середньозмиті	1,1/0,9	0,7/0,6	0,2/0,1	1,2/0,9	0,9/0,8	0,4/0,3
Сильнозмиті	1,6/1,4	1,1/1,0	0,2/0,2	1,7/1,5	1,4/1,3	0,4/0,4
Загалом для кожного виду сівозмін	0,1 – 1,6			0,1 – 1,7		

Примітка. Дані у чисельнику – для схилів північної експозиції; у знаменнику – для південної.

Таблиця 2

Втрати ґрунту через площинний змив на схилових землях Луганської області

Крутизна схилів, град.	Площа схилів, га	Втрати ґрунту з 1 га площі схилу (т/рік)	Втрати ґрунту (т/рік) від загальної площі схилів	Потужність змитого шару ґрунту (см)
0 – 1	553342	1,07	592077	0,08
1 – 3	356564	8,2	2923825	0,66
3 – 5	327275	10,01	3276023	0,81
5 – 7	63156	22,1	1395748	1,77
7 – 10	27640	30,8	851312	2,46
> 10	19357	39,1	756859	3,13
Усього	1347334		9795844	

чином, Луганщина щорічно втрачає через змив близько 10 млн. т ґрунтової маси. Зауважимо, що 64,1 % від цієї величини змивається зі схилів крутістю понад 3°. Саме з цих схилів площинним змивом виноситься понад 10 т/га на рік. За останні десятиліття на Луганщині втрачено 6,7 см горизонту А [10].

Шар змитого ґрунту досягає найбільших величин у смузі від крайнього північного заходу до південного сходу Луганської області, а також на північному макросхилі Донецького кряжу, що збігається з поширенням тут ерозійно-небезпечних схилів, зайнятих під ріллям (рис. 1).

Отримані високі значення модулів змиву ґрунту відбивають не тільки дію природних чинників, а й значний антропогенно-техногенний вплив [17; 18].

Площинний змив закономірно призводить до втрат гумусу. За розрахунками М. М. Заславського, втрати гумусу в чорноземах становлять 0,01-0,15 %, у середньому 10 років – 0,5 % [6]. Про агроекологічну катастрофу на Луганщині свідчить той факт, що середній вміст гумусу в орних землях на території Луганщини за 100 років зменшився на 1,1 %,

середньорічне зниження вмісту гумусу за той же період становило від 0,18 % до 0,45 % [16].

Зі змивом кожного сантиметра гумусового горизонту потенційна врожайність зерна знижується на 0,5-2,0 ц/га, а з втратою 1 т гумусу запаси корисної енергії у ґрунті зменшуються на 0,9-1,1 кДж/га [7].

Висновки. Дослідження показали, що деградація ґрунтів на землях, що здавна використовувалися у сільському господарстві, змушувала освоювати схили дедалі більшої крутості. Закономірно зростав і площинний змив на таких землях, що призводило до зменшення гумусового горизонту та зниження врожайності. Особливо великі збитки Луганщині завдає використання схилів під ріллям. Тому виникають екологічні проблеми, вирішення яких пов'язане зі зменшенням впливу антропогенного фактора, який або провокує або посилює природну ерозію.

Виходячи з того, що в межах Луганської області не виявлено угідь із нормальною величиною площинної ерозії, агроекологічну напруженість в області за площинним змивом можна вважати загальною катастрофічною.

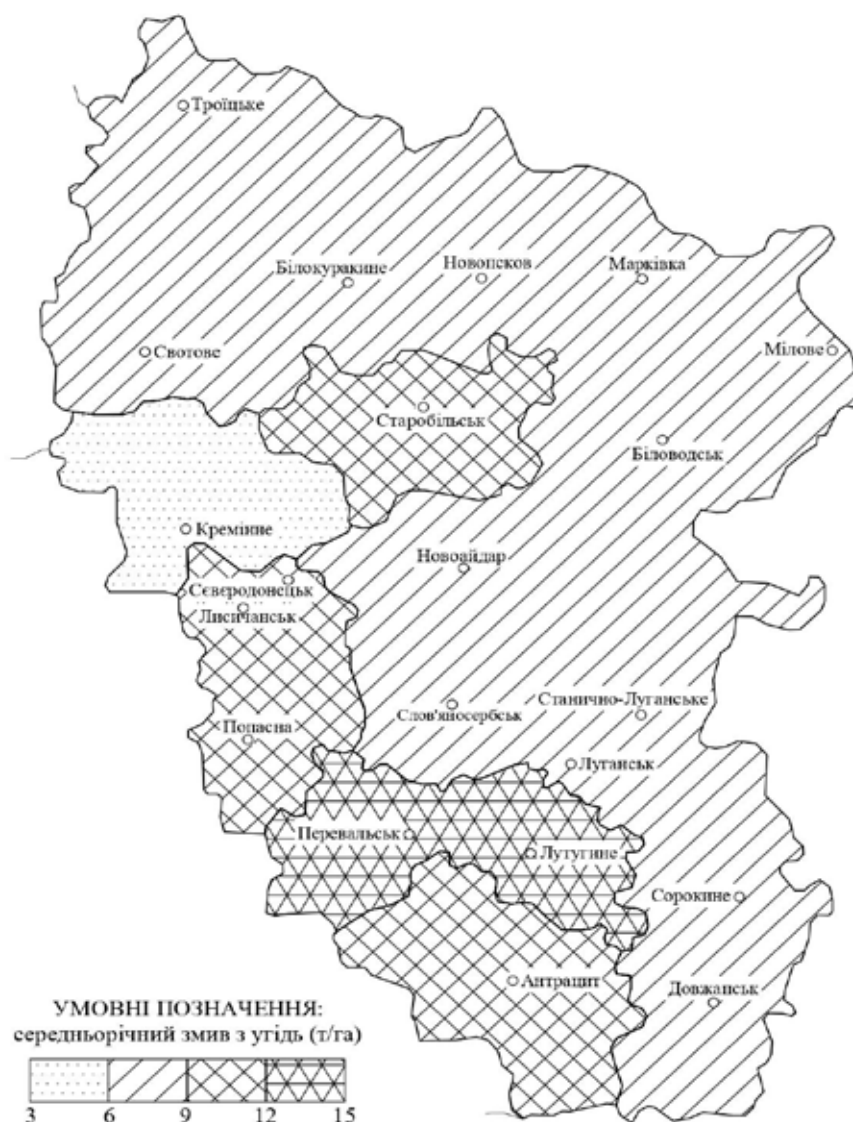


Рис. 1. Екологічна небезпека за показником площинного змиву
Джерело: сформовано авторами за даними [13]

Література

1. Белоцерковский М. Ю., Бушуева А. Г., Козловская М. Э., Ларионов Г. А., Пацукевич З. В. Напряженность эрозионной ситуации на пашне. *Проблемы оценки экологической напряженности территории России: факторы, районирование*. М.: Изд-во МГУ. 1993. С. 24–32.
2. Бельгибаев М. Е. Эрозия и скорость почвообразовательного процесса. *Тезисы докладов всесоюзной конференции по защите почв от водной эрозии*. Одесса. 1979. ч. I, С. 52–54.
3. Бельгибаев М. Е. О предельно-допустимой величине эрозии почв. *Тр. ВНИИЛМИ*. Волгоград. 1970. Вып. № 1. С. 239–258.
4. Добровольская Н. Г. Опасность загрязнения поверхностных вод фосфором в результате эрозии почв на сельскохозяйственных землях России. *Проблемы оценки экологической напряженности территории России: факторы, районирование*. Сб. науч. тр. Под ред. А. Н. Геннадиева и Р. С. Чалова. Москва: Изд-во МГУ. 1993. С. 17–23.
5. Добродеев О. П. Ископаемые почв летопись природы. *Природа*. 1972. № 10. С. 70–76.
6. Заславский М. Н. Эрозиоведение. Москва: Высш. шк. 1983. 320 с.
7. Олійник Я. Б., Шищенко П. Г., Гавриленко О. П. Основи екології: підручник. К. 2012. 558 с.
8. Сопова Н. В., Сопов Д. С., Хайнус Д. Д., Бузіна І. М., Кирпичова І. В., Лугова Т. М. Перспективи екологічної оптимізації сільськогосподарського землекористування в Луганській області. *Вчені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського*. Серія: Технічні науки. Том 32(71). № 1 (Частина 2). 2021. С. 164–169. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/26>.

9. Сопов Д. С. Структура землекористування в Луганській області: формування, сучасний стан, динаміка. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія: географічні науки*. 2018. № 8. С. 212–217.
10. Сопов Д. С. Порушені землі Луганщини та їх класифікація. *Вісник Дніпровського університету. Геологія, географія*. 2018. № 26(1). С. 176–183. DOI: <https://doi.org/10.15421/111819>.
11. Сопов Д. С., Сопова Н. В. Щодо методики визначення коефіцієнту екологічної небезпеки сільськогосподарського землекористування в об'єднаній територіальній громаді. *V Всеукраїнська науково-практична конференція «Управління та раціональне використання земельних ресурсів в новостворених територіальних громадах: проблеми та шляхи їх вирішення» (04-05 березня 2021 року)*. Херсонський державний аграрно-економічний університет. Херсон. 2021. С. 358–360.
12. Сопов Д. С., Кирпичова І. В., Хайнус Д. Д., Бузіна І. М., Макеева Л. М., Домбровська О. А. Інвестиційна привабливість сільськогосподарських земель Луганської області в умовах російського вторгнення в Україну. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. 2022. № 3(42). С. 89–93. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.3-42.14>.
13. Фондові матеріали Головного управління Держгеокадастру у Луганській області.
14. Чорний С. Г. Оцінка допустимої норми ерозії для ґрунтів степу України. *Український географічний журнал*. 1999. № 4. С. 22–27.
15. Шикун Н. К., Рожков А. Г., Трегубов П. С. Картирование территории по интенсивности эрозионных процессов. *Труды X Международного конгресса почвоведов*. Т. X. Москва: Наука. 1978. С. 32–37.
16. Dmytro Sopov, Tetiana Karpenko. Geospatical features of land use and natural prerequisites for land development in Luhansk region (Ukraine). *Modernization of research area: national prospects and European practices: Scientific monograph*. Riga, Latvia: Baltija Publishing, 2022. P. 161–183. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-221-0-7>.
17. Sopov Dmitry, Sopova Nadiia, Dankeyeva Olha, Chuhaiev Serhii. Natural-historical and ecological analysis of land resources and land use in Lugansk region. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2018. № 27(2). С. 357–367. DOI: <https://doi.org/10.15421/111860>.
18. Sopov Dmitry. Historical roots and environmental impacts of land use in the Luhansk region. *Часопис соціально-економічної географії*. Харків. 2017. № 22. С. 157–160. DOI: <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2017-22-23>.

ПЕРЕДУМОВИ ПЕРЕХОДУ ЗЕМЛЕРОБСТВА В УКРАЇНІ НА ЕКОЛОГО-ЗБАЛАНСОВАНІ ПРИНЦИПИ

Ткачук О.П.

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

Проаналізовано основні деградаційні процеси ґрунтів України та представлено обсяги їх поширення. Зроблено висновки щодо причин їх розвитку. Подано структуру сільськогосподарських угідь та рекомендовано пропозиції щодо її оптимізації за еколого-збалансованим принципом. Представлено сучасну структуру посівних площ загалом та на ґрунтах, що зазнають технологій інтенсифікації землеробства. Оцінено її елементи, що найбільш негативно впливають на стійкість агро-екосистем. Рекомендовано окремі ланки вирощуваних культур, збільшення яких сприятиме оптимізації землеробської галузі. Проаналізовано обсяги внесення мінеральних добрив під основні сільськогосподарські культури, площі, що зазнають систематичного обробітку пестицидами. Представлено дані щодо фактичного внесення в Україні органічних добрив та вапнякових матеріалів. Визначено причини, які не дозволяють нарощувати внесення гною та вапна. Розроблено фактори стабілізації агро-екологічного стану ґрунтів України та розраховано частку їх впливу на відновлення стану агро-екосистем виходячи з можливих змін у структурі посівних площ та сучасного економічного стану держави.

Оскільки в умовах сучасної інтенсифікації землеробської галузі України стрімко прогресують деградаційні процеси ґрунтів, серед яких основними є дегуміфікація і трофічне збіднення, порушення агрофізичних властивостей та переущільнення, ерозія та закислення, подальший розвиток землеробства має вестися на еколого-збалансованих принципах. Ці принципи передбачають оптимізацію структури сільськогосподарських угідь у напрямі збільшення частки сінокосів, пасовищ і лісів за рахунок ріллі; коректування структури посівних площ у напрямі збільшення площі посівів зернобобових культур і багаторічних трав і зменшення – кукурудзи та соняшнику; широке вирощування сидеральних культур. *Ключові слова:* землеробство, агро-екологія, збалансований розвиток, принципи.

Prerequisites for the transition of agriculture in Ukraine to ecologically balanced principles. Tkachuk O.

The main degradation processes of the soils of Ukraine are analyzed and the scope of their distribution is presented. Conclusions were made regarding the reasons for their development. The structure of agricultural land is presented and proposals for its optimization according to the ecologically balanced principle are recommended. The modern structure of cultivated areas in general and on soils undergoing agricultural intensification technologies is presented. Its elements that have the most negative impact on the sustainability of agroecosystems have been evaluated. Separate links of cultivated crops are recommended, the increase of which will contribute to the optimization of the agricultural industry. The amounts of mineral fertilizers applied to the main agricultural crops, the areas subjected to systematic pesticide treatment, were analyzed. Data on the actual application of organic fertilizers and limestone materials in Ukraine are presented. The reasons that do not allow increasing the application of manure and lime have been identified. The factors of stabilization of the agro-ecological state of the soils of Ukraine were developed and the share of their influence on the restoration of the state of agro-ecosystems was calculated based on possible changes in the structure of cultivated areas and the current economic state of the country.

Since in the conditions of modern intensification of the agricultural sector of Ukraine, soil degradation processes are rapidly progressing, among which the main ones are dehumification and trophic impoverishment, violation of agrophysical properties and overcompaction, erosion and acidification, the further development of agriculture should be conducted on ecologically balanced principles. These principles provide for the optimization of the structure of agricultural land in the direction of increasing the share of hayfields, pastures and forests at the expense of arable land; adjustment of the structure of sown areas in the direction of increasing the area of grain legumes and perennial grasses and decreasing the area of corn and sunflower; extensive cultivation of sider crops. *Key words:* agriculture, agroecology, balanced development, principles.

Постановка проблеми. Суттєве поширення деградаційних процесів ґрунтів України, а також значна хімізація рослинництва призвели до порушення агро-ценозів, що проявляється у збідненості їх біологічного різноманіття, розімкненості кругообігу речовин, сильному вилученні сформованої біомаси за межі агро-еко-системи, необхідності постійного поповнення вилучених речовин з ґрунту у вигляді синтетичних добрив та надходження антропогенної енергії, що, в кінцевому результаті зумовлює низьку стійкість агро-ценозів.

За даними ФАО 20% сільськогосподарських ґрунтів України зазнають суттєвих деградаційних

процесів, а решта перебувають під потенційною загрозою. За останні 130 років українські ґрунти вже втратили близько 30% гумусу [1]. Високий рівень розораності ґрунтів разом із глобальним потеплінням суттєво підсилюють деградаційні процеси. Тому важливим завданням сьогодення для землеробської галузі України є її перехід на еколого-збалансовані принципи, при запровадженні яких не тільки сповільняться деградаційні процеси у ґрунтах, але й відбуватиметься підвищення їх родючості, підвищення стійкості й саморегуляції агро-еко-систем [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Впродовж останніх десятиліть в Україні стан ґрунтів сільськогосподарського використання суттєво погіршився і набув загрозливого характеру. Ґрунтовий покрив у значній мірі втратив здатність до саморегуляції. Тривале використання ґрунтів без достатнього повернення поживними речовинами, що були вилучені з урожаєм, призвело до прогресу деградації: дегуміфікація, зниження вмісту поживних мінеральних речовин, розвиток ерозії, погіршення водно-повітряних і агрофізичних властивостей, підкислення, забруднення та інші. Відомо, що визначальним фактором деградації ґрунту є дегуміфікація, що спостерігається на 90% сільськогосподарських угідь України [3-5].

З урахуванням сучасного соціально-економічного стану країни в аграрному секторі, зрозуміло, що вирішити проблему збереження родючості ґрунтів на оптимальному рівні, що передбачає збільшення норм органічних добрив до 10 т/га і мінеральних – до 150-170 кг/га площі орних ґрунтів, є неможливим [6-8]. Різке скорочення поголів'я худоби не дозволяє виробити достатню кількість традиційних органічних добрив, а висока ціна мінеральних добрив – забезпечити їх внесення у повному обсязі.

Результати спостережень показують, що деградаційні процеси прискорюються за традиційної системи обробітку ґрунту, порушення сівозміни, широкого використання мінеральних добрив та синтетичних пестицидів. Розроблений Національний план дій щодо боротьби з деградацією земель та опустелюванням в Україні передбачає виконання заходів щодо упорядкування орних земель виведенням з їх складу схилів, ґрунтів водоохоронних зон, ерозійно небезпечних та інших непридатних для розорювання угідь; прискорення робіт із консервації деградованих, техногенно забруднених і малопродуктивних ґрунтів, рекультивації порушених земель; створення сприятливих умов для розвитку виробництва органічної продукції та сировини на землях сільськогосподарського призначення; проведення ґрунтово-агрохімічного обстеження й агрохімічної паспортизації земельних та інші [9-11].

Збереження та захист ґрунтів від деградації та опустелювання є національним пріоритетом України і необхідною умовою для забезпечення сталого розвитку сільськогосподарських земель та забезпечення продовольчої безпеки світу. Проте реалізація національного плану має багато перепон, які не завжди вдається вирішити.

Визначальною умовою підвищення екологічної стійкості деградованих ґрунтів є досягнення позитивного балансу гумусу, оптимізація кислотно-лужного стану ґрунту, розширенням посівів багаторічних бобових трав, широке використання побічної продукції рослинництва на добриво, науково обґрунтоване застосування меліорантів. Перспективним є впровадження еколого-економічних механізмів із захисту

ґрунтів від деградації, що передбачають освоєння ґрунтозахисних сівозмін, залуження сильно еродованих орних земель, широке запровадження протиерозійних агротехнічних заходів, створення захисних лісонасаджень, будівництво протиерозійних гідротехнічних споруд. Проте такі заходи застосовуються недостатньо, що вимагає пошуку більш простіших та ефективних природоохоронних заходів [12].

Тому основним завданням землеробства України, на сьогоднішній день залишається пошук шляхів збереження, відновлення та утримання показників родючості ґрунту на оптимальному рівні.

Мета роботи. Визначити основні передумови переходу землеробства України на еколого-збалансовані принципи на основі оптимізації структури сільськогосподарських угідь та посівних площ, широкого залучення сидеральних посівів.

Методологія. Дослідження проводилися опрацюванням матеріалів Державної служби статистики в Україні [13]. Аналізувалися показники структури сільськогосподарських угідь в Україні, структури посівних площ, обсягів внесення органічних і мінеральних добрив, пестицидів та вапнякових матеріалів, поширення деградаційних процесів ґрунтів.

Виклад основного матеріалу. Інтенсифікація землеробства, що останніми роками набула масового характеру у сільському господарстві України, є причиною зростаючої деградації ґрунтів та агроценозів. Результати моніторингу ґрунтів показують, що на 43,0% ріллі спостерігається дегуміфікація та трофічне збіднення, на 39,0% – порушення агрофізичних властивостей, на 32,1% – розвивається водна ерозія, на 22,0% – дефляція, на 17,7 % – закислення ґрунтів, також поширені забруднення ґрунтів радіонуклідами, пестицидами, важкими металами, засолення і аридизація (табл. 1)

Для припинення зазначених видів деградаційних процесів в Україні необхідний перехід землеробської галузі України на еколого-збалансовані принципи. Для цього варто оптимізувати структуру сільськогосподарських угідь та посівних площ вирощуваних культур, максимально залучати для поповнення поживних речовин у ґрунті органічні добрива, сидерати, побічну рослинницьку продукцію, використовувати для захисту культур біопрепарати, диференціювати обробіток ґрунту. На першому етапі цієї роботи необхідно проаналізувати сучасну структуру угідь та посівних площ, обсяги внесення добрив і пестицидів.

За даними Державної служби статистики частка сільськогосподарських угідь в Україні становить 70,8% від загальної земельної площі держави. Це досить високий показник у контексті еколого-збалансованого землекористування. Він може бути зменшений за рахунок виведення з обробітку ріллі на схилі еродованих землях, забруднених і виснажених ґрунтах та переведення її у сіножаті, пасовища або ліс. У структурі сільськогосподарських

Таблиця 1

**Обсяги поширення деградаційних процесів ґрунтів України
за В.В. Медведєвим, Т.Н. Лактіоною, Н.М. Бреус**

Вид деградації ґрунту	Площа поширення, млн. га ріллі	Частка від загальної площі ріллі в Україні, %
Дегуміфікація та трофічне збіднення	12,9	43,0
Переуцільнення	12,6	39,0
Порушення структури та погіршення агрофізичних властивостей	12,3	38,0
Водна ерозія	10,4	32,1
Дефляція	7,1	22,0
Закислення	5,7	17,7
Засолення	1,3	4,1
Забруднення радіонуклідами	3,6	11,1
Забруднення пестицидами	3,0	9,3
Забруднення важкими металами	2,6	8,0
Аридизація ґрунту	0,07	0,2

Таблиця 2

Структура сільськогосподарських угідь в Україні за даними Державної служби статистики

Вид угідь	Площа, тис. га	Частка, %
Загальна земельна площа	60354,9	100
В т.ч. сільськогосподарські угіддя	42726,4	70,8
З них:	32541,3	53,9 / 76,2*
– рілля	2406,4	4,0 / 5,6
– сіножаті	5434,1	9,0 / 12,7
– пасовища	234,5	0,4 / 5,5
– багаторічні насадження		

*Примітка: чисельник – частка від загальної земельної площі / знаменник – частка від площі сільськогосподарських угідь.

угідь України переважає рілля – 76,2%. В той же час частка угідь, що забезпечують еколого-збалансоване землекористування – сіножатей і пасовищ – досить низька і становить 18,3% (табл. 2).

Саме збільшення частки сіножатей і пасовищ за рахунок зменшення площі ріллі сприятиме оптимізації еколого-збалансованого землекористування в Україні.

У загальній структурі землекористування України рілля становить 53,9%. Цей показник є одним з найвищих у світі (у Польщі частка ріллі складає 36,5%, у Німеччині – 34,1%, у США – 17,5%, у Китаї – 12%).

У загальній структурі посівних площ в Україні за даними Державної служби статистики, переважають посіви кукурудзи – 23,6%, пшениці озимої – 22,4% та соняшнику – 21,6%. Враховуючи поділ усіх сільськогосподарських культур за екологічним принципом едифікації на три групи, можна зазначити, що найбільший позитивний вплив на орні землі здійснюють зернобобові культури за рахунок симбіотичної азотфіксації та накопичення у ґрунті азоту. Із представленої структури посівних площ випливає, що на сьогодні основною зернобобовою культурою стала соя, яка займає у структурі посівних площ частку 7,2% (табл. 3).

Враховуючи решту зернобобових культур, що вирощуються в Україні на обмеженій площі і які увійшли у групу інших культур, зокрема це горох, нут, сочевиця, боби, а також квасоля, що входить у групу овочевих культур, загальна частка зернобобових може становити близько 8,0% у структурі усіх посівних площ, що є досить низьким показником. Окреме місце у системі еколого-збалансованого землеробства займають багаторічні трави. Вони сприяють не тільки підвищенню родючості, але й відновленню деградованих ґрунтів. Проте багаторічне вирощування на одному полі не дозволяє їх включати у польову сівозміну. Тому їх вирощують у вивідних полях, спеціальних сівозмінах або на сінокосах. Загальна площа посівів багаторічних трав в Україні, за даними Державної служби статистики, становить 241,3 тис. га, що складає 0,9% від загальної площі ріллі та не може ефективно відновлювати екологічний стан ґрунтів. Причиною такої малої посівної площі багаторічних трав в Україні є занепад тваринництва. Помірний вплив на загальний стан агроєкосистем здійснюють пшениця озима, ячмінь ярий та частина кормових і інших культур. Разом вони займають площу у загальній структурі посівних площ близько 33,0%.

Таблиця 3

Структура посівних площ в Україні за даними Державної служби статистики

Культура	Всього		В т.ч. в системі інтенсивного землеробства	
	Площа, тис. га	Частка, %	Площа, тис. га	Частка, %
Пшениця озима	6168,3	22,4	4741,7	24,5
Кукурудза	6520,0	23,6	4467,5	23,1
Ячмінь ярий	1619,9	5,9	662,2	1,3
Соняшник	6033,7	21,9	4953,6	25,6
Соя	1999,8	7,2	1837,0	9,5
Ріпак озимий	742,2	2,7	728,8	3,8
Цукрові буряки	316,1	1,1	296,6	1,5
Картопля	1323,2	4,8	17,8	0,1
Овочеві	445,2	1,6	30,7	0,2
Кормові	491,8	1,8	265,7	1,4
Інші	1935,3	7,0	1363,9	9,0
Всього	27595,5	100	19365,5	100

Таблиця 4

Внесено мінеральних добрив під сільськогосподарські культури за даними Державної служби статистики України

№	Вирощувана культура	Обсяг внесення, кг/га діючої речовини
1	Пшениця озима	128
2	Кукурудза	143
3	Цукрові буряки	295
4	Соняшник	80
5	Ріпак озимий	165
6	Картопля	59
7	Овочеві	133
8	Кормові	30

Культури, що здійснюють найбільш негативний вплив на загальний стан агроєкосистем – це кукурудза, соняшник та цукрові буряки. Разом у структурі посівних площ вони становлять 46,6%. Також виділяють групу культур, що потребують інтенсивного хімічного захисту від шкочинних об'єктів. До них належать ріпак озимий, картопля та овочеві. Їх частка у загальній структурі посівних площ становить 9,1%.

Виходячи з того, що культури, які найбільше виснажують ґрунти в Україні займають майже половину площі ріллі, а ті, що поліпшують агроєкологічний стан ґрунту лише близько 10%, то для збалансування агроєкосистем необхідно зменшувати посівні площі кукурудзи та соняшнику та збільшувати – зернобобових культур і багаторічних трав.

Враховуючи те, що в Україні близько 70% усіх посівів знаходяться у системі інтенсивного землеробства, що передбачає внесення високих норм мінеральних добрив, багаторазове застосування синтетичних пестицидів, обмежений набір культур у сівозміні та інтенсивний механічний тиск на ґрунт, то прояв негативний агроєкологічних чинників на

таких посівах буде суттєво зростати. Системами інтенсивного землеробства в Україні зайняті посіви, що належать потужним агрохолдингам. Саме вони, маючи у достатній кількості фінансові ресурси, зловживають застосуванням високих норм мінеральних добрив та пестицидів, виснажуючи ґрунти.

Оскільки на сьогодні визначальним чинником підвищення урожайності сільськогосподарських культур є мінеральні добрива, то ми проаналізували обсяги їх внесення під найпоширеніші сільськогосподарські культури в Україні. Найбільше мінеральних добрив у діючій речовині вноситься під цукрові буряки – 295 кг/га. Проте ця культура в Україні займає площу лише 316,1 тис. га. При вирощуванні інших культур норми внесення мінеральних добрив значно нижчі – 165 кг/га під посіви ріпаку озимого, 143 кг/га – під кукурудзу, 133 кг/га – під овочі, 128 кг/га – під пшеницю озиму, під решту культур – ще нижчі (табл. 4). Проте значна частина сільськогосподарських підприємств вносить під посіви основних культур значно вищі норми добрив, що у 1,5-2 рази перевищують середні по Україні.

У структурі використовуваних мінеральних добрив переважають азотні, на них припадає 67,3% усього обсягу. Частка фосфорних становить 17,9%, а калійних – 14,8%. Іншим чинником інтенсифікації землеробства є застосування синтетичних пестицидів. За даними Державної служби статистики України, пестициди використовуються на загальній площі 15343,7 тис. га, що складає 55,6% усієї посівної площі та 79,2% площ, зайнятих під технологіями інтенсивного землеробства, переважно під основні сільськогосподарські культури (табл. 5).

Одним із факторів переходу землеробства на еколого-збалансовані принципи є застосування органічних добрив. Удобрена площа органічними добривами становить 503,6 тис. га, що складає 2,7% від загальної посівної площі. Враховуючи науково обґрунтовану норму органічних добрив 18,3 т/га, фактично вноситься із розрахунку на усю посівну площу 0,5 т/га, що у 36,6 рази менше від рекомендованої норми. Пояснюється така мізерна кількість внесених органічних добрив відсутністю тваринництва та нестачею гною. Тому альтернативою органічних добрив є широке застосування сидератів. Їх ефективно можна вирощувати після пшениці озимої, ріпаку озимого, ячменю ярого, картоплі, деяких кор-

мових, овочевих та інших культур, що у загальній структурі посівних площ може складати близько 41%. Враховуючи те, що частину площ необхідно готувати під посів озимих культур, то реальна частка посівних площ, які можна засіяти сидератами, може становити близько 15%.

Якщо врахувати усі фактично можливі на сьогодні чинники відновлення агроекологічного стану ґрунтів, то вони становлять біля 26,6% від загальної посівної площі (табл. 6).

Для збільшення відсотка стабілізації агроекологічного стану ґрунтів України необхідно збільшувати обсяги виробництва органічних добрив, оптимізувати структуру посівних площ сільськогосподарських культур за рахунок збільшення посівів багаторічних трав і зернобобових культур, а також обґрунтовано зменшувати площу ріллі на еродованих, деградованих та малородючих землях.

Для зниження кислотності ґрунтів природоохоронним заходом виступає їх вапнування. Площа провапнованих ґрунтів становить 119,8 тис. га, що складає лише 0,4% загальної посівної площі із фактичною нормою внесення 3,8 т/га. Тривалий час основним нейтралізуючим засобом надлишкової кислотності ґрунтів був дефека́т – продукт при пере-

Таблиця 5

Внесено органічних добрив, вапнякових матеріалів та пестицидів під сільськогосподарські культури за даними Державної служби статистики України

Вид внесених речовин	Показник	Величина
Органічні добрива	Удобрена площа ґрунтів, тис. га	503,6
	Частка удобреної площі, %	2,7
	Фактична норма внесення органічних добрив, т/га	0,5
	Науково обґрунтована норма внесення органічних добрив, т/га	18,3
Вапнякові матеріали	Площа провапнованих ґрунтів, тис. га	119,8
	Фактичний обсяг внесених вапнякових матеріалів, тис. т	450,8
	Фактична норма внесення вапнякових матеріалів, т/га	3,8
Пестициди	Площа застосування пестицидів, тис. га	15343,7

Таблиця 6

Фактори стабілізації агроекологічного стану ґрунтів України

№	Фактор стабілізації	Частка від загальної площі посівів, %
1	Внесення органічних добрив	2,7
2	Вирощування багаторічних трав	0,9
3	Вирощування зернобобових культур	8,0
4	Вирощування сидератів	15,0
	Разом	26,6

робі цукрових буряків на цукрозаводах. Але враховуючи суттєве скорочення посівних площ під цією культурою в Україні, обмаль працюючих цукрозаводів, достатньої кількості дефекату для розкислення ґрунтів немає. А враховуючи великі логістичні віддалі та високі норми внесення вапнякових матеріалів, їх доставка є фінансово затратною.

Головні висновки. Оскільки в умовах сучасної інтенсифікації землеробської галузі України суттєво прогресують деградаційні процеси ґрунтів, серед яких основними є дегуміфікація і трофічне збід-

нення, порушення агрофізичних властивостей та переущільнення, ерозія та закислення, подальший розвиток землеробства має вестися на еколого-збалансованих принципах. Ці принципи передбачають оптимізацію структури сільськогосподарських угідь у напрямі збільшення частки сінокосів, пасовищ і лісів за рахунок ріллі; коректування структури посівних площ у напрямі збільшення площі посівів зернобобових культур і багаторічних трав та зменшення – кукурудзи і соняшнику; широке вирощування сидеральних культур.

Література

1. Мартинюк М. Деградація ґрунтів є серйозною проблемою для України URL: <https://superagronom.com/news/2870-degradatsiya-gruntiv-ye-seryoznoyu-> (дата звернення 15.09.2018).
2. Ткачук О.П. Екологічні засади оптимізації стану агроценозів і ґрунту Центрального Лісостепу: дис. ... доктора сільгосп. наук: 03.00.16. Київ, 2018. 393 с.
3. Гоменюк В.О. Практичний посібник з використання комплексних добрив: наукове видання. Вінниця: ФОП Данилюк В.Г., 2008. 104 с.
4. Назаренко І.І., Пальчина С.М., Нікорич В.А. Ґрунтознавство: підручник. Чернівці: Книги – XXI, 2008. 400 с.
5. Фурдичко О.І. Агроєкологія: монографія. К.: ДІА, 2014. 400 с.
6. Фурдичко О.І., Макаренко Н.А., Палапа Н.В. Екологічний стан сільських селітебних територій України. Вісник аграрної науки. К., 2009. № 8. С. 5–9.
7. Патица В.П., Тараріко О.Г. Агроєкологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель. К.: Фітосоціоцентр, 2002. 296 с.
8. Голубченко В.Ф., Ямкова Н.А. Оцінка родючості ґрунтів за еколого-агрохімічними показниками. *Агроєкологічний журнал*. Київ, 2010. № 4. С. 53 – 56.
9. Кисіль В.І. Агрохімічні аспекти екологізації землеробства. Харків: 13 типографія, 2005. 167 с.
10. Словник-довідник з агроєкології і природокористування. За наук. ред. О.І. Фурдичка. К.: ДІА, 2012. 336 с.
11. Агроєкологія: термінологічний та довідковий матеріал: навч. посіб./ В.І. Жарінов, С.В. Довгань. К.: Аграрна освіта, 2009. 328 с.
12. Баласв А.Д., Ковальчук О.П., Дорошкевич Н.Ф. Зміна вмісту та запасів гумусу в сірому лісовому ґрунті за застосування різних сидеральних культур як зеленого добрива. *Корми і кормовиробництво*. Вінниця, 2011. Вип. 70. С. 106 – 110.
13. Посівні площі, валові збори та урожайність сільськогосподарських культур. *Державна служба статистики України*. URL: http://ukrstat.gov.ua/metaopus/2019/2_03_07_03_2019.htm (дата звернення 11.08.2021).

ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛІ РАДІАЦІЙНОЇ ЄМНОСТІ ЛАНДШАФТУ ТА ЙОГО КОМПОНЕНТІВ ДЛЯ ОЦІНКИ РАДІАЦІЙНОГО РИЗИКУ ЗОВНІШНЬОГО ОПРОМІНЕННЯ ЛЮДИНИ І БІОТИ Ї ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ ВИКИДІВ АЕС

Барбашев С.В., Бурбан Н.С.

Національний університет «Одеська політехніка»

пр. Шевченка, 1, 65044, м. Одеса

barbashev@op.edu.ua, josik65@gmail.com

У статті запропоновано модель радіаційної ємності ландшафту та його компонентів, яка відрізняється від моделей, запропонованих іншими авторами, тим, що вона враховує розміри і властивості як ландшафту, так і його компонентів. Крім того, ця модель дозволяє враховувати масштаби міграції радіонуклідів і їх максимальне накопичення в них, яке зіставляється з рівнем негативного впливу забруднювачів на біотичні елементи та людину, що притаманні території, яка піддається радіаційному забрудненню.

Показано, що, знаючи радіаційну ємність компонента ландшафту, можна визначити рівень максимального накопичення радіонуклідів у компонентах природного середовища, що перебувають у зоні впливу АЕС, яка працює у штатному режимі, а також отримати значення індивідуального радіаційного ризику від зовнішнього опромінення населення та наземної біоти, що знаходяться на території зони спостереження АЕС.

Оцінювання величини радіаційної ємності та ризику виконано за допомогою даних комплексного радіоекологічного моніторингу територій розташування АЕС, методологія якого розроблена на кафедрі АЕС Одеського політехнічного інституту (нині Національний університет «Одеська політехніка»). Практичне застосування такої методології забезпечує рівну точність та представництво результатів вимірювання радіаційних параметрів, що характеризують всю територію, яка контролюється.

Застосовуючи модель радіаційної ємності ландшафту та його компонентів, що знаходяться в зоні впливу АЕС, та розрахунки радіаційного ризику від опромінення людини та наземної біоти, розроблено підхід до визначення величини такого викиду радіонуклідів з АЕС, який забезпечує безпечне існування наземної біоти (екологічне нормування) і людини (гігієнічне нормування).

Розрахунок, виконаний для реального викиду ^{137}Cs із Запорізької АЕС, показав, що екологічно безпечний рівень опромінення організмів біоти (ссавців), які знаходяться на досліджуваній території в зоні спостереження станції, буде забезпечуватися при викиді з АЕС майже на порядок більшому ніж для людини. *Ключові слова:* радіаційний вплив АЕС, гігієнічне та екологічне нормування, радіаційна ємність, ландшафт, ландшафтний компонент, зовнішнє опромінення, радіаційний ризик, екологічно безпечні викиди АЕС.

Application of the radiation capacity model of the landscape and its components for the assessment of the radiation risk of external irradiation of humans and biota and the determination of environmentally safe emissions of NPP. Barbashev S., Burban N.

The article proposes a model of the radiation capacity of the landscape and its components, which differs from the models proposed by other authors in that it takes into account the dimensions and properties of both the landscape and its components. In addition, this model allows you to take into account the scale of migration of radionuclides and their maximum accumulation in them, which is compared with the level of negative impact of pollutants on biotic elements and people inherent in the territory exposed to radiation pollution.

It is shown that, knowing the radiation capacity of a component of the landscape, it is possible to determine the level of maximum accumulation of radionuclides in the components of the natural environment that are in the zone of influence of a nuclear power plant operating in regular mode, as well as to obtain the value of individual radiation risk from external exposure of the population and terrestrial biota, which are in the territory of the NPP monitoring zone.

The assessment of radiation capacity and risk was performed using the data of complex radioecological monitoring of the territories of the NPP location, the methodology of which was developed at the NPP Department of the Odessa Polytechnic Institute (now the National University "Odessa Polytechnic"). The practical application of this methodology ensures equal accuracy and representation of the results of measurement of radiation parameters characterizing the entire monitored territory.

Applying the model of the radiation capacity of the landscape and its components located in the zone of influence of the NPP, and calculations of the radiation risk from the exposure of humans and terrestrial biota, an approach was developed to determine the amount of radionuclide emission from the NPP that ensures the safe existence of terrestrial biota (ecological regulation) and humans (hygienic regulation).

The calculation performed for the real emission of ^{137}Cs from the Zaporizhzhya NPP showed that an ecologically safe level of exposure to biota organisms (mammals) located in the studied territory in the station's monitoring zone will be ensured when the emission from the NPP is almost an order of magnitude greater than for humans. *Key words:* radiation impact of nuclear power plants, hygienic and environmental regulation, radiation capacity, landscape, landscape component, external exposure, radiation risk, ecologically safe emissions of nuclear power plants.

Постановка проблеми. Основна тенденція у взаємовідносинах людини і навколишнього природного середовища на сучасному етапі полягає у створенні умов, які обмежують антропогенний вплив на компоненти як природних, так і штучних, наприклад, аграрних, екосистем з метою підтримки їх сталого функціонування.

Значною мірою це відноситься до ситуації опромінення людини і природного середовища іонізуючої радіацією, джерелами якої є ядерні установки, зокрема АЕС.

До теперішнього часу системи радіаційного захисту людини та навколишнього природного середовища будуються на антропоцентричному принципі, сенс якого полягає в тому, що, якщо від дії іонізуючих випромінювань захищена людина, то в умовах захищеності знаходиться і навколишнє природне середовище (Публікація 60 МКРЗ, 1990 рік) [1].

Слід відзначити, що наслідки впливу радіаційного опромінення на здоров'я людини відносно добре відомі. Це дозволило створити систему радіаційно-гігієнічних нормативів, які спрямовані на забезпечення допустимих рівнів опромінення людей. Наслідки же дії іонізуючої радіації на біоту вивчені не так детально. Тому дослідження, направлені на вироблення чітких заходів щодо охорони екосистем від радіаційного опромінення та створення відповідних екологічних нормативів дозволить наблизити практичну реалізацію рекомендацій Публікації 103 МКРЗ [2] щодо застосування екоцентричного принципу забезпечення радіаційної безпеки навколишнього природного середовища.

Актуальність дослідження. Сучасні дослідження та розрахунки, зокрема наслідків опромінення природного середовища у результаті Чорнобильської аварії, свідчать про те, що існуюча парадигма сучасної екології про відсутність проблем для біоти у разі витримування гігієнічних норм для людини не завжди виконується. В тому числі це пов'язано і з тим, що людина здатна уникати негативних впливів забруднювачів, а біота не може це робити. Хоча існує багато методів і успішних експериментів щодо визначення норм забруднення навколишнього природного середовища, але жодна з теоретичних концепцій на цю тему не може відповісти на всі основні питання, які виникають на практиці. Тому проведення досліджень з узагальнення існуючого досвіду з регламентації впливу радіаційно-небезпечних підприємств, зокрема АЕС, на природне середовище, порівняння та аналіз існуючих концепцій, а також розгляд конкретних методів та досвіду впровадження процедур екологічного нормування є важ-

ливим і актуальним. Такі роботи дадуть можливість практично реалізувати рекомендації МАГАТЄ та МКРЗ щодо захисту природного середовища від негативної дії іонізуючого випромінювання.

Мета дослідження. Запропонувати модель радіаційної ємності ландшафту, величина параметру якої є мірою накопичення радіоактивних забруднень в ньому, а сама модель є системою, що складається з частин, які перебувають у взаємозв'язках один з одним.

Для досягнення цієї мети розроблено підхід до оцінювання величини параметру радіаційної ємності компонента ландшафту території розташування АЕС, який покладено в основу визначення радіаційного ризику зовнішнього опромінення людини та біоти й оцінки екологічно безпечних викидів штатно працюючої АЕС.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Згідно з Конвенцією про ядерну безпеку, яка була підписана Україною у Відні 20 вересня 1994 року і ратифікована Верховною Радою України 17.12.97, й законодавством України про ядерну, радіаційну та екологічну безпеку, найвищим пріоритетом у діяльності державного підприємства «Національна атомна енергогенеруюча компанія «Енергоатом» (далі – Компанії) є забезпечення безпеки ядерних установок. Компанія бере на себе зобов'язання дотримуватися ряду основоположних принципів забезпечення ядерної, радіаційної та екологічної безпеки, якості, охорони здоров'я, фізичного захисту та охорони праці і, таким чином, сприяти сталому розвитку Компанії.

Дослідження, результати яких наведені у статті, допоможуть досягненню цілей Компанії з дотримання радіаційної та екологічної безпеки.

Аналіз найбільш значних досліджень і публікацій. У 1990 році вийшла Публікація 60 МКРЗ, в якій йдеться про ситуацію запланованого опромінення. Вважається, що саме при цьому забезпечується радіаційний захист людей, а нормативи, необхідні для захисту населення, повинні забезпечити захист біоти і навколишнього природного середовища в цілому.

У Публікації 103 МКРЗ, яка вийшла у 2007 році, вже йдеться про всі можливі ситуації опромінення – заплановане, аварійне, існуюче -, а також про необхідність розгляду широкого діапазону ситуацій опромінення природного середовища незалежно від будь-якого зв'язку з опроміненням людини та про отримання прямих та недвозначних доказів того, що захист природного середовища (біоти), а не тільки людини, буде забезпечений навіть у ситуаціях запланованого опромінення.

В цих ситуаціях для забезпечення достатнього рівня радіаційного захисту доцільно пропонується застосовувати концепцію «умовних» (референтних) тварин і рослин. Передбачається, що набір референтних біологічних видів повинен грати в системі радіаційного захисту біоти ту ж роль, що концепція «референтної (стандартної) людини» в системі радіаційного захисту людини.

Таким чином, в останні роки у галузі теоретичної розробки положень стратегії захисту природного середовища намітилося зрушення основної системи поглядів (парадигми) в бік посилення екоцентричних принципів [3,4].

Якщо правильність застосування радіаційно-гігієнічного нормування не викликає сумніву у фахівців і його результати вже давно використовуються на практиці, то підходи до радіаційно-екологічного (далі просто «екологічне») нормування почали обговорюватися відносно недавно.

Існують різні підходи до екологічного нормування радіаційного впливу радіаційно-небезпечних об'єктів, зокрема АЕС, на навколишнє природне середовище. Наприклад, в якості кількісного критерію, за допомогою якого можна здійснювати таке нормування, пропонують визначати концентрацію забруднювача природного середовища, при якому проявляються зміни в життєдіяльності біогеоценозу або у критичних його елементах, тобто порушується стан гомеостазу екосистеми [5], або величину радіаційної ємності (радіоємності) компонентів природного середовища, яка виступає як міра небезпечного накопичення радіоактивних забруднень в них [6].

Поняття радіоємності було введено В. І. Корогодіним і А. Л. Агре ще в 1960 році [7] для оцінки розподілу радіоактивних забруднень в непроточній водоймі й визначення міри благополуччя водної біоти. В подальшому, В.І. Корогодін розширив поняття радіоємності на екосистеми і трактував його як кількість радіонуклідів, яку може поглинути екосистема без порушення її функціонування, а кількісна зміна параметрів радіоємності може дати чітке уявлення про якісне «благополуччя» біоценозу в цілому.

Надалі, теорія радіоємності В.І. Корогодіна знайшла відображення в працях Г.Г. Полікарпова [8 – 10]. Також цій проблемі присвячений ряд публікацій Ю.А. Кутлахмедова із співавторами, узагальнених в монографії [11].

Звернімо увагу на те, що теорія радіоємності, яка пропонується авторами вищевказаних робіт, завдання екологічного нормування вирішує шляхом визначення реакції біоти на дозові навантаження на екосистему.

Такий підхід зводить нормування на біогеоценологічному рівні до популяційного рівня. Звідси випливає, що охорона всіх видів біоти забезпечується вибором такого компоненту екосистеми, який піддається найбільшому ризику. Принцип нормування по «най-

більш слабкій ланці» має недоліки, які полягають в тому, що при його використанні ігнорується вплив на всі елементи біоценозу, крім контрольного (референтного), що може призвести до великих помилок при розгляді складних екосистем, функціонування яких підпорядковується принципу емерджентності, тобто наявності у системі особливих властивостей, не властивих її підсистемам. На наш погляд, нормування за окремими – критичними – біотичними елементами розумно використовувати при розгляді аварійної ситуації, коли потрібно зберегти екосистему протягом обмеженого проміжку часу, до моменту ліквідації наслідків аварії.

При штатній же роботі об'єкту (ситуація запланованого опромінення) необхідно гарантувати безпечне існування екосистеми в цілому протягом необмежено тривалого впливу на неї негативних факторів. Це вимагає застосування «інтегральних» критеріїв нормування скидів і викидів забруднюючих речовин в навколишнє середовище, тобто наявності такого нормованого параметру, який би найбільш повно відображав вплив негативного фактору на екосистему або її частину, відносно легко вимірювався і розраховувався. На нашу думку такий параметр може бути однаково застосований як для гігієнічного, так і екологічного нормування.

У роботах [6,11] нормування радіаційного впливу на біоту пропонується реалізувати через радіоємність, яка визначається як гранична кількість радіонуклідів, яка може накопичуватися в біоті без порушення їх основних функцій. При цьому розглядається біота, яка локально розташована в екосистемі.

Слід сказати, що такий підхід фактично являє собою не що інше, як варіант відомих методів коефіцієнтів концентрування або системного аналізу [12], при яких коефіцієнти переходу радіонуклідів між ланками екосистеми обумовлюються їх характеристиками в умовах динамічної рівноваги між надходженням і перерозподілом радіонуклідів між ланками. Пропонований підхід до оцінки радіоємності не враховує вплив розмірів екосистеми на кількісну оцінку параметрів опромінення біоти, тобто не враховує такі найважливіші характеристики екосистеми і її компонентів, в першу чергу ландшафтів, як протяжність, спряженість з сусідніми ландшафтами (компонентами ландшафту) і встановлення сталості інтенсивності обміну речовиною між ними. Це означає, що радіоємність в цьому випадку є характеристикою екосистеми або її компонентів, що змінюється в залежності від виду біоти і місця її знаходження.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття. Автори даної статті вважають, що радіоємність є об'єктивною характеристикою екосистеми або її компонентів, які виступають в якості міри накопичення радіонуклідів в них, яка визначає рівень допустимого радіаційного впливу на біоту й людину

[13,14]. На відміну від радіоємності, яка є функцією концентрації радіоактивного забруднювача у конкретному місці («точці») екосистеми, радіоємність екосистеми в нашому розумінні має враховувати її розміри і дозволяти описувати міграцію радіонукліда від джерела викиду (скидання) в екосистему і між її компонентами.

У даній статті пропонується саме така модель радіаційної ємності ландшафту та його компонентів, де радіаційна ємність ландшафту трактується авторами як **активність радіонуклідів (РН), накопичених за час, протягом якого вміст РН в ландшафті прийде в рівновагу з їх вмістом у сполучених компонентах, що становлять даний ландшафт, при параметрах міграції РН, властивих ландшафтним компонентам** [13-15].

Практично радіаційну ємність ландшафту ($R_{\text{к}}$, Бк) зручно представляти як суму інтегралів:

$$R_{\text{к}} = \sum_j \int_s K_{ij} q_{ij} dS_i$$

де підсумовування проводиться за усіма j -ми шляхами надходження РН в k -й ландшафтний компонент, а інтегрування береться по усій території (S , м^2), що зазнала впливу i -го джерела; K_{ij} , м/рік – коефіцієнт, який визначає швидкість міграції РН в ландшафтному компоненті; q_{ij} – об'ємна активність РН, що утворилася в ландшафтному компоненті від i -го джерела по j -му шляху, Бк/ м^3 за час, протягом якого настає рівновага.

Наведена вище формула дозволяє спростити розрахунок радіаційної ємності ландшафту, представивши її у вигляді лінійної комбінації радіаційних ємностей окремих його компонентів.

Новизна роботи. Новизна наведеної у статті моделі радіаційної ємності ландшафту та його компонентів полягає в тому, що на відміну від концентрації та визначень радіаційної ємності, запропонованих іншими авторами, радіоємність у нашому розумінні враховує розміри і властивості ландшафтних компонентів і дозволяє врахувати масштаби міграції РН і їх максимальне накопичення в них, яке може бути зіставлено з рівнем негативного впливу забруднювачів на елементи біоценозу (пригнічення, пошкодження, знищення, сукцесія) та людину.

Методологічне та загальнонаукове значення. Отримані у роботі результати базуються на загальноприйнятих рекомендаціях МКРЗ щодо застосування екоцентричного принципу забезпечення радіаційної безпеки навколишнього природного середовища і **методологічно доповнюють** їх в частині підходів до оцінювання рівнів забруднення компонентів природного середовища техногенними радіонуклідами, визначення значень радіаційних ризиків для населення й біоти та інших показників стану природного середовища. Такі доповнення ґрунтуються на методах радіоекологічного моніторингу радіаційної обстановки території, що досліджується, які мають

бути враховані у принципах забезпечення екологічної безпеки в районах розташування ядерних установок, зокрема АЕС.

Виклад основного матеріалу.

1. Обчислення радіаційної ємності компонента ландшафту.

Основним методом обчислення радіаційної ємності є математичне моделювання процесів перерозподілу радіонуклідів, що спирається на експериментальне вивчення міграції РН в ландшафтах і районування території з урахуванням їх ландшафтно-геохімічних особливостей.

В роботі [16] на спрощеному прикладі було показано як можна реалізувати на практиці запропонований підхід до визначення радіаційної ємності ландшафтного компонента території розташування реальної АЕС і як з його допомогою визначити рівень радіаційного впливу АЕС (дозове навантаження) на населення.

Радіаційна ємність визначалася для ділянки, яка знаходиться на відкритій місцевості в зоні спостереження Запорізької АЕС (ЗАЕС) (Рис. 1). Ділянка вибиралася за результатами радіоекологічного моніторингу (РЕМ) ЗАЕС, наведеними у роботі [13, 17].

Базовим методом РЕМ є метод спеціального структурування території зони спостереження АЕС, в основі якого лежить районування, яке полягає в розподілі території на райони, однорідні за ландшафтно-геохімічними характеристиками. Ділянка, яка вивчалася, відноситься до одного з районів (III), який був виділений при районуванні зони спостереження ЗАЕС. Вона складається в основному з чорноземів звичайних малогумусних, з мінімумом рослинного покриву. Тому ландшафтним компонентом, для якого визначалась радіаційна ємність, був вибраний ґрунт.

Розрахунок радіоємності ділянки виконувався відносно радіологічно небезпечного з точки зору впливу на людину і біоту радіонукліда ^{137}Cs , який викидається з АЕС при штатній роботі (ситуація запланованого опромінення).

Для спрощення розрахунків вважалося, що за роки функціонування ЗАЕС (> 30 років) потік ^{137}Cs на ґрунт був приблизно постійний й рівномірний (в дійсності це приблизно виконується), що сприяло встановленню рівноваги між осадженням і поглинанням РН ефективним шаром ґрунту. В такому разі, в середньому за рік в обсязі ґрунтового шару утворюється концентрація (об'ємна активність) ^{137}Cs , яка дорівнює $1,25 \times 10^3$ Бк/ м^3 . При площі району III $1,2 \times 10^8 \text{ м}^2$, радіоємність (активність) його ґрунтового шару по відношенню до ^{137}Cs , яка буде сформована за рік, складе $\approx 10^9$ Бк, а максимальна радіоємність ґрунтового шару завтовшки $\approx 0,1$ м, в якому в основному накопичується станційний цезій, буде дорівнювати $\approx 10^{10}$ Бк.

В цій же роботі [16] на основі даних про радіоємність ґрунту визначена потужність дози зовнішнього

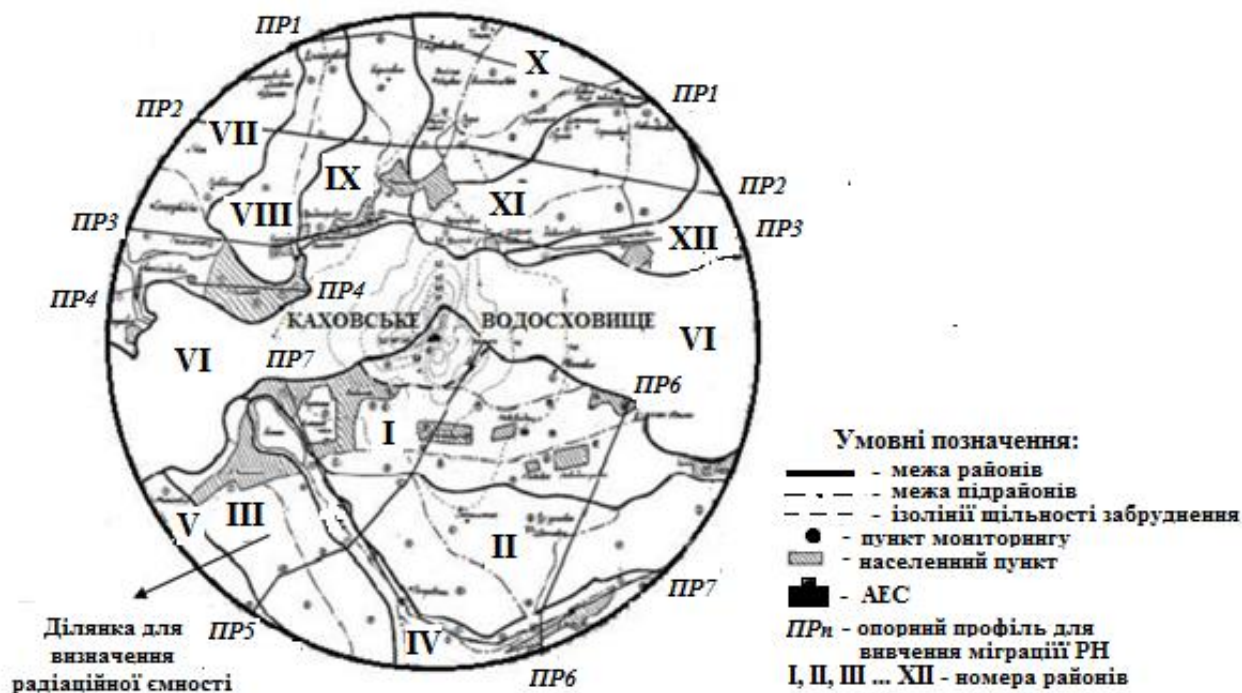


Рис. 1. Картосхема районування зони спостереження Запорізької АЕС та розташування ділянки для визначення радіаційної ємності

опромінення для населення, яке проживає на території вибраної ділянки, за рахунок γ – активності радіонукліда ^{137}Cs , накопиченого за рік в поверхневому шарі ґрунту. Розраховане значення потужності поглиненої дози становило 40,0 мкГр/рік, що збігається із встановленою НРБУ-97 квотою ліміту еквівалентної дози опромінення осіб категорії В за рахунок викидів АЕС (40 мкЗв/рік). **Це означає, що радіаційно-гігієнічний норматив для групи осіб категорії В, яка мешкає в досліджуваному районі зони спостереження ЗАЕС, виконується.**

Якщо узагальнити дані про радіаційну ємність всіх компонентів ландшафтів, які є в зоні спостереження АЕС, то можна визначити безпечний для людини рівень максимального накопичення радіонуклідів на території навколо АЕС, яка працює в штатному режимі, тобто проведення радіаційно-гігієнічного нормування.

2. Визначення радіаційного ризику зовнішнього опромінення людини та біоти.

Знаючи радіаційну ємність ландшафтних компонентів, можна оцінити радіаційний ризик для населення та біоти від радіаційного забруднення території навколо АЕС.

У роботі [16] розраховано індивідуальний радіаційний ризик від зовнішнього опромінення населення, що проживає на території ділянки зони спостереження ЗАЕС, яка вище розглядалася при визначенні радіаційної ємності ландшафтного компоненту (ґрунту). Будемо вважати, що ризик формується за рахунок забруднення ґрунту станційним

^{137}Cs . Скористаємося методикою [18], в якій довічний радіаційний ризик від техногенного опромінення протягом року від зовнішнього опромінення $R_{\text{ext,si}}$, обумовленого радіонуклідом, що міститься у ґрунті, рекомендується визначати за формулою:

$$R_{\text{ext,si}} = r_{\text{ext,si}} \times T_{\text{stay}} \times C_{\text{soil,i}}$$

де $r_{\text{ext,si}}$ – коефіцієнт радіаційного ризику при забрудненні ґрунту i -м радіонуклідом, значення якого наводиться у [15];

T_{stay} – частка часу (з розрахунку на один рік), що проводиться на відкритій місцевості без захисту;

$C_{\text{soil,i}}$ – питома активність i -го радіонукліду у ґрунті, Бк/кг.

Підставляючи у формулу для визначення ризику відповідні значення параметрів ($r_{\text{ext,si}}$ – з таблиці [18], T_{stay} приймаємо рівним 0,3, $C_{\text{soil,i}}$ – беремо з розрахунків радіоємності, маючи на увазі, що це значення питомої активності відноситься до всього ландшафтного компоненту, питома вага чорнозему – 10^3 кг/м^3), отримуємо:

$$R_{\text{ext,si}} = 6,9 \times 10^{-5} \text{ кг / рік} \cdot \text{Бк} \times 0,3 \times 1,25 \text{ Бк / кг} = 2,6 \times 10^{-5} \text{ 1 / рік}.$$

Це значення, отримане на основі моделі радіоємності, визначає індивідуальний радіаційний ризик від зовнішнього опромінення для населення, що проживає на території ділянки, яка розглядається у статті. Воно не перевищує величини індивідуального довічного ризику для населення в умовах нормальної експлуатації АЕС, наведеного в НРБУ-97 ($5,0 \times 10^{-5}$)

та практично збігається з величиною ризику від зовнішнього опромінення населення Запорізької області ($1,1 \times 10^{-5}$), розрахованого у роботі [19].

Отже, знаючи радіаційну ємність компонента ландшафту, можливе визначення не тільки рівня максимального накопичення радіонуклідів у компонентах природного середовища, що знаходяться у зоні впливу штатно працюючої АЕС, але і **дає можливість визначення радіаційного ризику для населення, яке проживає на території навколо радіаційно-небезпечного об'єкту.**

Оцінимо **радіаційний ризик від зовнішнього опромінення наземної біоти**, яка знаходиться на території досліджуваної ділянки зони спостереження ЗАЕС. Будемо вважати, що такий ризик також формується за рахунок забруднення ґрунту ^{137}Cs . Величину ризику будемо оцінювати на основі отриманих раніше даних про радіоємність. У ролі представницького об'єкту біоти виберемо гризунів (миші, кроти), які відносяться до ссавців та хребетних тварин.

Відповідно до рекомендацій Публікації 108 МКРЗ [20], радіаційний ризик для біоти оцінюють за формулою:

$$R_j = D_j / RD,$$

де D_j – потужність дози опромінення j -го представницького об'єкту біоти, Гр/добу (в нашому випадку, як і для людини це 40 мкГр/рік – значення, яке одержано за допомогою даних про радіоємність); RD – контрольний рівень екологічно безпечного опромінення організмів біоти, що дорівнює 0,001 Гр/добу для ссавців, хребетних тварин і сосни.

Підставляючи в формулу числові значення для співмножників, отримуємо, що радіаційний ризик наземної біоти від зовнішнього опромінення, обумовленого радіонуклідом ^{137}Cs , що міститься в ґрунті, дорівнює:

$$R_j = \frac{40 \text{ мкГр} / \text{рік}}{0,0001 \text{ Гр} / \text{доб}} = 1,1 \times 10^{-4} \text{ рік}^{-1}$$

Порівнюючи значення радіаційного ризику для біоти із значенням індивідуального радіаційного ризику для людини в умовах нормальної експлуатації АЕС, бачимо що **при однаковому викиді РН величина радіаційного ризику для біоти на порядок більша. Це в даному випадку означає, що людина є більш радіочутливою, ніж досліджувана біота.**

3. Оцінювання екологічно безпечних викидів АЕС.

На основі відомостей про радіаційний ризик людини і біоти, одержаних з допомогою моделі радіаційної ємності ландшафтного компонента, оцінимо величину екологічно безпечних викидів АЕС, тобто таких викидів, які не впливають негативно на життєдіяльність біоти, даного ландшафтного компонента.

Розрахунок екологічно безпечних викидів АЕС для наземної біоти виконаємо на основі припущення

про те, що при штатних викидах, тобто при ситуації запланованого опромінення, відношення радіаційних ризиків від опромінення людини і біоти прямо пропорційні відношенню викидів, які утворюють ці ризики, а вони пропорційні відношенню радіочутливостей людини і біоти.

Таким чином, припускаємо, що:

$$\frac{R_{\text{ext}}}{R_j} \approx \frac{A_{\text{ext}}}{A_j} \propto K_i$$

де: R_{ext} – радіаційний ризик зовнішнього опромінення населення. У нашому випадку $R_{\text{ext}} \approx 10^{-5}$ 1/рік.

R_j – радіаційний ризик зовнішнього опромінення біоти. У нашому випадку $R_j \approx 10^{-4}$ 1/рік.

A_j – річний викид ^{137}Cs з АЕС, який спричиняє небезпеку (ризик) біоті.

A_{ext} – річний викид ^{137}Cs з АЕС, що спричиняє ризик людині, який відповідає R_{ext} . У нашому випадку $A_{\text{ext}} \approx 10^7$ Бк/рік, тобто дорівнює реальному середньому викиду ^{137}Cs із ЗАЕС за 2008-2018 роки [21].

K_i – коефіцієнт, який показує на скільки радіочутливість людини відрізняється від радіочутливості вибраного виду біоти при опроміненні i -м радіонуклідом.

Звідси:

$$\frac{10^{-5} \text{ 1/рік}}{10^{-4} \text{ 1/рік}} \approx \frac{10^7 \text{ Бк} / \text{рік}}{A_j} \rightarrow A_j \approx 10^8 \text{ Бк} / \text{рік}$$

Це означає, що річний викид ^{137}Cs з АЕС, який буде спричиняти ризик біоті (рівень екологічно безпечного опромінення організмів біоти дорівнює 0,001 Гр/добу для ссавців) приблизно на порядок перевищує рівень реальних викидів, які спричиняють ризик для людини.

Якщо подальші дослідження для різних видів біоти, різних радіонуклідів, різних компонентів ландшафту, опромінення як зовнішнього, так і внутрішнього, підтвердять отриманий результат, то це може стати ще одним доказом того, що **при ситуації запланованого опромінення** (штатна робота АЕС) антропоцентричний принцип протирадіаційного захисту може бути застосований також й для захисту біоти, тобто свідчити про відсутність підстав для відмови від гігієнічного принципу радіаційного захисту на користь екологічного. Але на нашу думку такий висновок не безперечний для ситуацій аварійного та існуючого опромінення і потребує підтвердження.

Наведені у статті підходи до визначення радіаційної ємності ландшафтного компонента, радіаційного ризику для людини і біоти, а також екологічно безпечного викиду АЕС, та отримані результати носять попередній, ілюстративний характер, але, тим не менш, наводяться тут, щоб продемонструвати один з можливих шляхів практичної реалізації рекомендацій Публікації 103 МКРЗ щодо застосування екоцентричного принципу забезпечення радіаційної безпеки навколишнього природного середовища.

Головні висновки:

1. Запропоновано модель радіаційної ємності ландшафту та його компонентів, яка відрізняється від методу визначення концентрацій та моделей радіаційної ємності інших авторів, тим, що вона враховує розміри і властивості як ландшафту, так і його компонентів й дозволяє врахувати масштаби міграції радіонуклідів між компонентами, які є складовими ландшафту в цілому.

2. Показано, що, знаючи радіаційну ємність ландшафтних компонентів, можна визначити рівень максимального накопичення радіонуклідів у компонентах екосистеми, яка перебуває у зоні впливу АЕС, і, зіставляючи його з існуючими нормативами радіаційного впливу на ці компоненти, зробити висновок про необхідність застосування тих чи інших заходів протирадіаційного захисту.

3. Інформація про радіаційну ємність також дозволяє отримувати значення радіаційного ризику від зовнішнього опромінення для населення та наземної біоти, що знаходяться на території зони спостереження АЕС.

4. Оцінювати радіоємність та ризик пропонується на основі даних комплексного радіоекологічного моніторингу території розташування ядерних установок, зокрема АЕС, методологія якого розроблена на кафедрі АЕС Одеського політехнічного інституту (нині Національний університет «Одеська політехніка»). Практичне застосування такої методології

забезпечує рівну точність та представництво результатів вимірювання радіаційних параметрів, що характеризують всю контрольовану територію.

5. Застосовуючи модель радіаційної ємності компонентів ландшафту, що знаходяться в зоні впливу АЕС, та дані розрахунку радіаційного ризику від опромінення людини та наземної біоти, розроблено підхід до визначення викиду радіонуклідів з АЕС, який забезпечує безпечне існування наземної біоти (екологічне нормування) і людини (гігієнічне нормування).

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані у роботі результати можуть бути корисними при розробці спеціальної методології, яка визначатиме систему принципів та способів організації практичної діяльності, спрямованої на захист екосистем від дії іонізуючої радіації, зокрема, за допомогою екологічного нормування, структуру, логічну організацію, методи та засоби такої діяльності.

Слід додати, що оцінювання рівнів забруднення компонентів природного середовища техногенними радіонуклідами, визначення значень радіаційних ризиків для населення та біоти та інших показників стану компонентів природного середовища мають виконуватися на основі даних радіоекологічного моніторингу радіаційної обстановки території, що вивчається, методи якого повинні обов'язково входити до створюваної методології.

Література

1. Рекомендации Международной комиссии по радиологической защите 1990 года. Пределы годового поступления радионуклидов в организм работающих, основанные на рекомендациях 1990 г. Публикации 60 МКРЗ, Ч I. 61 МКРЗ. Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1994. 192 с.
2. Рекомендации Международной комиссии по радиационной защите 2007 года. Публикация 103 МКРЗ. Пер с англ. Под общей ред. М.Ф. Киселёва и Н.К. Шандалы. М.: Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. 344 с.
3. Алексахин Р.М., Фесенко С.В. Радиационная защита окружающей среды: антропоцентрический и экоцентрический принципы. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2004. Т. 44. № 1. С. 93–103.
4. Гудков И.Н., Майдебура О.П. Антропоцентрический, экоцентрический и эксцентрический подходы к радиационной и техногенной безопасности человека и окружающей среды. *Техногенна безпека: Наукові праці. Серія Техногенна безпека*. 2010. Том 139. № 126. С. 4–9.
5. Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь – справочник. М.: Мысль, 1990. С. 306–307.
6. Кутлахмедов Ю.А., Матвеева И.В., Петрусенко В.П. Корогодина В.И. [и др.] Проблемы экологического нормирования и радиационная безопасность биоты экосистем. *Техногенна безпека*. 2009. Т.116. Вып.103. С. 29–33.
7. Агре А.Л., Корогодина В.И. Распределение радиоактивных загрязнений в непроточном водоеме. *Журнал медицинской радиологии*. 1960. Т. 5. № 1. С. 67–73.
8. Поликарпов Г. Г. Радиоэкология морских организмов. Накопление и биологическое действие радиоактивных веществ. М.: Атомиздат, 1964. 295 с.
9. Поликарпов Г.Г. Экологические основы охраны гидросферы от антропогенных воздействий. *Гидробиологический журнал*. 1981. Т. 17. Вып. 6. С. 3–10.
10. Поликарпов Г. Г., Цыцугина В.Г. Гидробионты в зоне влияния аварии на Кыштыме и в Чернобыле. *Радиационная биология и радиоэкология*. 1995. Т. 35. № 4. С. 536–548.
11. Кутлахмедов Ю.А. Дорога к теоретической радиоэкологии. К.: Фитосоцицентр, 2015. 360 с.
12. Публикация № 29 МКРЗ. Выброс радионуклидов в окружающую среду. Расчет доз облучения человека. М., Атомиздат, 1980. 96 с.
13. Барбашев С.В. Система комплексного радиоэкологического мониторинга районов расположения АЭС Украины: дис. ... д-ра техн. наук: 05.14.14. Одесса, 2009. 394 с.
14. Барбашев С.В., Кононович А.Л., Скотникова О.Г., Фесенко С.В. Радиационная емкость почвы. *Радиационная и экологическая безопасность предприятий ядерного топливного цикла*. Одесса: УкрЯО, 1995. Вып. 1. С. 72–80.
15. Барбашев С.В., Гладун Н.С. Радіаційна ємність екосистем та екологічне нормування радіаційного впливу АЕС. *Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку*: збірник

матеріалів Третьої Міжнародної науково-практичної конференції, 22-23 жовтня 2020, м. Херсон, Україна – Херсон : «ОЛДІ-ПЛЮС», 2020. С. 41–44.

16. Барбашев С.В., Гладун Н.С. Оценка радиационного риска внешнего облучения населения на основе данных о радиоёмкости почвенного слоя, загрязненного радионуклидами. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*: збірник наукових статей XVI Міжнародної науково-практичної конференції, 14-18 вересня 2020 р. Харків: ПП «Стиль-Іздат», 2020. С. 29–35.
17. Барбашев С.В., Пристер Б.С. Оценка воздействия Запорожской АЭС на окружающую среду на основе данных комплексного радиоэкологического мониторинга. *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*. 2017. Т. XXVIII. № 6. С. 52 – 74.
18. Рекомендации Р 52.18.787-2013. Методика оценки радиационных рисков на основе данных мониторинга радиационной обстановки. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2014. 108 с.
19. Костенецький М.І., Севальнев А.І., Куцак А.В. Оцінка ризику наслідків опромінення для населення Запорізької області. *Вісник проблем біології і медицини*. 2018. Вип.4. том 1(146) С. 40 –44.
20. ICRP Publication 108. Environmental protection: the concept and use of reference animals and plants. Ann. ICRP. 2009. V. 38. No. 4. P. 1–242.
21. Звіт з періодичної переоцінки безпеки енергоблоку № 5 ВП ЗАЕС. Фактор безпеки № 14. Вплив експлуатації на навколишнє середовище. Київ, Енергодар: ДП НАЕК «Енергоатом», ВП «Запорізька АЕС», 2019. С. 37 –38.

УДК 622:628.339:628.386

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.5-44.23>

DEVELOPMENT OF A RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY FOR INTEGRATED PROCESSING OF HIGHLY MINERALIZED MINE WATER IN THE ENTERPRISES OF THE KRYVYI RIH IRON ORE BASIN

Kulikova D.V.

Dnipro University of Technology
D. Yavornytskyi ave. 19, Dnipro, 49005
kulikova.d.v@nmu.one

In terms of the intensity, scale and negative consequences of the impact on the ecological state of the hydrological system of the Kryvyi Rih iron ore basin, the leading place belongs to enterprises and facilities of the mining industry. First of all, the discharge of untreated or insufficiently treated wastewater from industrial enterprises has a significant impact. Under such conditions, the surface waters of the Ingulets and Saksagan Rivers, within the limits of the Kryvyi Rih iron ore basin, have practically lost their natural properties. Firstly, their hydrological regime has changed, and secondly, the salt and microcomponent composition has undergone significant changes. An analysis of the existing desalination methods showed that not all methods are suitable for the demineralization of mine waters with a high salt content and / or with a large volume of mine waters, as in the case of Kryvyi Rih. A resource-saving technology for the complex processing of highly mineralized mine waters by mining enterprises of the Kryvyi Rih iron ore basin has been developed. Of all the known methods of water desalination, the only potentially technically and economically feasible method in this case is reverse osmosis in combination with evaporation and crystallization. The proposed processing technology is based on the successive application of several stages, namely: pre-treatment of polluted mine waters by coagulation and soda-lime softening; desalting at a reverse osmosis plant; evaporation of the reverse osmosis concentrate in an evaporator with further evaporation of the salt concentrate in a vacuum crystallizer; dehydration of salt sludge in a centrifuge with additional drying of salt crystals in a rotary disk dryer. The introduction of the proposed technology makes it possible to obtain demineralized water, the hydrochemical parameters of which correspond to the quality standards of surface water bodies, and marketable mineral products that can be used as valuable raw materials for the needs of the national economy. *Key words:* mining enterprises, highly mineralized mine waters, water desalination methods, resource-saving technology, water quality standards.

Розробка ресурсозберігаючої технології комплексної переробки високомінералізованих шахтних вод підприємств Криворізького залізорудного басейну. Кулікова Д.В.

За інтенсивністю, масштабами й негативними наслідками впливів на екологічний стан гідрологічної системи Криворізького залізорудного басейну провідне місце належить підприємствам і об'єктам гірничодобувної галузі. Перш за все, суттєво впливає скид неочищених або недостатньо очищених стічних вод промислових підприємств. За таких умов поверхневі води річок Інгулець та Саксагань, в межах Криворізького залізорудного басейну, практично втратили свої природні властивості. По-перше, змінився їхній гідрологічний режим, по-друге, суттєвих змін зазнав соловий та мікрокомпонентний склад. Аналіз існуючих способів опріснення та знесолення показав, що не всі методи придатні для демінералізації шахтних вод із високим вмістом солей та/чи з великим обсягом шахтних вод, як у випадку Кривого Рогу. Розроблено ресурсозберігаючу технологію комплексної переробки високомінералізованих шахтних вод гірничодобувних підприємств Криворізького залізорудного басейну. З усіх відомих способів знесолення води єдиним потенційно технічно та економічно доцільним методом у цьому випадку є зворотний осмос в поєднанні з випарюванням та кристалізацією. Запропонована технологія переробки оснований на послідовному застосуванні декількох стадій, а саме: попередньої обробки забруднених шахтних вод методами коагуляції та содо-вапняного пом'якшення; знесолення на установці зворотного осмосу; випарювання концентрату зворотного осмосу у випарному апараті з подальшим випарюванням солового концентрату у вакуум-кристалізаторі; зневоднення солового шламу на центрифугі з досушуванням кристалів солей в роторно-дисковій сушарці. Впровадження запропонованої технології дозволяє отримати знесолену воду, гідрохімічні показники якої відповідають нормативам якості поверхневих водоем, та товарні мінеральні продукти, що можуть використовуватися в якості цінної сировини на потреби народного господарства. *Ключові слова:* гірничодобувні підприємства, високомінералізовані шахтні води, методи знесолення води, ресурсозберігаюча технологія, нормативи якості води.

Formulation of the problem. Mining enterprises have a significant negative impact on water bodies [1, 2]. Its consequence is a constant reduction in reserves and deterioration in the quality of water resources, as a result of pumping and discharging untreated mine and quarry waters into surface water bodies.

In 2020 alone, mining enterprises discharged 191 million m³ of mine and quarry water into surface water

bodies and watercourses of Ukraine [3], most of which is classified as polluted. The most negative impact on surface water bodies is the discharge of a large amount of mineralized mine water.

Research topicality. The aggravation of the shortage of drinking and technical water against the background of increasing technogenic pollution of the environment in a number of mining towns and villages cast doubt on

the possibility of further implementation of long-term plans for the development of the mining industry without ensuring environmental safety requirements in terms of the protection and rational use of water resources.

This problem is extremely relevant for the conditions of the Kryvyi Rih iron ore basin, the needs of which in high-quality drinking water are not provided by local sources of water supply, and the degree of degradation of water resources due to excessive pollution by highly mineralized (up to 40 g/dm³) mine waters with a high chloride content (up to 20 g/dm³) significantly exceeds similar indicators in other regions [4].

Relation of copyright work with important scientific and practical tasks. Today, mineralized mine waters are of limited use in the industrial water supply of mines and related industries and are mainly discharged into natural reservoirs. In this case, soil salinization and a change in the hydrochemical composition of storage reservoirs occur, which requires additional costs for the elimination of such technogenic consequences. In addition, the discharge of mineralized mine waters has a detrimental effect on the flora and fauna of water bodies.

Until now, among the main technical methods of mine water treatment is their settling in storage ponds with further discharge into water bodies. Additional methods for filtration and reagent water treatment can reduce the content of colloidal substances and iron in it.

The treatment facilities operating at the mining industry enterprises are not designed to remove dissolved mineral salts from mine waters, and the methods and technologies known in world practice to reduce the mineralization of natural and waste water have not been widely used in continental conditions. In connection with the above, the problem of purification (processing) of mineralized mine waters of mining enterprises is quite relevant. Its solution has an important scientific and practical significance.

Analysis of recent research and publications. The existing methods of water desalination are divided into two main groups: with and without changes in its state of aggregation [5-11].

The first group of methods includes distillation, heating water to a supercritical temperature (350 °C), freezing, and the gas hydrate method. The second group of methods includes ion exchange, electrodialysis, reverse osmosis (hyperfiltration), ultrafiltration, extraction, and others.

The oldest methods for obtaining demineralized water (distillate) are thermal methods – distillation and evaporation.

The basis of the process is the transfer of water into the vapor phase with its subsequent condensation. The most important advantage of this method is the minimal amount of reagents used and the volume of waste that can be obtained in the form of solid salts. However, the method also has a number of significant drawbacks. For example, high water consumption, salt deposits on

equipment, which makes it difficult to maintain, high energy consumption.

Most often, water desalination is carried out by ion exchange. Until some time, ion exchange was considered the most developed and reliable method of water desalination. The essence of the process is to replace hardness salt ions with sodium ions. By selecting ion exchangers, the degree of their regeneration and the number of purification steps, it is possible to achieve the required depth of water purification of almost any initial composition. The method is good in many respects, but sometimes it is economically unprofitable. In many ways, the choice of this method will depend on the initial indicator for the amount of salts in the water. During desalination by ion exchange, the volume of ion exchangers and equipment, as well as the consumption of reagents, grow in proportion to the salt content of water, that is, capital and operating costs increase. Due to the complexity of operations for the separation of a mixture of ion exchangers and their regeneration, such devices are used mainly for the purification of low-salinity waters. It should be taken into account that salts are found in a small volume of regenerates, respectively, in a high concentration. The direct discharge of such wastes is prohibited, since regenerates, as a rule, have a pH value that is different from the standards, which requires additional costs for their neutralization.

Extraction of dissolved substances from water can be carried out by membrane methods. In this case, the degree of desalination is determined by the membrane selectivity. Usually, when desalination of water, two methods of membrane separation are considered – nanofiltration and reverse osmosis. With nanofiltration, partial desalination of water is achieved. More complete desalination provides high and low pressure reverse osmosis. The total degree of desalination depends on the cationic and anionic composition of water and is approximately 50-70% for nanofiltration, 80-95% for low-pressure reverse osmosis, and 98-99% for high-pressure reverse osmosis. In reverse osmosis, the performance of membrane elements, energy consumption and, accordingly, capital and operating costs are slightly dependent on the salt content. However, during the operation of reverse osmosis plants, an additional source of pollution in the discharges is compounds for chemical washing of reverse osmosis membranes.

Selection of previously unresolved tasks of the general problem. When developing a technological scheme for the treatment of mineralized wastewater, demineralization processes cause the greatest difficulties.

An analysis of the existing methods of water desalination showed that not all methods are suitable for the demineralization of mine waters with a high salt content and/or with such a large volume of mine waters, as in the case of Kryvyi Rih. The choice of desalination method is based on the quality and quantity of water supplied for treatment and the requirements for the quality of purified water, plant capacity, as well as technical and

economic aspects. As a rule, to obtain purified wastewater that would meet the requirements of environmental safety [12, 13], it is not enough to use any one method, and therefore, a combination of several physicochemical methods is necessary.

The research novelty lies in the fact that the development of a resource-saving technology for the complex processing of highly mineralized mine waters of the mining enterprises of the Krivoy Rog iron ore basin makes it possible to obtain demineralized water, the hydrochemical parameters of which correspond to the quality standards of surface water bodies, and marketable mineral products that can be used as valuable raw materials for the needs of the national economy.

Methodological or general scientific significance.

Compliance with the "Rules for the protection of surface waters from pollution by recycled waters" [14] through the introduction of the proposed technology for the complex processing of highly mineralized mine waters allows the ability of self-purification of water bodies and watercourses to be fully manifested, which leads to the preservation of the purity of water bodies and the sanitary improvement of adjacent territories.

Outline of the main material. The Kryvyi Rih iron ore basin is the largest basin in Ukraine with rich iron ore deposits. It is considered the main mining center of the country, which is located on the territory of the Dnipropetrovsk region.

Recently, the mining enterprises of the Kryvyi Rih iron ore basin annually pump out about 40 million m³ of wastewater to the surface, among which 21-22 million m³ of quarry water and 16-17 million m³ of highly mineralized mine water. Basically, these are waters with a high content of chlorides, sulfates, sodium, potassium, magnesium and calcium ions with an increased level of total mineralization from 5 to 96 g/dm³. The average value of the total mineralization is 40 g/dm³ [4].

Approximately 28-30 million m³ of mine and quarry water per year is used to replenish the circulating water supply systems at mining and processing plants. The rest (10-12 million m³) of mine water is annually accumulated and temporarily contained in the storage pond located in the Svistunov gully [15, 16].

Periodic discharge of mine water residues from the storage pond leads to a temporary deterioration in the qualitative composition of the surface runoff of the Ingulets River until it is flushed. Firstly, its hydrological regime changes, and secondly, its salt and microcomponent composition changes significantly. The surface waters of the Ingulets River are significantly overfilled with chlorides, sulfates, nitrates, nitrites, and other pollutants [17].

Based on the description of various methods of water desalination, the following conclusions can be drawn. Of all the above methods of water desalination, the only potentially technically and economically feasible method in this case is reverse osmosis combined with evaporation and crystallization.

These methods are the most commonly used technologies for conditions similar to mine water conditions in the Kryvyi Rih iron ore basin.

The use of the technology has several advantages:

- water does not undergo phase transitions (evaporation or freezing), which ensures low energy costs when using this method, in comparison with other known demineralization technologies;
- high selectivity of polyamide membranes (96-99.8%);
- relatively low operating costs;
- simplicity of the technological process;
- technically simple control over the quality of purified water (for example, electrical conductivity);
- reverse osmosis provides complete bactericidal treatment of water due to the combined processes of demineralization and disinfection, as a result of the small diameter of the membrane pores, which do not let in not only salt ions, but also bacteria, spores and viruses. However, when water is discharged into the water supply system, it must undergo disinfection.

The technological process of purification of mineralized mine waters of mining enterprises of the Kryvyi Rih iron ore basin includes the following main stages:

- receiving and averaging of incoming mine water;
- reagent lime-soda softening and clarification of mine water, which is supplied for treatment, with separation of the resulting suspension by settling and additional filtration on granular filters;
- membrane desalination of mine waters with preliminary pH adjustment;
- treatment of reverse osmosis concentrate by evaporation on an evaporator unit;
- concentration of saturated brine after the evaporation unit in a vacuum crystallizer;
- centrifugation of a suspension of crystalline salts (sodium chloride);
- final drying of crystalline salts (sodium chloride) to a moisture content of 15-20%.

The proposed technology for the complex processing of highly mineralized mine waters of the mining enterprises of the Kryvyi Rih iron ore basin is shown in Fig. 1.

The proposed technology for the complex processing of highly mineralized mine waters, which are pumped to the surface by the mining enterprises of the Kryvyi Rih iron ore basin, will work 24 hours a day, 365 days a year.

The supply of highly mineralized mine water for processing is 16 million m³/year. The average value of the total mineralization is taken to be 40 g/dm³ [4].

In the process of mine water preliminary treatment in contact clarifiers, suspended and colloidal substances, calcium and magnesium compounds are removed from the effluents, which will be concentrated in the sludge fraction. The specified sludge after compaction and filtering on a filter press can be used as a raw material for the manufacture of cement and other construction mixtures.

During the reverse osmosis process, approximately three-quarters of the water used for desalination are con-

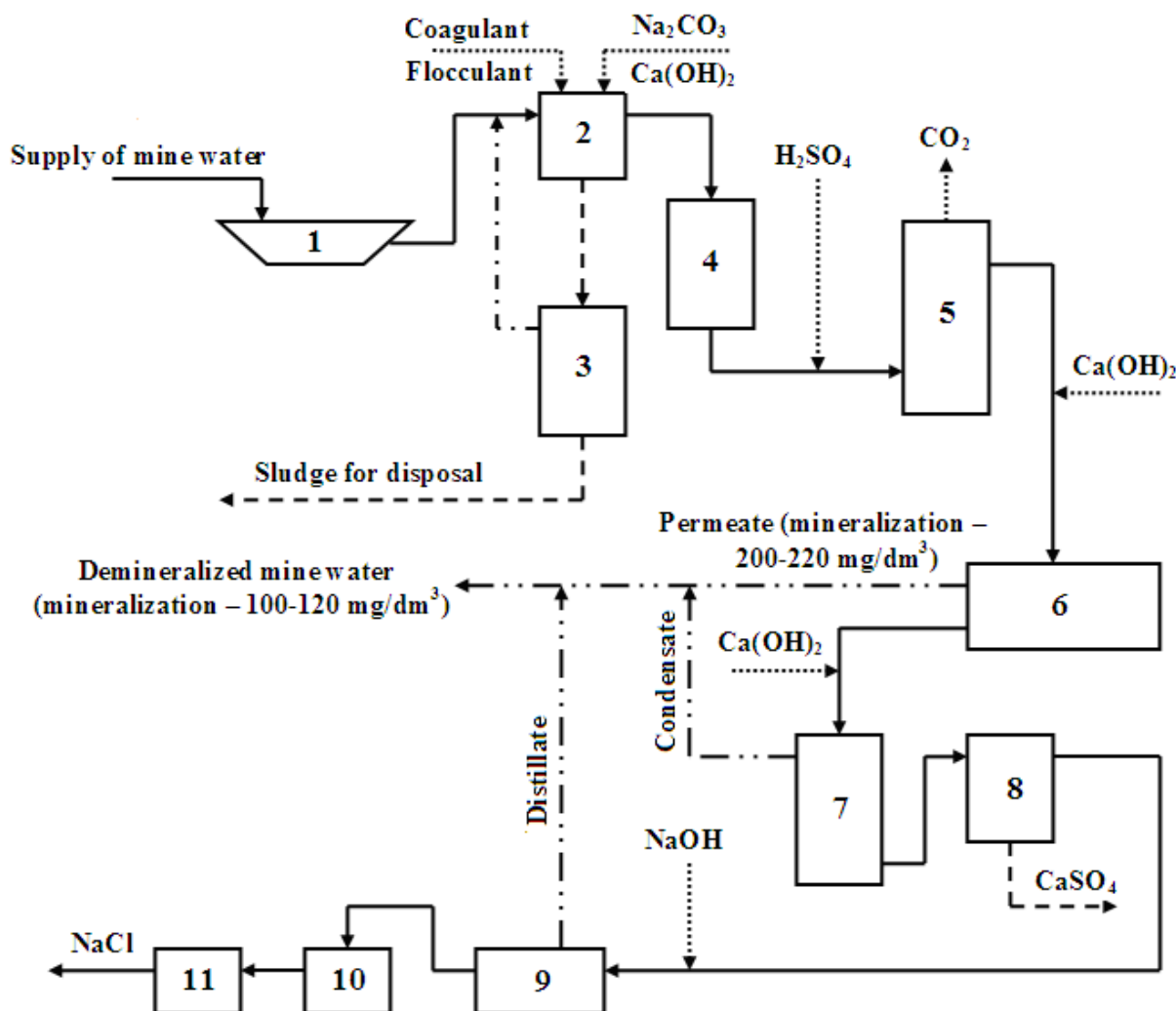


Fig. 1. Resource-saving technology of complex processing of highly mineralized mine waters of mining enterprises of Kryvyi Rih iron ore basin

1 – mine water storage pond; 2 – contact clarifier for wastewater; 3 – coagulation sludge press filter; 4 – two-layer filter with granular loading; 5 – decarbonizer; 6 – reverse osmosis plant; 7 – evaporation plant; 8 – clarifier for settling calcium sulfate crystals; 9 – crystallizer; 10 – salt sludge dewatering centrifuge; 11 – dryer

verted to demineralized water. We accept that this value will be approximately 70%. Thus, at the outlet of the reverse osmosis unit will be formed approximately 11.2 million m^3/year of demineralized water and 4.8 million m^3/year of highly concentrated brine, respectively.

The resulting highly mineralized brine (with a salt content of about 80 g/dm^3) enters the last stage of the desalination process – evaporation/crystallization. During this process, approximately 93.5% of the consumption of highly concentrated salt solution entering the crystallizer is converted to demineralized water. Thus, at the outlet of the vacuum crystallizer will be formed approximately 4.49 million m^3/year of demineralized water and 0.31 million m^3/year of solid salt product, respectively. At the same time, the average allowable density of the salt (solid product) is 2.16 kg/dm^3 . Therefore, the approximate amount

of solid product (mineral salts) formed after the complex processing of highly mineralized mine waters of the mining enterprises of the Kryvyi Rih iron ore basin using the proposed technology will be about 669,600 tons.

The product obtained in the course of complex processing is a mixture of mineral salts, mainly sodium chloride, which can later be used as a water softening agent or in public utilities as a technical salt.

In addition, calcium sulfate (the so-called alabaster, gypsum), which is released from a concentrated salt solution after evaporation in a clarifier, can be used later in construction for the manufacture of dry plaster, slabs and panels for partitions, etc. It can also be used in medicine for the manufacture of plaster bandages, which provides the fixation of individual parts of the body, and in art, mainly in sculpture and architecture.

Thus, after the complex processing of highly mineralized mine waters using the proposed technology, approximately 15.69 million m³ of demineralized water and about 0.31 million m³ of solid salt product will be obtained, which, in terms of mass, will be 670 thousand tons.

Consequently, the proposed technology for the complex processing of highly mineralized mine waters can be considered practically waste-free, since all impurities are removed from the water in the form of valuable raw materials.

Conclusions. The paper solves an urgent practical problem, which consists in the development of a resource-saving technology for the complex processing of highly mineralized mine waters of the mining enterprises of the Kryvyi Rih iron ore basin.

After complex processing of highly mineralized mine waters using the proposed technology, approximately 15.7 million m³ of demineralized water with a salt content of 0.1-0.5% of their initial concentration and about 0.31 million m³ of solid salt product will be obtained, which, in terms of mass, will be 670 thousand tons.

Perspectives for the further use of research results.

The introduction of the proposed technology makes it possible to obtain demineralized water, the hydrochemical parameters of which correspond to the quality standards of surface water bodies, and marketable mineral products that can be used as valuable raw materials for the needs of the national economy.

References

1. Kulikova, D.V., Pavlychenko, A.V. Estimation of ecological state of surface water bodies in coal mining region as based on the complex of hydrochemical indicators. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2016. № 4. pp. 62-70.
2. Kulikova, D., Kovrov, O., Buchavy, Y., Fedotov, V. GIS-based Assessment of the Assimilative Capacity of Rivers in Dnipropetrovsk Region. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2018. 27(2). pp. 274-285.
3. Статистичний збірник «Довкілля України за 2019 рік». Київ: Державна служба статистики, 2020. 200 с.
4. Індивідуальний регламент періодичного скидання надлишків зворотних вод гірничорудних підприємств Кривбасу у міжвегетаційний період 2018-2019 рр. К.: ПРАТ «Укрводпроект», УкрНДІЕП, 2018. 141 с.
5. Гребенкин С.С., Костенко В.К., Матлак Е.С. Физико-химические основы технологии деминерализации шахтных вод: Монография. Донецк: «ВИК», 2008. 287 с.
6. Резников Ю.Н., Львов В.Г., Кульченко В.В. Шахтные и карьерные воды: кондиционирование, использование, обессоливание и комплексная переработка. Донецк: Изд-во «Каштан», 2003. 242 с.
7. Хорольський А.О., Лапко В.В., Саллі В.С., Мамайкін О.Р. Вибір технології демінералізації стічних вод, як складової технологічних потоків вугільних шахт. *Збірник наукових праць НГУ*. 2020. № 63. С. 61-73.
8. Бурдо О.Г., Офатенко О.О., Крутий Г.О. Аналіз процесів демінералізації води. *Наукові праці*. 2009. 36(2). С. 230-234.
9. Фрог Б.Н., Первов А.Г. Водоподготовка: Учебник для вузов. М.: Изд-во АСВ, 2015. 512 с.
10. Гіроль М.М., Гіроль А.М., Гіроль А.М. Технології водовідведення промислових підприємств: навчальний посібник. Рівне: НУВГП, 2013. 625 с.
11. Запольський А.К. Водовідведення, водопостачання та якість води: навчальний посібник. Київ: Вища школа, 2005. 671 с.
12. Державні санітарні норми та правила «Допустимі дози, концентрації, кількості та рівні вмісту пестицидів у сільськогосподарській сировині, харчових продуктах, повітрі робочої зони, атмосферному повітрі, воді водоймищ, ґрунті» (ДСанПіН 8.8.1.2.3.4-000-2001). Постанова Головного державного санітарного лікаря України від 20.09.2001. № 137. 376 с.
13. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10) Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 12.05.2010. № 400. 49 с.
14. Про затвердження Правил охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами: Постанова Кабінету Міністрів України від 25 березня 1999 р. № 465.
15. Антонов А.Н. Возможность сброса минерализованных вод предприятий горно-металлургического комплекса Кривбасса в рр. Ингулец и Саксагань. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2000. № 1. С. 64-67.
16. Євтушенко М.Ю., Захаренко М.О., Шевченко П.Г. Оцінка впливу техногенних навантажень на екологічний стан водогосподарської системи річок Інгулець і Саксагань з урахуванням щорічного скиду надлишків зворотних вод гірничорудних підприємств Кривбасу. К.: НАНУ Національний аграрний університет. Інститут гідробіології. 2001. 157 с.
17. Хільчевський В.К., Кравчинський Р.Л., Чунарьов О.В. Гідрохімічний режим та якість води Інгульця в умовах техногенезу. К.: Ніка-Центр, 2012. 180 с.

МОРФОЛОГІЧНА ДЕНДРОІНДИКАЦІЯ РІВНЯ ТЕХНОГЕННОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЕКОТОПІВ ЗОЛОШЛАКОВІДВАЛІВ БУРШТИНСЬКОЇ ТЕС

Семак У.Й., Миленка М.М.

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
вул. Шевченка, 57, 76000, Івано-Франківськ
ulianasemak@gmail.com, mulenka.m@gmail.com

Запропоновано алгоритм оцінки рівня техногенної трансформації екотопів Бурштинської ТЕС за морфологічними реакціями *Populus tremula* L., *Salix caprea* L., *Betula pendula* Roth. У ході дослідження здійснено аналіз морфометричних показників листових пластинок видів-індикаторів. Охарактеризовано зміну форми листових пластинок на території золошлаковідвалів Бурштинської ТЕС. Для морфологічного аналізу використано коефіцієнт форми та коефіцієнт видовженості, що відображають ступінь модифікації листків. Показано, що морфометричні коефіцієнти листових пластинок в умовах високих рівнів антропопресії визначаються видовою специфічністю. Так коефіцієнт видовженості відобразив високі рівні техногенного навантаження на золошлаковідвалах тільки у одного модельного виду – *P. tremula*. Коефіцієнт форми виявився чутливим показником техногенного навантаження у *P. tremula* та *B. pendula*, проте залишається стабільним в умовах стресу у *S. caprea*. Досліджено зміну площі та рівня некротизації листків в умовах впливу факторів техногенно трансформованого середовища. В усіх трьох моніторингових видів спостерігається зменшення площі листків у стресових умовах – найбільше скорочення площі зафіксовано у *S. caprea*, найменше – у *B. pendula*. Досліджено рівень некротизації листових пластинок, що на золошлаковідвалах коливається в межах від 18.65 % до 11.17 %. Найчастіше тут трапляється некроз типу «риб'ячий скелет». Найвищий рівень ушкодження некрозами спостерігався у *P. tremula*, найнижчий – у *S. caprea*. Встановлено диференційну стійкість видів-індикаторів за ушкодженням асиміляційного апарату: *Salix caprea* L. < *Betula pendula* Roth. < *Populus tremula* L. (у спаданні зростання стійкості). Така ж тенденція щодо некротичних уражень. Морфологічні коефіцієнти, показники площі асиміляційного апарату та рівень його ушкодження доцільно використовувати у фітоіндикаційних дослідженнях. **Ключові слова:** дендроіндикація, техногенний екотоп, листкова пластинка, коефіцієнт видовженості, коефіцієнт форми, площа асиміляційної поверхні, некротизація.

Morphological dendroindication of the level of technogenic transformation of ecotopes of ash and slag dumps of Burshtyn TPP.
Semak U., Mylenka M.

An algorithm for estimating the level of technogenic transformation of ecotopes of Burshtyn TPP by morphological reactions of *Populus tremula* L., *Salix caprea* L., *Betula pendula* Roth is proposed. In the course of the research the analysis of morphometric indicators of leaf plates of species-indicators was carried out. The change in the shape of leaf blades on the territory of ash and slag dumps of Burshtynka TPP is observed. For morphological analysis, the shape coefficient and the elongation coefficient were used, which reflect the degree of leaf modification. The lability and bioindication informativeness of the calculated coefficients of morphological indicators are revealed. It is shown that morphometric coefficients of leaf blades are determined by species specificity in conditions of high levels of influence of technogenic factors. The elongation coefficient is an informative indicator only for *P. tremula*, and the form coefficient indicator is for *P. tremula* and *B. pendula*. The least suitable for bioindication by morphometric parameters of the leaf blade is *S. caprea*. The change of the area and level of necrotization of leaves in the conditions of influence of factors of technogenic transformed environment is investigated. The decrease in leaf area in the conditions of ash-slag dump is most pronounced for *S. caprea*, and the lowest – for *B. pendula*. The level of necrotization of the studied species ranges from 18.65 % to 11.17 %. «Fish skeleton» necrosis is the most common, indicating the highest levels of phytotoxicants. The highest levels of leaf blade necrotization in the ash-slag dump are observed for *P. tremula*, and the lowest – for *S. caprea*. The differential stability of indicator species according to the damage of the leaves was established: *Salix caprea* L. < *Betula pendula* Roth. < *Populus tremula* L. (in decreasing growth of resistance). The same trend for necrotic lesions: *P. tremula* was the most sensitive species, and *S. caprea* was the least sensitive. Morphological coefficients, indicators of the area of the leaf blade and the level of its damage could be used in phytoindication studies. **Key words:** dendroindication, technogenic ecotope, leaf blade, elongation coefficient, shape coefficient, assimilation surface area, necrotization.

Постановка проблеми. Для оцінки техногенно порушених екотопів зручним методом є використання морфометричних параметрів рослин. Найбільш інформативним об'єктом є листові пластинки, що відображають функціональний стан рослинного організму [1; 2].

Типовими реакціями асиміляційного апарату в умовах поєднання природних і антропогенних факторів є зменшення морфометричних розмірів

листків, виникнення хлорозів та некрозів, в'янення листя, дефоліація [1-13]. Серед морфопараметрів, які доцільно використовувати як критерії стану дендробіоти – параметри площі, довжини та ширини, а також зміна форми листків [2; 6; 13].

Зміна форми листових пластинок, їх деформація, а також некрози і хлорози як результати гострого та хронічного впливу токсикантів є індикаційними реакціями рослин на дію стресових факторів техно-

генно-трансформованого середовища. Виникнення некрозів та хлорозів є наслідком надмірного забруднення фітотоксичними сполуками і свідчить про функціональні порушення у рослинному організмі [6]. Зростання дехромаційних та некротичних уражень листків відмічено у низці досліджень [3; 6; 8-13].

Площа листків виступає інформативним показником стану рослинного організму, оскільки листки володіють найвищою акумулятивною здатністю щодо поллютантів [2]. Пригнічення ростових процесів та зменшення площі перебувають у прямій залежності від ступеня забруднення [1; 8; 11].

Актуальність дослідження. Морфологічні параметри рослинних організмів в зоні впливу промислового об'єкту є інтегральним показником їх функціонального стану, який перебуває у прямій кореляційній залежності з техногенним навантаженням на біоту. Дослідження ступеня видової чутливості щодо факторів техногенного навантаження, дозволить виділити ті види, які є найбільш перспективними для біоіндикаційних досліджень. Водночас, зважаючи на санітарно-гігієнічну роль деревних рослин, вивчення їх стану в умовах техногенного пресингу, сприятиме виявленню антропоотолерантних видів для подальшого використання при здійсненні заходів оптимізації навколишнього середовища.

Матеріали та методи дослідження. Об'єкт дослідження – рівень техногенної трансформації екотопів золошлаковідвалів Бурштинської ТЕС. Матеріали дослідження – листки найбільш поширених на дослідній території дослідних видів – *Populus tremula* L., *Salix caprea* L., *Betula pendula* Roth.

Дослідження проводили на діючому золошлаковідвалі № 3 Бурштинської ТЕС. Територія золошлаковідвалу характеризується несприятливою екологічною ситуацією: в едафотопях відмічено накопичення важких металів, зміну природного радіоактивного фону [14]. Вивітрювання та розсіювання твердих часток різного ступеня дисперсності з поверхні чаш золовідвалів зумовлює аеротехногенне забруднення довкілля. Внаслідок потрапляння золошлакових матеріалів з чаш золовідвалів до поверхневих та ґрунтових вод, відбувається зміна їх хімічних показників.

За фонову територію обрано Галицький національний природний парк (ГНПП). Обсяг вибірок на дослідних ділянках становив 250 листків для кожного із досліджуваних видів. Відбір листків здійснювали наприкінці вегетаційного періоду, з гілок одного порядку галуження, розташованих на висоті 1-2 м над поверхнею ґрунту.

Для морфологічної оцінки стану вегетативних органів рослин перспективним є використання сучасних інформаційних технологій. Комп'ютерна обробка зображень дає більш точні результати, а також суттєво спрощує процес опрацювання даних.

Свіжозрізані листки дигіталізували та використовуючи програмний пакет CoralDRAW X6, вимірювали лінійні показники та показники площі (рис. 1).

Коефіцієнт видовженості визначали як відношення довжини листової пластинки до її ширини.

При обчисленні коефіцієнта форми (K_f) листової пластинки за ознакою площі їх частин розділяли листову пластинку поперечним перерізом на рівні

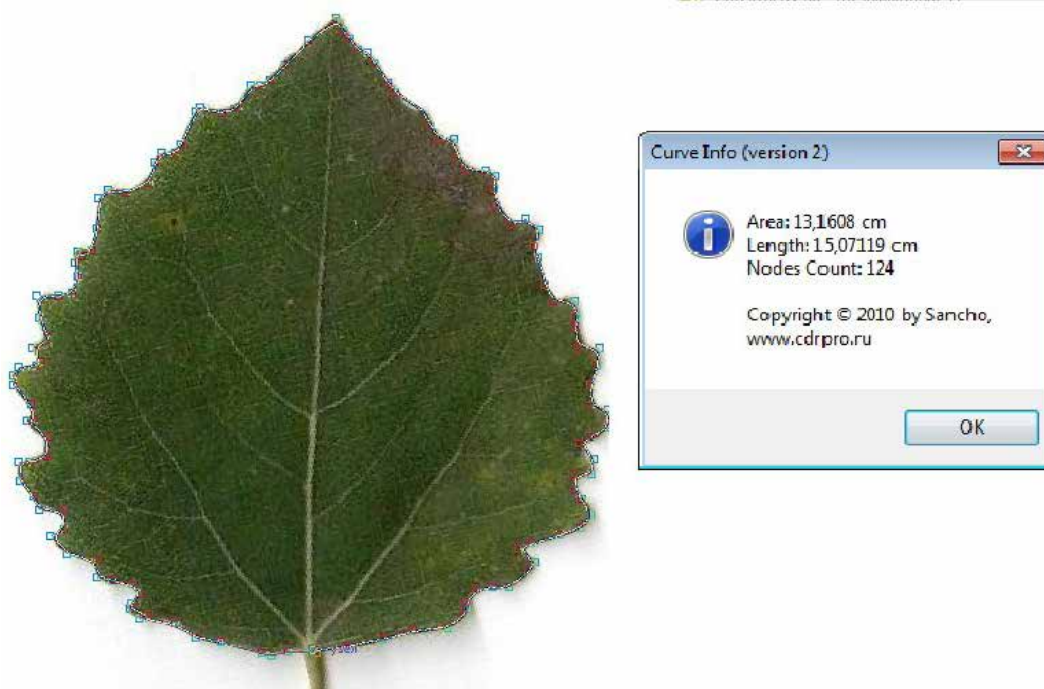


Рис. 1. Використання CoralDRAW X6 для вимірювань морфологічних показників листових пластинок

пів довжини й обчислювали значення K_F як відношення площі верхньої частини до нижньої:

$$K_F = S_t \cdot S_b^{-1},$$

де S_t – площа верхньої частини листкової пластинки, cm^2 ; S_b – площа нижньої частини, cm^2 [2].

Біометричний аналіз даних проведено методами математичної статистики. Достовірність одержаних результатів оцінювали за допомогою t-критерію Стюдента. Статистичну обробку морфометричних даних проводили з використанням комп'ютерної програми Excel 7.0.

Викладення основного матеріалу. Результати досліджень засвідчують виражену лабільність морфометричних параметрів видів-індикаторів та біоіндикаційну інформативність розрахованих коефіцієнтів (табл. 1).

На території золошлаковідвалів коефіцієнт видовженості для листкових пластинок *P. tremula* становить 0,97, що свідчить про значну трансформованість екотопу. Щодо *S. caprea* та *B. pendula*, то аналізований показник на території золошлаковідвалів та в межах фонової екосистеми перевищує одиничний рівень.

Коефіцієнт форми для листків *P. tremula* та *B. pendula* на території золошлаковідвалів перевищує фонові значення на 0,13 та 0,14 відповідно. Це пояснюється тим, що на території золошлаковідвалів трапляються листкові пластинки нетипової форми для даних видів. Зокрема, обернено трикутноеліптична у *P. tremula*, серцевидна та овальна *B. pendula*. Зміна форми листкової пластинки обумовлює вищий показник співвідношення верхньої і нижньої частини листкової пластинки у порівнянні із фоновою територією.

Коефіцієнт форми листків *S. caprea* в умовах фонової території та на золошлаковідвалі статистично не відрізняється. Це свідчить про те, що даний

вид суттєво не змінює форму листкової пластинки в умовах стресу.

В умовах золошлаковідвалу спостерігається зменшення площі листкових пластинок (табл. 2). Площа листкових пластинок *P. tremula*, що зростають на золошлаковідвалі менша в середньому на $2,09 \text{ cm}^2$ і становить $15,75 \text{ cm}^2$. Площа асиміляційної поверхні у *S. caprea* в умовах золошлаковідвалу менша в середньому на $3,4 \text{ cm}^2$ і становить $21,92 \text{ cm}^2$, а у *B. pendula* на фоновій та території золошлаковідвалів суттєво не відрізняється і становить $14,5 \text{ cm}^2$ та $15,1 \text{ cm}^2$ відповідно.

Листки *P. tremula*, що зростають на золошлаковідвалах, зазнають некротичних уражень, які займають приблизно 18,65 % асиміляційного апарату ($2,98 \text{ cm}^2$). На фоновій території площа некрозів становить менше 1 %. Некротичне ураження асиміляційного апарату *B. pendula* становить 14,1 % асиміляційної поверхні ($2,05 \text{ cm}^2$) при 1,32 % асиміляційної поверхні в умовах фонової території. Площа некрозів *S. caprea* становить 11,17 % листкової поверхні ($2,45 \text{ cm}^2$), при фоновому значення – менше 3,47 % (рис. 2).

У рослин, що зростають на території золошлаковідвалу спостерігається некрози по периферії листкових пластинок. Найчастіше тут трапляється некроз типу «риб'ячий скелет» (рис. 3, А), що свідчить про найвищий рівень накопичення фітотоксикантів. Також спостерігаються асиметричні некрози (рис. 2, Б), що переважають на половині листкової пластинки.

Таким чином, зменшення площі листків в умовах золошлаковідвалу найбільш виражено спостерігається у *S. caprea*, а найменше – у *B. pendula*. Найвищі рівні некротизації листкової пластинки на території золошлаковідвалу спостерігаються у *P. tremula*, а найнижчі – у *S. caprea*.

Таблиця 1

Морфометричні коефіцієнти листкових пластинок:
1 – фонова територія; 2 – територія золошлаковідвалів Бурштинської ТЕС

Показник	Вид					
	<i>Populus tremula</i> L.		<i>Salix caprea</i> L.		<i>Betula pendula</i> Roth.	
	1	2	1	2	1	2
Коефіцієнт видовженості	1,09	0,97	2,06	1,88	1,33	1,25
Коефіцієнт форми	0,65	0,78	1,04	1,15	0,7	0,84

Таблиця 2

Площа листків та площа некротичних уражень листкових пластинок:
1 – фонова територія; 2 – територія золошлаковідвалів Бурштинської ТЕС

Вид	Площа листка, cm^2		Площа некрозу, cm^2	
	1	2	1	2
<i>Populus tremula</i> L.	$17,84 \pm 0,50$	$15,75 \pm 0,45$	$0,1 \pm 0,13$	$2,98 \pm 0,02$
<i>Salix caprea</i> L.	$25,3 \pm 0,10$	$21,92 \pm 0,11$	$0,88 \pm 0,02$	$2,44 \pm 0,04$
<i>Betula pendula</i> Roth.	$15,1 \pm 0,59$	$14,5 \pm 0,97$	$0,2 \pm 0,045$	$2,05 \pm 0,14$



Рис. 2. Рівень некротизації листкових пластинок дослідних видів (%)

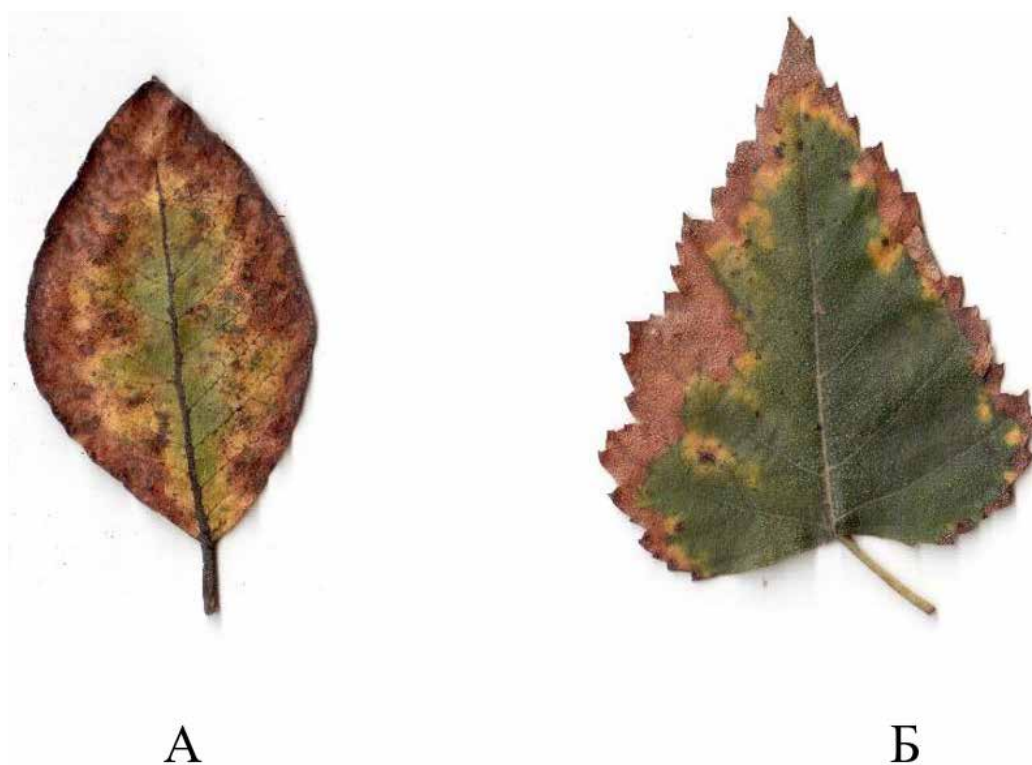


Рис. 3. Некроз листкових пластинок: А – *Salix caprea* L.; Б – *Betula pendula* Roth

Головні висновки. Досліджувані види – *P. tremula*, *S. caprea*, *B. pendula* – проявляють значну реакційність асиміляційного апарату в умовах золошлаковідвалу і можуть використовуватись як індикатори техногенного навантаження. Морфологічна реакційність листкових пластинок видів-індикаторів має видову специфічність.

Морфологічні коефіцієнти для досліджених видів виявляють неоднакову чутливість щодо факторів техногенного навантаження для обраних видів. Коефіцієнт видовженості може бути використаний у якості біоіндикаційного маркера тільки для *P. tremula*. Коефіцієнт форми листової пластинки *P. tremula* та *B. pendula* відображає високі рівні антро-

попресингу, проте не є індикаторно значимою ознакою для *S. caprea*.

Для усіх видів характерно зменшення площі асиміляційного апарату із одночасним зростанням рівня некротичних уражень.

За морфологічною реакційністю щодо факторів техногенного навантаження дослідні види складають такий ряд: *S. caprea* < *B. pendula* < *P. tremula*. Така ж тенденція щодо некротичних уражень: найбільш

чутливим видом виявилась *P. tremula*, найменш чутливим – *S. caprea*.

Перспективи використання результатів дослідження. Морфологічні характеристики асиміляційного апарату, зокрема площа та рівень його ушкодженості, а також морфологічні коефіцієнти з урахуванням видової чутливості рекомендовані до використання у фітоіндикаційних дослідженнях для оцінки стану навколишнього середовища.

Література

1. Буцяк А.А., Буцяк В.І., Музика Л.І. Використання рослинних біоіндикаторів для оцінки стану атмосферного повітря в зоні діяльності Добротвірської ТЕС. *Науковий вісник Львівського національного у-ту ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Серія : Сільськогосподарські науки*. Львів, 2018. Т. 20, № 89. С. 122–126.
2. Ганжа Д. Морфологічна реакція листків тополі в різних умовах урботехногенного навантаження. *Вісник Львівського у-ту. Серія біологічна*. Львів, 2012. Вип. 60. С. 163–170.
3. Капелюш Н.В. Вплив аерогенного забруднення на показники асиміляційного апарату деревних рослин міста Запоріжжя. *Вісник Запорізького національного університету*. 2012. № 3. С. 111–115.
4. Карпин Н.І., Заика В.К., Соханьчак Р.Р. Морфологічні показники асиміляційного апарату видів роду *Tillia* L. в урбогенних умовах Львова. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2015. Вип. 25.4. С. 35–39.
5. Луцишин О.Г., Радченко В.Г., Палапа Н.В. [та ін.] Макроморфологічні зміни реакції-відповіді рослинних організмів деревних вуличних насаджень Київського мегаполісу при стресовому рівні техногенного забруднення. *Доповіді Національної академії наук України*. Київ, 2010. № 6. С. 180–187.
6. Парпан В.І., Миленка М.М. Морфофізіологічні особливості *Populus pyramidalis* Roz. в умовах урботехногенного забруднення середовища. *Екологія та ноосферологія*. Дніпропетровськ, 2009. Т. 20, № 3–4. С. 84–90.
7. Приймак О.П., Пугач А.М. Вплив інгредієнтів автотранспортних викидів настан асиміляційного апарату декоративних квітникових рослин. *Вісник Дніпропетровського у-ту. Біологія. Медицина*. Дніпропетровськ, 2012. Вип. 3, т. 1. С. 118–124. <https://doi.org/10.15421/021217>
8. Радченко В.Г., Луцишин О.Г., Палапа Н.В. [та ін.]. Функціональний стан гірко каштану звичайного (*Aesculus hippocastanum* L.) в умовах техногенного забруднення довкілля Київського мегаполісу. *Екологія та ноосферологія*. Дніпропетровськ, 2010. Т.21., № 1–2. С. 4–18.
9. Савосько В.М., Домшина К.М., Савосько В.В. Морфологічні особливості листків берези повислої культурдендрозензів степу в умовах промислового міста. *Питання біоіндикації та екології*. Запоріжжя, 2013. Вип. 18, № 2. С. 121–133.
10. Хвостов О.О., Капелюш Н.В. Вплив аерогенного забруднення на стан деревної рослинності м. Запоріжжя. *Питання біоіндикації та екології*. – Запоріжжя, 2011. Вип. 16, № 1. С. 103–108.
11. Іванченко О.Є., Бессонова В.П. Індикація стану деревних рослин парків м. Дніпропетровськ за морфофізіологічними показниками. *Вісник Дніпропетровського у-ту. Біологія, екологія*. Дніпропетровськ, 2016. 26 (1). С. 109–118.
12. Dimitrova Ivanka, Yurukov Lilyana Bioindication of anthropogenic pollution with *Plantago lanceolata* (Plantaginaceae): metal accumulation, morphological and stomatal leaf characteristics. *Phytologia Balcanica*. Sofia, 2005. 11 (1). P. 89–96.
13. Krupey K., Obruch K., Mihailichenko A. Phytoindication of the environmental conditions by the degree of leaves damage of *Betula pendula* Roth. *Problems of Bioindications and Ecology*. 2019. 24 (2). P. 66–74. <https://doi.org/10.26661/2312-2056/2019-24/2-06>
14. Неспляк О. С. Екологічні особливості формування флори і рослинності золотоплодівців Бурштинської теплової електростанції та їх використання в рекультивації: автореф. дис. ... канд. біол. наук: 03.00.16. Дніпропетровськ, 2011. 23 с.

ВИЗНАЧЕННЯ ПРІОРИТЕТНИХ ФАКТОРІВ ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ ДЛЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ НА ПРИКЛАДІ ВУГІЛЬНОЇ ШАХТИ № 5/6 ДП «МИРНОГРАДВУГІЛЛЯ»

Улицький О.А.¹, Буглак О.В.¹, Горобей М.С.¹, Савлущинський О.М.²

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

²Державне науково-виробниче підприємство «Геоінформ України»
вул. Антона Цедіка, 16, 03057, м. Київ

Досліджено проблему забезпечення екологічної безпеки на територіях розташування вугільних шахт, де відбулися небезпечні зміни екологічного стану навколишнього природного середовища, що охоплюють територію близько 30 тис. км². Зокрема, це – надмірне забруднення атмосферного повітря, водних ресурсів, земельних ресурсів, руйнування промислових об'єктів підвищеної екологічної небезпеки, поводження з небезпечними відходами, наслідки руйнування шахт, втрати природно-заповідного фонду. Деградація зональних біогеоценозів й ландшафтів, деформування земної поверхні й гірського масиву зумовлюють формування «техногенних ландшафтів», якими є промислові зони та території закритих шахт, водойми-накопичувачі, зовнішні відвали (терикони). Ситуація, що склалася, потребує вжиття невідкладних заходів з виявлення небезпечних екологічних чинників, спричинених техногенезом, аналізу рівня небезпеки, локалізації кожної із проблем та розробки детального плану їх розв'язання залежно від рівня небезпеки або динаміки прогресування.

За визначеними пріоритетними факторами, отриманими шляхом аналізу поточного стану та екологічних показників вугільних підприємств, з'ясовані наслідки підземного видобування вугілля, узагальнена трансформація елементів навколишнього середовища, масиву гірських порід та земної поверхні на етапах функціонування вугільних шахт. Оцінені ризики та визначена пріоритетність елементів екологічної безпеки. Здійснені попарні порівняння факторів та окреслені значення відносної важливості окремо визначеного фактору над іншим. На основі попарних порівнянь для кожного з факторів був означений ваговий коефіцієнт (пріоритет фактору), що відображає вагу, або внесок фактору екологічного ризику в техногенне навантаження на навколишнє природне середовище. *Ключові слова:* навколишнє середовище, вугільна шахта, екологічні ризики, гідродинамічний режим, породні відвали, деформаційні процеси.

Determination of priority environmental risk factors for the environment and public health on the example of coal mine No. 5/6 of the «Myrnodgradvugillia» substation. Ulytskyi O., Buhlak O., Horobei M., Savluchynskiy O.

The article is devoted to the problem of ensuring an acceptable level of environmental situation in the territories where coal mines are located. There have been dangerous changes in the state the natural environment, which cover an area of about 30 thousand km². These include excessive pollution of atmospheric air, water resources, and land resources, destruction of industrial facilities, objects of high-environmental hazards, hazardous waste management, consequences of mine destruction, and loss of the nature reserve fund. Degradation of zonal biogeocenoses and landscapes, deformation of the earth's surface and mountain massif lead to the formation of «man-made landscapes», which are industrial zones and territories of closed mines, storage reservoirs, external dumps (terricones). The current situation requires taking urgent measures to identify dangerous environmental factors caused by technogenesis, analyze the level of danger, localize each of the problems and develop a detailed plan for their solution depending on the level of danger or the dynamics of progression.

Based on the determined priority factors, obtained through the analysis of the current state and environmental indicators of coal enterprises, the consequences of underground coal mining, the generalized transformation ents, the massif of rocks and the earth's surface at the stages of operation of coal mines are revealed. Risks have been assessed and the priority of environmental safety elements has been determined. Pairwise comparisons of factors were made and values of relative importance of a separately determined factor over another were outlined. Based on pairwise comparisons, a weighting factor (priority factor) was determined for each factor, which shows the weight or contribution of each environmental risk factor to the anthropogenic impact on the environment. *Key words:* environment, coal mine, environmental risks, hydrodynamic regime, rock dumps, deformation processes.

Постановка проблеми. Державне регулювання процесів використання природних ресурсів і зменшення антропогенного навантаження на ландшафти вугільних регіонів України є важливими інструментами захисту біосфери [1]. Покровський та Волноваський райони Донецької області, де розташовані вугільні шахти, – це промислово-аграрний регіон з інтенсивним використанням мінерально-сировинних, земельних, водних ресурсів і зміною еко-

логічних факторів, що забезпечують динаміку та розвиток природного середовища. Аналіз антропогенного розвитку системи «вугільний регіон – навколишнє середовище» свідчить, що землеумістність (кількість розривних порід на одиницю корисних копалин) і негативний вплив на природні й аграрно-територіальні ландшафти є у вуглевидобувній промисловості з використанням підземного способу розроблення корисних копалин (кам'яне вугілля та

ін. корисні копалини) [2]. З огляду на це, виникає проблема досягнення екологічної стійкості в гірничому процесі, що спрямована на зменшення негативного впливу вуглевидобувної промисловості на навколишнє природне середовище [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Останнім часом фахівці загострюють увагу на забезпеченні національної безпеки України в її екологічному аспекті. Таку тему досліджували О. Бондар, В. Бузило, А. Качинський, В. Костенко, В. Красник, О. Машков, А. Павличенко, Г. Рудько, І. Садовенко, І. Удалов, О. Улицький, Є. Яковлев та інші. У працях здійснений аналіз рівня забезпечення національного плану дій з охорони НПС та пошук можливостей його поліпшення, проте дана тема потребує глибшого вивчення в напрямку екологічного збалансованого розвитку, керуючись програмними завданнями, викладеними в «Основних засадах(стратегії) державної екологічної політики на період до 2030 року» [4-7].

Матеріали і методи дослідження

В дослідженні використовувалися дані Міністерства України з екологічних показників діяльності вуглевидобувної галузі та Державної служби статистики України щодо виробничих показників підприємств, експертні оцінки факторів екологічної небезпеки, описові характеристики району дослідження.

Визначення рівнів екологічних ризиків здійснювалося за допомогою порівняльного аналізу екологічних показників та виробничих даних вугільних підприємств, статистичних методів обробки даних.

Окреслення пріоритетних факторів ризику здійснювалося з урахуванням методики визначення першочергових елементів системи природно-техногенної та екологічної безпеки. Оцінка проводилася для таких узагальнених факторів екологічного ризику: викиди в атмосферу ЗР з териконів, забруднення підземних вод, порушення гідродинамічного режиму підземних вод та порушення ландшафту прилеглої території.

Для кожного фактору був визначений ваговий коефіцієнт (пріоритет фактору), що показує вагу, або внесок кожного фактору екологічного ризику в техногенне навантаження на довкілля або важливість для здоров'я населення. Вагові коефіцієнти були визначені на підставі попарних порівнянь факторів екологічного ризику та оцінки відносної важливості одного фактору над іншим. Для проведення попарних порівнянь елементів використано шкалу відносної важливості Т. Сааті, що дозволила з'ясувати відносну перевагу одного елементу над іншим. Визначення відносної важливості факторів екологічного ризику для навколишнього середовища здійснювалося за схемою: порівняння екологічних показників підприємств та експертних оцінок. Під час визначення відносної важливості факторів екологічного ризику для здоров'я населення використовувалися лише експертні оцінки. Попарні порівняння призводять до формування квадратної матриці, що

має властивості оберненої симетрії. Ваговий коефіцієнт фактору i визначався як нормалізована компонента власного вектору матриці за рядком, що відповідає фактору i .

Оцінка ризику для здоров'я населення проводилася за Методикою рекомендацій МОЗ «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря».

Характеристика ризику формувалася шляхом порівняння фактичних рівнів експозиції з референтними (безпечними рівнями) впливу та визначення коефіцієнту небезпеки HQ. Коефіцієнти небезпеки HQ визначався за формулою:

$$HQ = AC/RfC, \quad (1)$$

де HQ – коефіцієнт небезпеки,

AC – середня концентрація, $мг/м^3$,

RfC – референтна концентрація, $мг/м^3$.

Визначення рівня концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі проводилося з використанням програми Еол-Плюс, версія 5.23.

Коефіцієнти небезпеки HQ визначалися для всіх речовин, концентрації яких в атмосферному повітрі на території підприємства перевищували ГДК або мали наближене до ГДК значення.

Виклад основного матеріалу

Загальна характеристика модельного району

Фактори екологічного ризику вуглевидобування розглядаються на прикладі модельного району, представленого територіями, де розташовані вугільні шахти в Покровському та Волноваському районах Донецької області (рисунок 1).

Гірничо-технічна характеристика

Рік введення шахти в експлуатацію 1916

Річна проектна потужність, тис. т 9

Річна виробнича потужність, тис. т 135

Промислові запаси на 01.01 2021 року, тис. т 15,4

Вугільні пласти, що відпрацьовуються $K_8-1,05 \div 1,28$; $K_7-0,93$

Категорія шахти за газом (метаном) надкатегорійна
Макс. глибина розробки 624

Схема підготовки пластів панельна

Система розробки стовбова

На підставі Перспективного плану формування територіальних громад Донецької області визначені нові межі територіальних громад, що об'єдналися навколо адміністративних центрів – міст обласного значення, - Покровськ, Добропілля, Мирноград, Селидове, Новогродівка, Вугледар та ін.

Рельєф модельного району, що розглядається, має помірний горбисто-рівнинний характер зі значною ерозією ґрунтів. Ландшафти району – сильно розчленовані балками рівнини та височини, які переходять у заплавні ландшафти річкових долин.

Клімат-помірно-континентальний. Зима в межах модельного району порівняно холодна і мало-сніжна, літо зазвичай спекотне і посушливе. Річна сума опадів становить 375 – 556 мм на рік, біль-

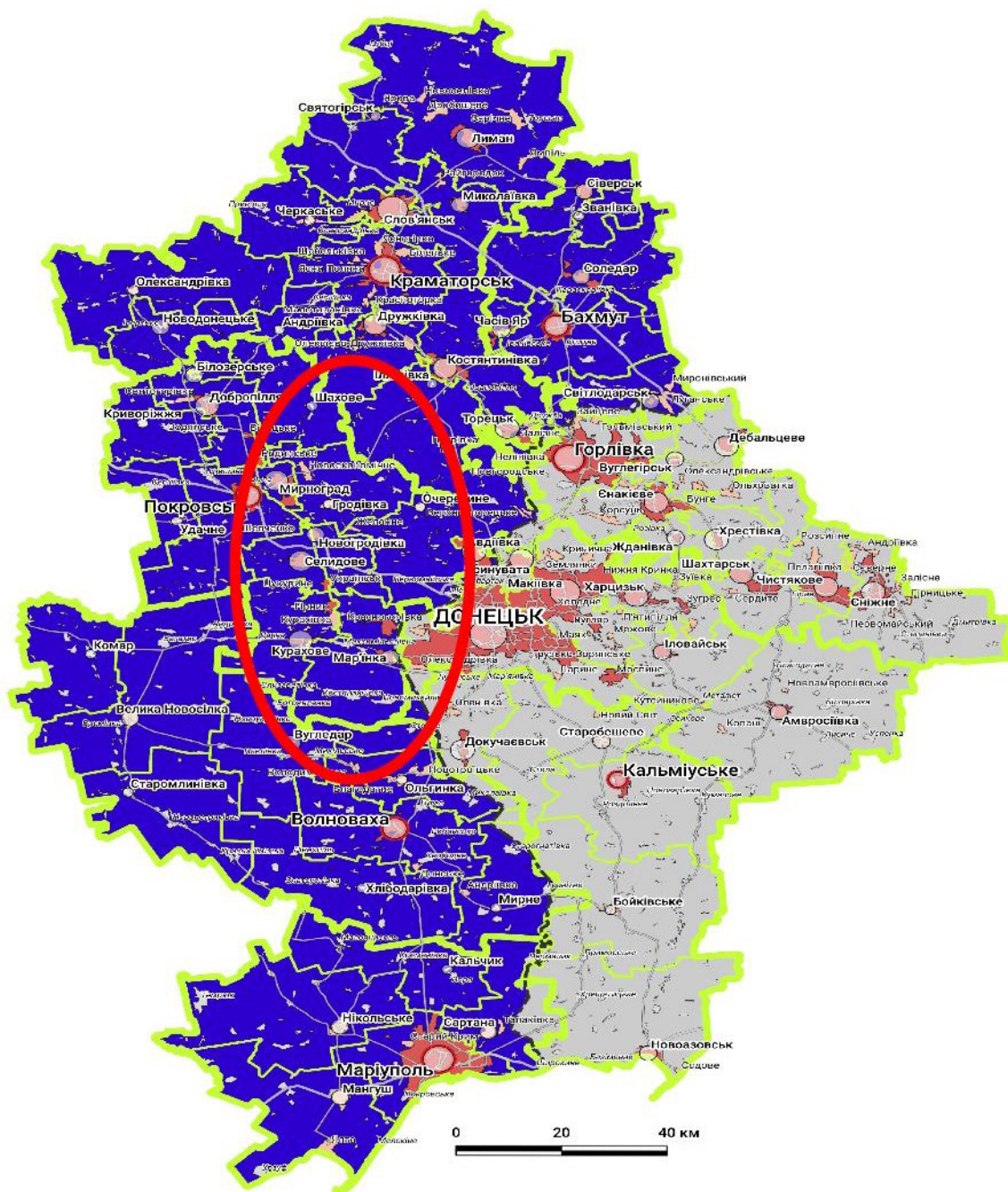


Рис. 1. Місце розташування модельного району

шість – у теплу пору року. Середнє значення відносної вологості – 74%.

На території модельного району розташовані такі населені пункти як Покровськ, Добропілля, Мирноград, Селидове, Гродівка, Українськ, Курахове, Вугледар, та ін. Кількість населення, що мешкає в межах модельного району, – понад 380,0 тис. чоловік

У межах модельного району розглядаються 12 вуглевидобувних підприємств (рисунок 2).

Підприємства мають різний статус (діючі, ліквідовані, або знаходяться на стадії ліквідації), з 12

шахт три є приватизованими, 9 знаходяться у державній власності (таблиця 1).

Аналіз рівнів екологічного впливу Екологічні наслідки від діяльності вугільних підприємств.

Актуальною і гострою проблемою для територіальних громад,

де розташовані вугільні підприємства, є негативний вплив на довкілля наслідків багаторічного інтенсивного видобутку вугілля.

Ступінь впливу видобутку вугілля на довкілля тісно пов'язаний з багаторічним нераціональним

використанням природних ресурсів із застосуванням застарілих технологій і характерний проявами :

- активізацією деформацій земної поверхні, утворенням провалів;

- зсувами зон активного газовиділення, неконтрольованим метановиділенням;

- порушенням гідрологічного режиму, підтопленням територій;

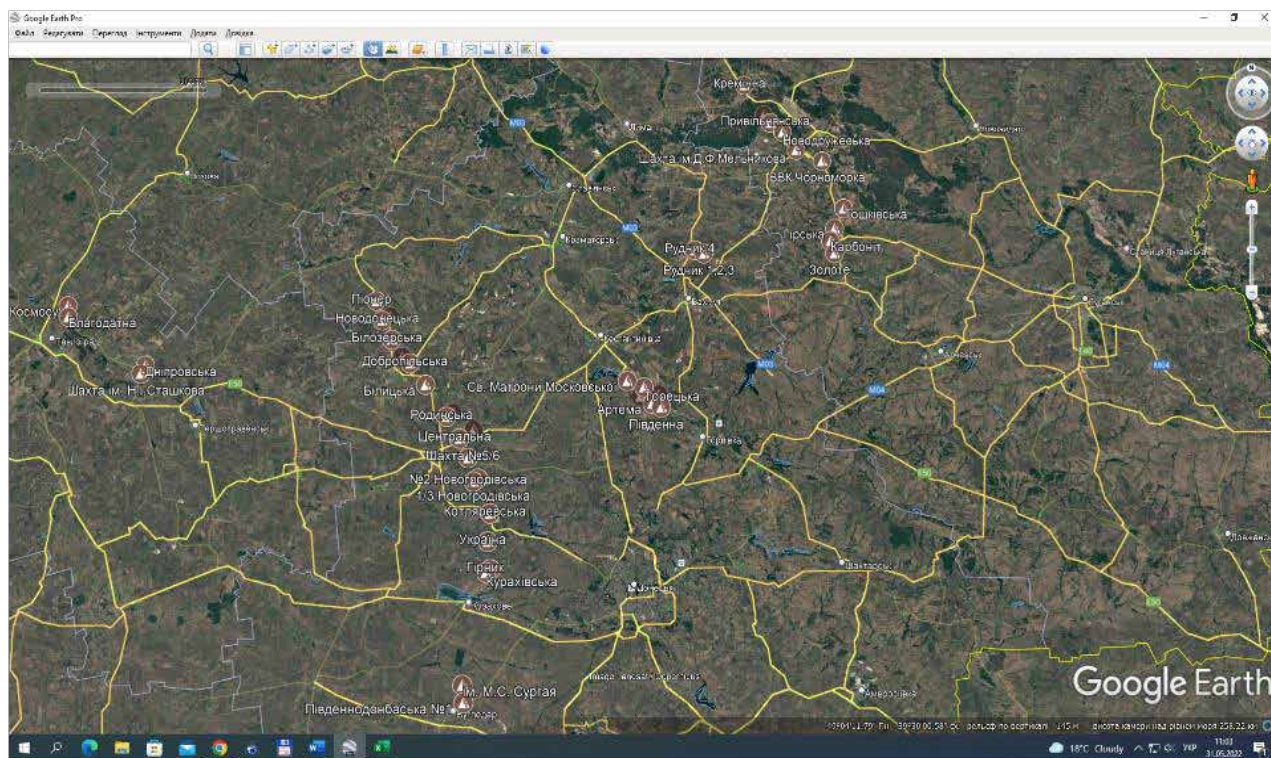


Рис. 2 Розташування вугільних підприємств в межах модельного району

Таблиця 1

Підприємства вугільного сектору, що розглядатися в межах модельного району

№ з/п	Назва шахти	координати		статус
		широта	довгота	
1	Південнодонецька № 1	47°47'30. "	37°17'22. "	Діюча
2	ім. М.С. Сургая	47°49'29. "	37°17'7. "	Діюча
3	Курахівська	48° 2'28. "	37°21'12. "	Діюча
4	Україна	48° 6'7. "	37°21'28. "	Діюча
5	Котляревська	48° 9'28. "	37°21'50. "	Діюча
6	№ 2 Новгородівська	48°13'20. "	37°18'34. "	В стадії ліквідації
7	1/3 Новгородівська	48°13'41. "	37°19'29. "	Діюча
8	№ 5/6	48°16'13. "	37°17'29. "	Діюча
9	Центральна	48°18'37. "	37°15'49. "	Діюча
10	Капітальна	48°19'40. "	37°18'28. "	Діюча
11	Родинська	48°21'18. "	37°13'17. "	В стадії ліквідації
12	Краснолиманська	48°21'46. "	37°14'30. "	Діюча
13	Білицька	48°25'19. "	37° 9'1. "	Діюча
14	Добропільська	48°28'4. "	37° 5'52. "	Діюча
15	Алмазна	48°28'53. "	37° 4'16. "	Діюча
16	Білозерська	48°31'5. "	37° 2'9. "	Діюча
17	Новодонецька	48°33'33. "	37° 0'8. "	В стадії ліквідації
18	Красноармійська	48°34'3. "	37° 1'42. "	Діюча
19	Піонер	48°36'3. "	36°58'51. "	Діюча
20	Гірник	48° 2'49. "	37°22'1. "	В стадії ліквідації

- забрудненням водного і повітряного басейнів, негативним впливом породних відвалів;

- знищенням ґрунтового і рослинного покривів на територіях, значно більших, ніж земельні відводи підприємств.

Під час затоплення шахт активізуються процеси просідання земної поверхні, що призводить до виведення з експлуатації будівель, споруд та комунікацій, в тому числі газопроводів, каналізаційних та водопровідних мереж тощо [8-10].

Визначення пріоритетних факторів екологічного ризику для навколишнього середовища та здоров'я населення

Визначення пріоритетних факторів екологічного ризику проводилося за аналізом впливів підприємств вугільного сектору на навколишнє середовище, та експертних оцінок. Проведено попарні порівняння факторів та визначено значення відносної важливості одного фактору над іншим. На основі попарних порівнянь для кожного фактору був визначений ваговий коефіцієнт (пріоритет фактору), який відображає вагу, або внесок кожного фактору екологічного ризику в техногенне навантаження на навколишнє середовище [12-14]. У межах досліджень визначалися пріоритети для таких факторів екологічного ризику як викиди в атмосферу, вивітрювання матеріалу з териконів, забруднення води, порушення водного режиму, забруднення ґрунтів, порушення земної поверхні. У таблиці 2 наведені пріоритети факторів екологічного ризику для навколишнього середовища, сформовані з урахуванням даних аналізу виробничих та екологічних показників діяльності підприємств [6].

На підставі аналізу виробничих та екологічних показників вугільних підприємств було визначено, що найважливішим фактором екологічного ризику для навколишнього середовища є деформування

земної поверхні (ваговий коефіцієнт 0,4981). Окрім того, пріоритетними є такі фактори як забруднення ґрунтів та порушення гідрогеологічного режиму (пріоритети 0,2560 та 0,1338 відповідно). Ваговий коефіцієнт для порушення гідрологічного режиму був визначений 0,0695. Найменші значення мають такі фактори, як вивітрювання матеріалу з териконів та викиди в атмосферу (0,0346 та 0, 79 відповідно).

Окрім того, були проведені експертні оцінки пріоритетів факторів для навколишнього середовища. Це пов'язано з тим, що такі об'єктивні оцінки практично часто відсутні. Можна лише поміркувати, що експерт надає якісне попарне порівняння альтернатив та для визначення вагових коефіцієнтів у таблиці пропонується використовувати шкалу відносної важливості: однакова значущість – коефіцієнт дорівнює 1; слабка значущість – 3; істотна значущість – 5; очевидна значущість – 7; абсолютна значущість – 9. Проміжні значення між сусідніми судженнями – 2, 4, 6, 8. Метод Сааті передбачає перевірку узгодженості таблиць бінарних відношень, в яких фігурують суб'єктивні оцінки пріоритетів альтернатив, що порівнюються, і перехід від матриць парних порівнянь до кількісних оцінок, що дозволяє провести рейтинг альтернатив [6, 15-17]. Результати представлені в таблиці 3

Найважливішим фактором екологічного ризику відповідно до експертних оцінок є деформування земної поверхні (ваговий коефіцієнт 0,4051). Ваговий коефіцієнт забруднення ґрунтів експертними оцінками становить 0,2394, а порушення гідрогеологічного режиму – 0,1517. На четвертому місці стоїть забруднення поверхневих водойм, для якого значення вагового коефіцієнту дорівнює 0,1148. Серед факторів екологічного ризику, що розглядалися, найменше значення для техногенного навантаження мають вивітрювання матеріалу з териконів та відвалів

Таблиця 2

Матриця попарних порівнянь факторів екологічного ризику для навколишнього середовища

Фактори	Викиди в атмосферу	Вивітрювання матеріалу з породних відвалів	Забруднення поверхневих водойм	Порушення гідрогеологічного режиму	Забруднення ґрунтів	Деформування земної поверхні	Пріоритет
Викиди в атмосферу	1, 0	0.16	0.14	0.12	0.12	0.11	0, 79
Вивітрювання матеріалу з породних відвалів	6.26	1, 0	0.16	0.13	0.15	0.12	0,0346
Забруднення поверхневих водойм	7.34	6.18	1, 0	0.16	0.15	0.14	0,0695
Порушення гідрогеологічного режиму	8.11	7.52	6.08	1, 0	0.14	0.15	0,1338
Забруднення ґрунтів	8.53	7.13	6.54	6.02	1, 0	0.16	0,2560
Деформування земної поверхні	9.05	8.09	7.11	6.56	6.08	1, 0	0,4981

Таблиця 3

Матриця попарних порівнянь факторів екологічного ризику для навколишнього середовища, визначених на основі експертних оцінок

Фактори	Викиди в атмосферу	Вивітрювання матеріалу з породних відвалів	Забруднення поверхневих водойм	Порушення гідрогеологічного режиму	Забруднення ґрунтів	Деформування земної поверхні	Пріоритет
Викиди в атмосферу	1, 0	0.2	0.17	0.2	0.17	0.33	0,0324
Вивітрювання матеріалу з породних відвалів	5	1, 0	0.17	0.25	0.2	0.25	0,0566
Забруднення поверхневих водойм	6	6	1, 0	0.33	0.25	0.25	0,1148
Порушення гідрогеологічного режиму	5	4	3	1, 0	0.33	0.2	0,1517
Забруднення ґрунтів	6	5	4	3	1, 0	0.17	0,2394
Деформування земної поверхні	3	4	4	5	6	1, 0	0,4051

(пріоритет 0,0566) та викиди в атмосферу (0,0324). Порівняння пріоритетів, отриманих на основі аналізу виробничих та екологічних показників і на основі експертних оцінок, показує, що загальні значення важливості для факторів екологічного ризику збігаються. Найбільшою мірою на стан навколишнього середовища впливають деформування земної поверхні, за ними йдуть забруднення ґрунтів та порушення гідрологічного режиму, далі – вивітрювання матеріалів з териконів та відвалів, на останньому місці стоїть викиди в атмосферу [18].

Найбільша різниця в оцінках пріоритетів на основі виробничих та екологічних показників діяльності підприємств та експертних оцінок була отримана для вагового коефіцієнту порушення земної поверхні. Для цього фактору ваговий коефіцієнт, отриманий на основі аналізу рівнів впливів складає 0,4981, а на основі експертних оцінок – 0,4051. Основною причиною такої різниці в результатах може бути відсутність вичерпних задокументованих даних щодо порушень земної поверхні на території, і як результат, занижені оцінки при попарних порівняннях для цього фактору при визначенні пріоритетів на основі аналізу рівнів впливів. На основі експертних оцінок були визначені також пріоритети факторів екологічного ризику для здоров'я населення [19, 20]. Оцінка факторів екологічного ризику для здоров'я населення дозволяє пріоритезувати фактори екологічного ризику щодо їх шкідливої дії і визначити послідовність дій в управлінні екологічними ризиками. Пріоритезація факторів екологічного ризику для здоров'я населення є лише першим та допоміжним етапом, за яким має йти власне оцінка ризиків для здоров'я населення, аналіз наслідків несприятливої окремої чи комбінованої дії чинників навколишнього середо-

вища, що враховує біологічну дію шкідливого чинника; ступінь його розповсюдження; стійкість чинника у часовому просторі; ймовірність виникнення негативних наслідків; розміри груп населення, які в тій чи іншій мірі знаходяться під негативним впливом. Тому надзвичайно важливим є визначення пріоритетних факторів екологічного ризику не лише для навколишнього середовища, а і для здоров'я населення на основі експертної оцінки [21]. В таблиці 4 наведені результати попарних порівнянь факторів екологічного ризику та визначені пріоритети ризиків для здоров'я населення.

На основі експертних оцінок було визначено, що на здоров'я населення найбільшою мірою впливають викиди в атмосферу (пріоритет 0,5289). Крім того вивітрювання матеріалу з породних відвалів (пріоритет 0,2590) та вивітрювання матеріалу з породних відвалів (пріоритет 0,1319) також мають суттєвий вплив. Далі йдуть порушення гідрогеологічного режиму – пріоритет 0,0703, забруднення ґрунтів – пріоритет 0,0703. Найменше значення має деформування земної поверхні – пріоритет 0,99.

Порівняння важливості факторів екологічного ризику для навколишнього середовища та здоров'я населення, дозволяє стверджувати, що на екологічну ситуацію навколишнього середовища та здоров'я населення найбільшою мірою впливають викиди в атмосферу (пріоритет фактору для навколишнього середовища 0,0841, для здоров'я населення – 5,277) та забруднення поверхневих водойм (пріоритет для навколишнього середовища – 0,731, для здоров'я населення – 1,316). На третьому місці за рівнем впливу на навколишнє середовище стоїть порушення гідрогеологічного режиму (пріоритет 1,408). Для здоров'я населення за рівнем впливу на тре-

Таблиця 4

Матриця попарних порівнянь факторів екологічного ризику для здоров'я населення, визначених на основі експертних оцінок

Фактори	Викиди в атмосферу	Вивітрювання матеріалу з породних відвалів	Забруднення поверхневих водойм	Порушення гідрогеологічного режиму	Забруднення ґрунтів	Деформування земної поверхні	Пріоритет
Викиди в атмосферу	1, 0	9.03	8.25	7.31	6.52	6.08	0,5289
Вивітрювання матеріалу з породних відвалів	0.11	1, 0	8.11	7.53	7.25	6.11	0,2590
Забруднення поверхневих водойм	0.12	0.12	1, 0	8.32	7.04	6.15	0,1319
Порушення гідрогеологічного режиму	0.13	0.13	0.12	1, 0	8.07	7.25	0,0703
Забруднення ґрунтів	0.15	0.13	0.14	0.12	1, 0	6.18	0,0703
Деформування земної поверхні	0.16	0.16	0.16	0.14	0.16	1, 0	0, 99

Таблиця 5

Пріоритети факторів екологічного ризику для навколишнього середовища та здоров'я населення

	Пріоритет фактору для навколишнього середовища	Пріоритет фактору для здоров'я населення
Викиди в атмосферу	0, 79	0,5289
Вивітрювання матеріалу з породних відвалів	0,0346	0,2590
Забруднення поверхневих водойм	0,0695	0,1319
Порушення гідрогеологічного режиму	0,1338	0,0703
Забруднення ґрунтів	0,2560	0,0703
Деформування земної поверхні	0,4981	0, 99

тому місці стоїть забруднення поверхневих водойм (пріоритет 1,316), в той час, як за пріоритетом для навколишнього середовища цей фактор стоїть лише на четвертому місці. Це можна пояснити істотним негативним впливом вуглепородного пилу на органи дихання. Результати для порівняння представлені в таблиці 5.

Отже фактором найбільшого ризику для навколишнього середовища та здоров'я населення є забруднення атмосферного повітря. Найбільш вагомими факторами екологічного ризику для навколишнього середовища окрім забруднення атмосфери, є забруднення поверхневих водойм та деформування земної поверхні.

Для здоров'я населення найбільш вагомими факторами екологічного ризику, окрім забруднення атмосфери, є забруднення поверхневих водойм та вивітрювання матеріалу з породних відвалів.

Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря

За результатами виконаних досліджень за методикою визначення пріоритетних елементів системи техногенної, природної та екологічної безпеки, було з'ясовано, що фактором найбільшого екологічного ризику вуглевидобування є забруднення атмосферного повітря. Проте пріоритезація факторів екологічного ризику, що базується на загальних показниках діяльності підприємств та експертних оцінках, є лише початковим дійством в оцінці ризиків, оскільки такий аналіз засвідчує узагальнені пріоритети на районному рівні. Далі має здійснюватися власне оцінка ризиків для здоров'я населення від діяльності кожного окремо взятого підприємства, аналіз наслідків несприятливої дії різних чинників навколишнього середовища, враховуючи біологічну дію шкідливого джерела; ступінь його розповсюдження; стійкість у часовому просторі; ймовірність виникнення негативних наслідків; кількісний показник груп населення, які, тією чи іншою мірою, знаходяться під негативним впливом. Чинники, визнані

шкідливими, забороняються до використання, або регламентують їх надходження у навколишнє середовище. При цьому у міжнародній практиці рішення про рівень регламентації приймається на основі концепції «користь-школа». Користь, яку матиме суспільство від застосування чинника, порівнюється із завданою довкіллю і здоров'ю шкодою. Визначається розмір шкоди, прийнятний допустимий ризик. В Україні регламентування шкідливих чинників проводиться з позицій «нульового ризику». Вважається, що при дотриманні розробленого нормативу, антропогенні чинники негативно не впливатимуть на здоров'я. Але це твердження не відповідає дійсності, адже в популяції завжди знайдуться індивіди більш чутливі до дії певного чинника ніж інші, наприклад особи з хронічними захворюваннями легенів, печінки тощо. В Україні майже не користуються концепцією ризику (ймовірності виникнення) для регламентування і оцінки шкідливого впливу чинників навколишнього середовища. Поняття допустимого ризику існує тільки при регламентуванні іонізуючого випромінювання. Проте без застосування поняття ризику і його розрахунку неможливо правильно оцінювати окремі чинники за ступенем їх шкідливості [12].

Як приклад подальшого аналізу, в праці представлені результати оцінки ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря викидами з площинного джерела – терикону, а також типового підприємства вугільного сектору – шахта

№ 5/6 ДП «Мирноградвугілля», що розташована в м. Мирноград Донецької області (рисунок).

Для всіх досліджуваних речовин характеристика ризику проводилася шляхом порівняння фактичних рівнів експозиції з референтними (безпечними рівнями) впливу та визначення коефіцієнту небезпеки HQ.

Характеристику ризику розвитку неканцерогенних ефектів за впливу (пил вуглепородний) концентрації 0,099 мг/м³ в атмосферному повітрі навколо терикону шахти № 5/6 здійснюємо шляхом розрахунку коефіцієнта небезпеки за формулою:

$$HQ = AC/RfC, \quad (1)$$

де HQ – коефіцієнт небезпеки,

AC – середня концентрація, мг/м³,

RfC – референтна концентрація, мг/м³.

Визначення рівня концентрацій вуглепородного пилу в атмосферному повітрі проводилось за допомогою програми Еол-Плюс, версія 5.23.

Метеорологічні умови, до яких відносять атмосферні опади, температурний режим повітря тощо, є головними факторами, що впливають на розсіювання забруднюючих речовин в атмосферному повітрі.

Для достовірного аналізу розсіювання вуглепородного пилу в атмосферному повітрі ми повинні враховувати кількість сонячних і похмурих днів, середню місячну і максимальну кількість опадів, середню місячну і річну кількість опадів, число днів з різною кількістю опадів (рисунок 3).

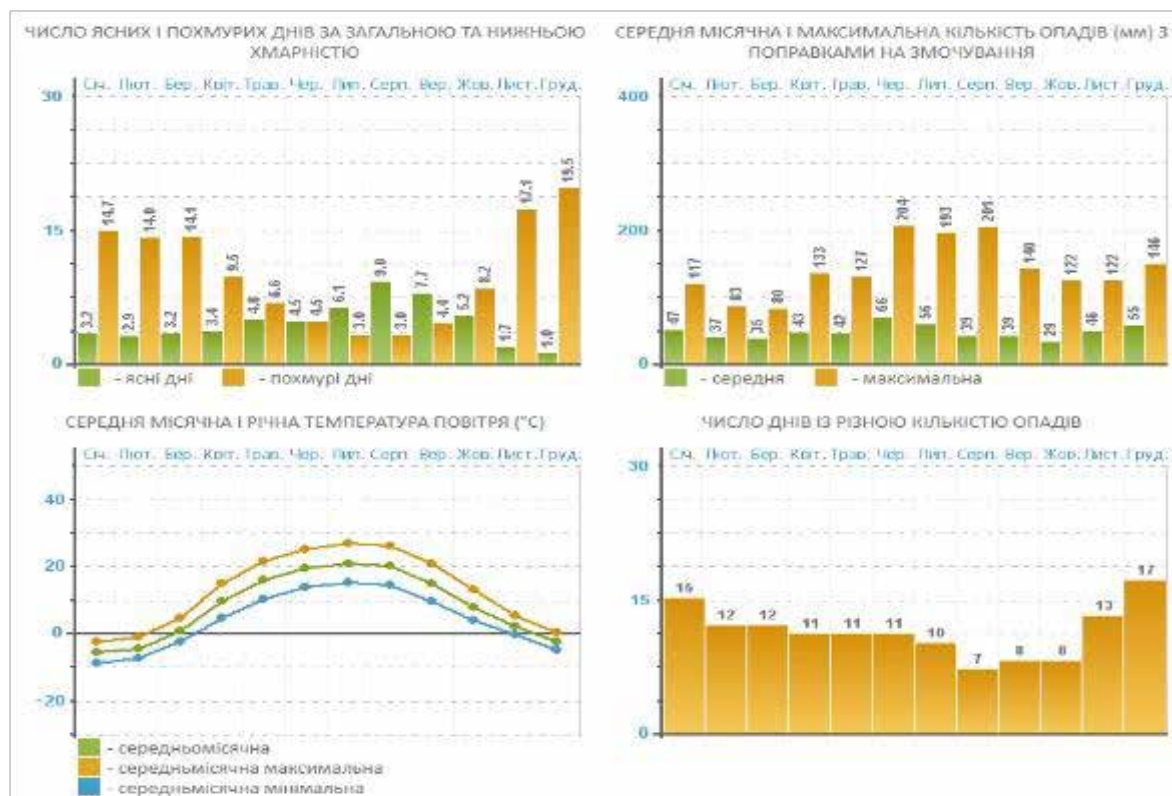


Рис. 3. Метеорологічна характеристика території модельного регіону за даними метеостанції м. Покровськ.

Дані для аналізу метеорологічних умов взяті з офіційного сайту Українського гідрометеорологічного центру, зазначивши населений пункт, який знаходиться найближче до об'єкту досліджень (най-

ближча метеостанція) – у нашому випадку – це місто Покровськ Донецької області.

Ореол розповсюдження забруднюючих речовин залежатиме від швидкості та напрямку вітру (рисунки 4, 5).



Рис. 4. Гістограма швидкості вітру в межах модельного регіону

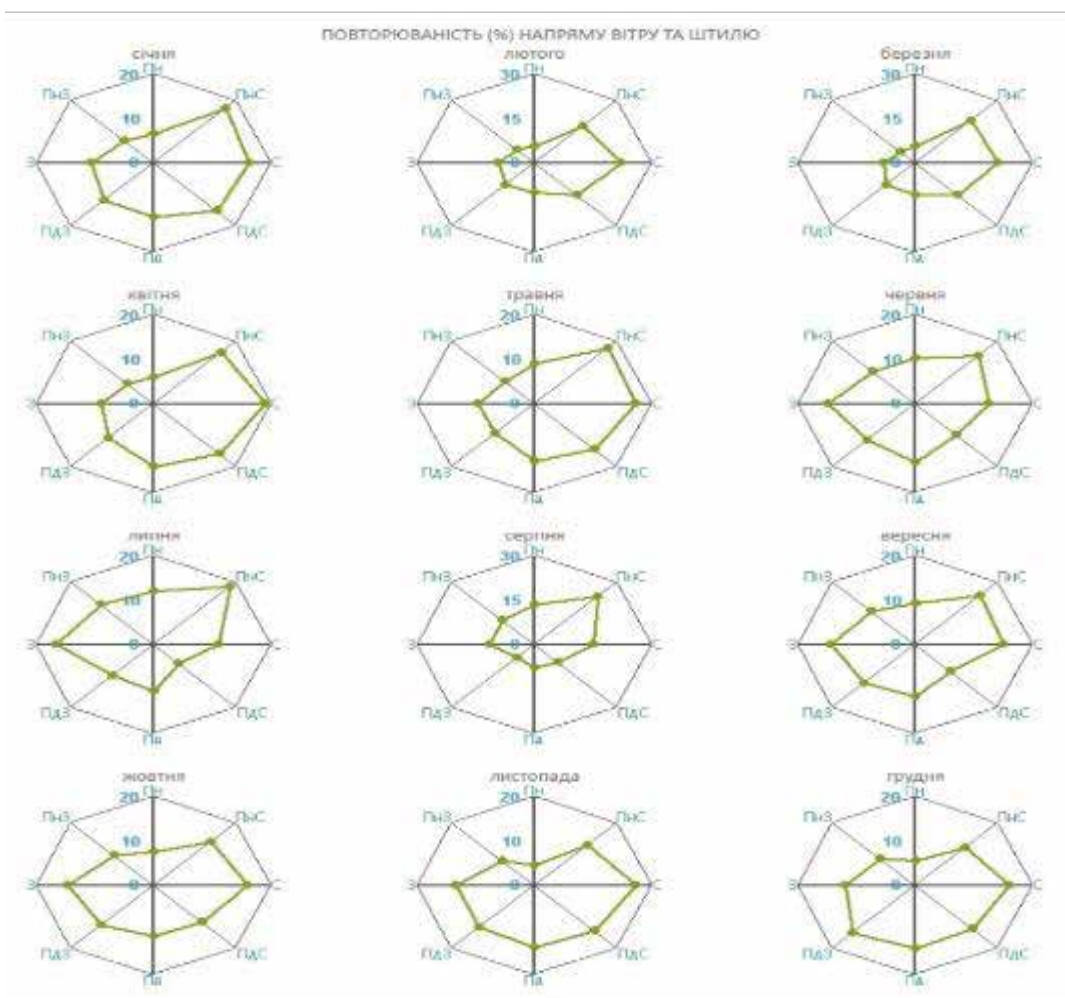


Рис. 5. Помісячна повторюваність напрямку вітру та штилю

Визначення концентрації вуглепородного пилу відбувається в методично затверджених точках відбору, зокрема, на межі зон санітарної захисної зони навколо діючого породного відвалів шахти № 5/6.

Для I поясу санітарної захисної зони (СЗЗ) – 1 метрів, для II поясу СЗЗ – 3 метрів і для III поясу СЗЗ – 5 метрів. Саме в цих місцях і визначалася концентрація вуглепородного пилу та за їх значеннями будувалися ізолінії розповсюдження такого забруднювача в атмосферному повітрі з урахуванням метеорологічних умов (рисунок 6).

Коефіцієнти небезпеки HQ було визначено для всіх речовин, концентрації яких в атмосферному

повітрі на території вугільної шахти № 5/6 перевищувало ГДК або мали наближене значення до ГДК. Критерії для характеристики коефіцієнта небезпеки наведені в таблиці 6.

Були розраховані коефіцієнти небезпеки для вуглепородного пилу, де джерело викидів – терикон (рисунок). Результати представлені в таблиці 7 та на рисунку 3.

На рисунку 6 показано розсіювання вуглепородного пилу навколо джерела викиду (терикону) шахти № 5/6 у вигляді ізоліній концентрацій. Перша ізолінія відповідає концентрації пилу $0,017 \text{ мг/м}^3$, коефіцієнт небезпеки в цьому районі дорівнює 0,55. Друга



Рис. 6. Ізолінії розповсюдження вуглепородного пилу в атмосферному повітрі в межах території шахти № 5/6 з урахуванням метеорологічних умов

Таблиця 6

Критерії неканцерогенного ризику

Характеристика ризику	Коефіцієнт небезпеки (HQ)
Ризик виникнення шкідливих ефектів розглядають як зневажливо малий	< 1
Гранична величина, що не потребує термінових заходів, однак не може розглядатися як досить прийнятна	1
Імовірність розвитку шкідливих ефектів зростає пропорційно збільшенню HQ	> 1

Таблиця 7

Характеристика викидів вуглепородного пилу шахта № 5/6 ДП «Мирноградвугілля»

Код та назва речовини	ГДК, мг/м ³	Концентрації, мг/м ³			Коефіцієнт небезпеки		
		для ізоляції 1	для ізоляції 2	для ізоляції 3	для ізоляції 1	для ізоляції 2	для ізоляції 3
10835 Пил вуглепородний	0,03	0,017	0,012	0, 5	0,55	0,38	0,016

ізоляція відповідає концентрації 0,012 мг/м³, коефіцієнт небезпеки – 0,4. Третя ізоляція відповідає концентрації 0, 5 мг/м³, коефіцієнт небезпеки – 0,16.

Оскільки коефіцієнт небезпеки для вуглепородного пилу менше одиниці навіть неподалік джерела, ризик виникнення шкідливих ефектів в цьому випадку незначний.

Висновок

Здійснена кількісна оцінка небезпеки реальних впливів, яку за міжнародною практикою надано у вигляді матриці оцінки екологічного ризику та

виконано оцінку екологічного статусу вугільних шахт за спеціально розробленою формою.

На прикладі шахти № 5/6 ДП «Мирноградвугілля» розроблено алгоритм оцінки екологічних ризиків, що ґрунтується на порівняльному аналізі виробничих та екологічних показників вугільного підприємства.

За методом рейтингових оцінок визначено рівень та коефіцієнт небезпеки, що істотно розширює змогу застосування моделі поточного стану як фактору шкідливої дії на елементи довкілля.

Література

1. Адаменко О.М. Методика екологічної оцінки техногенного впливу на трансформацію ландшафтів / О.М. Адаменко, Я.О. Адаменко, Л.В. Міщенко та ін. Укр. геогр. журнал. 2 4. № 2. С. 22–27.
2. Бакка М.Т. Екологія гірничого виробництва: навч. посіб. / М.Т. Бакка, І.Л. Гуменюк, В.С. Редчиць. Житомир: ЖДТУ, 2 4. 307 с.
3. Білявський Г.О. Моніторинг екологічний / Г.О. Білявський Екологічна енциклопедія: у 3 т. / редкол.: А.В. Толстоухов та ін. К.: ТОВ «Центр екологічної освіти та інформації», 2 7. Т. 2. С. 315–316.
4. Бондар О.І., Мілехін П.О., Улицький О.А., Єрмаков В.М., Буглак О.В. та ін. Звіт про науково-дослідну роботу «Розробка методики застосування ортотрансформованих космічних знімків для оцінки стану навколишнього середовища» № ДР 0118U 5460 (протокол № 8-18 від 22.11.2018 р.) / Національний центр управління та випробування космічних засобів, м. Київ, 2018. 164 с.
5. Бондар О.І., Улицький О.А., Єрмаков В.М., Буглак О.В. та ін. Звіт про науково-дослідну роботу «Проведення оцінки та вивчення еколого-техногенного стану Донецької та Луганської областей з метою розробки рекомендацій щодо природно-ресурсного відновлення на екологічних засадах» № ДР 017U 6967 / Міністерство з питань тимчасово окупованих територій та внутрішньо переміщених осіб України, м. Київ, 2017. 71 с.
6. Бондар О.І., Улицький О.А., Єрмаков В.М., Буглак О.В. та ін. Звіт про науково-дослідну роботу «Моніторинг виконання природоохоронних робіт та екологічного стану природного довкілля діючих та ліквідованих вугільних підприємств, розроблення пропозицій щодо його поліпшення» № ДР 0116U 5852 (протокол № 8-18 від 22.11.2018 р.) / Мінергосвугілля, м. Київ, 2018. 52 с.
7. Буглак О.В. Техногенне забруднення атмосфери внаслідок функціонування і закриття вугільних шахт та заходи щодо його запобігання (мінімізації) Геохімія техногенезу (Збірник наукових праць ДУ «ІГНС НАН України»). К. 2019. Вип. 1 (29). С. 32-40.
8. Денщик В.А. Экологические последствия массового закрытия шахт в Луганской области URL: <http://www.enwl.net.ru/22/chemestr/04182330.php>.
9. Заборин М.С. Геоэкологические проблемы реструктуризации угольной промышленности / М.С. Заборин, О.А. Улицький, Б.С. Панов : Материалы VII Междунар. студ. экол. конф. Новосибирск, 2 2. С. 85–87.
10. Керування ризиками в гірничодобувній діяльності: монографія / Г.Г. Півняк, М.М. Табаченко, Р.О. Дичковський, В.С. Фальштинський: М-во освіти і науки України / Нац. гірн. ун-т. Д.: НГУ, 2015. 288 с.
11. Костенко В.К. Якісна оцінка впливу видобутку енергоносіїв на довкілля Вісті Донецького гірничого інституту № 1(38). 2016. С. 139-149.
12. Лисиченко Г.В. Екологічний ризик: методологія оцінювання та управління: навч. посібник для вищих навч. закладів / Г.В. Лисиченко, Г.А. Хміль, С.В. Барбашев та ін. К: Наук. думка, 2014. 328 с.
13. Лисиченко Г.В. Природний, техногенний та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління / Г.В. Лисиченко, Ю.Л. Забулонов, Г.А. Хміль. К.: Наук. думка, 2 8. 541 с.
14. Лисянская Л.А. Шевченко Н.Н. Отчёт «Гидрогеологические исследования на опорных шахтах Донецкой области для прогнозирования обводненности горных выработок за 1988-1990 гг.» (кн. 1-2). Артемовск: 1992 г. 531 с.
15. Мала гірнича енциклопедія: [у 3-х т.] / за ред. В.С. Білецького. Донецьк: Донбас, 2 4. Т. 1. 358 с.
16. Оцінка екологічного стану навколишнього середовища при реструктуризації вугільної промисловості. Методи захисту довкілля: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. К: б. в. 1999. 240 с.
17. Рудько Г.І. Екологічна безпека вугільних родовищ України / За ред. Г.І. Рудька, О.І. Бондаря. Київ, Чернівці: Букрек, 2016. 608 с.

18. Сляднев В.А. Факторы влияния массового закрытия шахт на эколого-геологическое состояние Донбасса / В.А. Сляднев / Уголь Украины. 2 1. № 7. С. 18–20.
19. Тарасов Л.Б. Отчёт «Гидрогеологические исследования на опорных шахтах Донецкой области для прогнозирования обводненности горных выработок» (кн. 1). Артемовск, 1999. 112 с.
20. Улицький О.А. Гідрогеологічні та геомеханічні фактори екологічної безпеки геологічного середовища в умовах зняття вугільних шахт з експлуатації: дис. на здобуття наук. ступеня доктора геол. наук / О.А. Улицький. К., 2014. 287 с.
21. Улицький О.А. Оцінка ступеня трансформації ґрунтів в умовах проведення бойових дій (збройного конфлікту) / О.А. Улицький, Н.О. Риженко, О.І. Тюрдьо, О.В. Буглак. Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист. 2017. Вип. 13. С. 93-108.

ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ

УДК 711.433(477.63):635.921

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.5-44.26>

ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ ДЕНДРОКОМПОЗИЦІЙ ТА КРИТЕРІЇ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ НА МІСЬКИХ ТЕРИТОРІЯХ

Бойко Л.І., Юхименко Ю.С., Данильчук Н.М.

Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України
вул. Маршака, 50, 50089, м. Кривий Ріг, Дніпропетровська область
ludmilaboyko@meta.ua, yukhimenkoj@gmail.com, danilchuk.natal@gmail.com

У статті висвітлено результати вперше проведеного аналізу ландшафтних дендрокомпозицій на міських територіях різного призначення м. Кривого Рогу з позицій принципів їх побудови та критеріїв використання. Упродовж досліджень було обстежено 247 об'єктів озеленення міських територій різного призначення на яких виділено та описано 112 натурних дендрокомпозицій створених як на території Ботанічного саду, так і на міських територіях. Зазначено, що найбільш вживаним принципом побудови дендрокомпозицій на міських територіях, особливо створених в останні десятиріччя, є художньо-декоративний (фізіономічний). Дані проведеного аналізу свідчать, що на сучасному етапі процес озеленення міських територій йде переважно стихійно, без врахування основних принципів створення ландшафтних композицій, які мають забезпечувати стійкість та високу декоративність міських зелених насаджень.

Для створення стійких, довговічних, декоративних та ефективних міських зелених насаджень необхідний продуманий добір рослин з використанням всіх принципів створення дендрокомпозицій. Проте у містах промислових регіонів степової зони, яким є Кривий Ріг, де промисловий вплив надзвичайно потужний і має тривалий характер, часто з незворотними наслідками, пріоритетним принципом побудови ландшафтних композицій має бути екологічний з обов'язковим врахуванням художньо-декоративного (фізіономічного) принципу. Окрім цього, запорукою створення екологічно ефективних та біологічно стійких міських зелених насаджень є врахування відповідності місцевості, де створюється композиція та її функціональна обґрунтованість. Дендрокомпозиції побудовані виключно за систематичним та екологічним принципом більш приурочені до таких міських територій загального користування, як парки, сквери, вуличні насадження. На міських територіях обмеженого використання де постійно знаходиться найбільша кількість людей, а саме біля підприємств, магазинів, автозаправок, житлових будинків доцільно ширше залучати для конструювання фітокомпозицій художньо-декоративний принцип з обов'язковим врахуванням екологічних особливостей рослин, залучених до дендрокомпозиції. *Ключові слова:* зелені насадження, міські території, дендрокомпозиції, принципи побудови.

Principles of creation of dendrocompositions and criteria for their use in urban areas. Boyko L., Yukhymenko Yu., Danylchuk N.

The article highlights the results of the first analysis of landscape dendrocompositions in urban areas of various uses in the city of Kryvyi Rih from the standpoint of the principles of their construction and criteria of use. In the course of the research, 247 objects of greening of urban territories of various purposes were examined, where 112 natural dendrocompositions created both on the territory of Botanical Garden and in urban territories were selected and described. It is noted that the most used principle of building dendrocompositions in urban areas, especially those created in recent decades, is artistic-decorative (physionomic) one. The data of the conducted analysis show that at the current stage, the process of greening urban areas is mostly spontaneous, without taking into account the basic principles of creating landscape compositions, which should ensure the stability and high decorativeness of urban green spaces.

To create stable, long-lasting, decorative and effective urban green spaces, a well-thought-out selection of plants using all the principles of creating of dendrocompositions is necessary. However, in the cities of the industrial regions of the steppe zone, such as Kryvyi Rih, where the industrial influence is extremely powerful and has long-lasting nature, often with irreversible consequences, the priority principle of constructing landscape compositions should be ecological with mandatory consideration of the artistic and decorative (physionomic) principle. In addition, the key to creating ecologically effective and biologically sustainable urban green spaces is taking into account the suitability of the area where the composition is created and its functional validity. Dendrocompositions built exclusively according to a systematic and ecological principle are more limited to such urban areas of public use as parks, squares, street plantings. In urban areas of limited use, where the largest number of people are constantly present, namely near enterprises, shops, gas stations, and residential buildings, it is advisable to more broadly involve the artistic and decorative principle for the construction of phytocompositions with the obligatory consideration of the ecological features of the plants included in a dendrocomposition. *Key words:* green areas, urban areas, dendrocompositions, construction principles.

Постановка проблеми та актуальність досліджень.

Стан зелених насаджень міст останнім часом погіршився, що пов'язано насамперед із глобаль-

ною зміною клімату та збільшенням антропогенного навантаження на урбанізовані екосистеми [1]. Як показує практика, в міському озелененні домінує напрямок одновидового використання деревних

і чагарникових рослин, особливо у вуличних, природно-розорних насадженнях, навіть на прибудинкових територіях у більшості випадків використовується один вид у групових посадках при створенні куртин і композицій. То ж, удосконалення міських ландшафтів залишається досить актуальним завданням ботаничних досліджень, практичної охорони довкілля та ландшафтного дизайну. Одним із шляхів вирішення проблеми є підвищення естетичного та емоційного значення садово-паркових композиційних груп, який полягає у можливості з їхньою допомогою змінювати враження від навколишнього простору, вводити в урбанізоване середовище елементи природи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оптимізації довкілля новими декоративними видами рослин та застосуванню сучасних форм та прийомів озеленення присвячена низка робіт як вітчизняних, так і зарубіжних дослідників [2 – 10].

Особливо актуальними є такі дослідження у великих промислових містах, яким є Кривий Ріг [11; 12].

В умовах міського середовища зелені насадження зазнають як техногенного, так і постійного рекреаційного навантаження. При цьому треба враховувати і той факт, що Кривий Ріг розташований у степовій зоні України з помірно-континентальним кліматом. Відмінною особливістю міста є його протяжність (з півдня на північ становить 126 км, із заходу на схід – 62 км), дякуючи чому місто знаходиться в двох підзонах степової зони України – багаторізотравно-типчаково-ковилової на півночі і типчаково-ковилової на півдні. Клімат помірно континентальний, посушливий. Враховуючи те, що початок створення паркових насаджень у Кривому Розі припадає на кінець 20-х–початок 30-х років, а масове їх створення до 60–80 років ХХ століття, вік окремих дерев коливається в межах 50–90 років. За досвідом лісорозведення в степовій зоні України, на довговічність деревних рослин несприятливо впливає сухість ґрунтів та повітря, екологічна невідповідність видів умовам зростання, а також явище прискореного їх розвитку [13; 14].

Виходячи з вище зазначеного дослідження стану зелених насаджень в умовах м. Кривий Ріг та розробка ефективних форм та прийомів озеленення міських територій є досить нагальною потребою.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

В останні 15-20 років ситуація з озеленення в м. Кривий Ріг почала стрімко змінюватися. Почали активно проводитися роботи з комплексного благоустрою міських територій, невід'ємною частиною яких є створення нових високодекоративних композицій з дерев та чагарників. Змінився асортимент деревних рослин, все частіше до композицій стали залучати інтродуковані деревні породи, а також найрізноманітніші садові форми дерев і чагарників. Проте цей процес йде переважно стихійно, без врахування основних принципів створення ландшафтних

композицій, які мають забезпечувати стійкість та високу декоративність міських зелених насаджень.

Новизна. У статті висвітлено результати вперше проведеного аналізу ландшафтних композицій на міських територіях різного призначення м. Кривого Рогу з позицій принципів їх побудови та критеріїв використання.

Викладення основного матеріалу

Для з'ясування стану ландшафтних композицій на міських територіях різного призначення м. Кривого Рогу нами, упродовж 2017-2021 р.р. було обстежено зелені насадження на різних об'єктах, де було виділено та описано натурні дендрокомпозиції різного типу. Для відібраних композицій було з'ясовано принцип та структуру їх побудови, призначення, визначено асортимент хвойних та листяних порід, що були використані при їх створенні. Також була надана оцінка життєвого стану, біоморфологічних характеристик та декоративності кожного виду та культиву, розрахований результуючий бал декоративності всієї композиції в цілому. Варто зазначити, що при створенні життєздатних зелених насаджень необхідно враховувати природно-кліматичні умови, містобудівну ситуацію, функціональне призначення об'єкта, санітарно-гігієнічні та мікрокліматичні вимоги. Виходячи з вище зазначених вимог та враховуючи біологічні та екологічні властивості, зовнішній вигляд і декоративні ознаки рослин і підбирається видовий склад рослин для конкретного типу зелених насаджень [15].

Широко поширеним елементом паркових та вуличних деревних насаджень є дендрокомпозиція. Вдале поєднання у такій груповій посадці рослин підкреслює та доповнює найвиразніші декоративні якості одне одного. При цьому варто пам'ятати, що найвагомішими урбоекологічними особливостями рослин є їх захисні функції, стійкість до умов середовища та декоративність. Стійкість та декоративність пейзажних дендрокомпозицій в свою чергу залежить від вірного вибору принципів їх створення. Такі принципи, а саме – екологічний, географічний, фітоценологічний, систематичний та художньо-декоративний були запропоновані ще у 70-х роках минулого століття [16]. Проте, як показує практика, цей підбір принципів залишається актуальним і донині та може бути використаний і на сучасному етапі для конструювання дендрокомпозицій, особливо у штучних об'єктах на міських територіях різного призначення.

Упродовж досліджень було обстежено 247 об'єктів озеленення міських територій різного призначення на яких виділено та описано 112 натурних дендрокомпозицій створених як на території Ботанічного саду, так і на міських територіях. За складом використаних у композиції видів вони розподілені на деревні, деревно-чагарникові та чагарникові; моно-видові та багатовидові; за переважуючою деревною

породою – хвойні, листяні або ж хвойно-листяні; за структурою – одноярусні і багаторісні.

Назву дендрокомпозиції визначали за складом порід-утворювачів, віддаючи перевагу домінуючим в групі породам, наприклад туєва, ялинова, березова, ялівцево-липова, дубово-соснова та ін.

Виконаний аналіз виділених дендрокомпозицій щодо використаних принципів при їх побудові показав, що лівова частка досліджених дендрокомпозицій у дендрарії ботанічного саду побудована з використанням систематичного, тоді як на міських територіях художньо-декоративного (фізіономічного) принципів (рис. 1).

Значна частка композицій в дендрарії побудованих за систематичним принципом пояснюється тим, що з початку створення Криворізького ботанічного саду формування його дендрологічних колекцій, як і у більшості ботанічних садів, відбувалося за систематичним принципом, який полягає в доборі в одній композиції деревних рослин різних видів, що належать до одного роду чи родини (чи іншого таксономічного рангу) та їхніх різних форм. Серед таких композицій частіше всього використовуються чисті за складом порід (одновидові) масиви як листяних порід *Betula pendula* Roth, *Tilia cordata* Mill. так і хвойних *Pinus pallasiana* D. Don, *Picea pungens* Engelm. 'Glausa' та ін. Виділені на території дендрарію 49 натурних дендрокомпозицій розподілено на 17 листяних, 15 хвойних та 17 листяно-хвойних. При побудові 25 з них залучено систематичний принцип (15 листяних та 10 хвойних). Серед хвойних це як створені в межах одного виду (моновидові), прикладом яких є соснові (*Pinus pallasiana* та *Pinus sylvestris* L.), псевдотсуга (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) композиції, так і в межах роду – тисова (*Taxus baccata* L. та його різні форми), туєва, де залучені лише рослини роду *Thuja* L. та ялівцеві, з досить різ-

номанітно представленими видами, різновидами та сортами роду *Juniperus* L.

Серед листяних композицій, що побудовані за систематичним принципом виділено моновидові, як масиви деревних рослин *Betula pendula*, *Tilia cordata*, *Catalpa bignonioides* Walter, *Quercus rubra* L. та інш. Такі композиції з деревних рослин застосовують з метою отримання ефекту зорового враження від концентрації декоративних якостей силуету, форми і щільності крони, текстури рослини та забарвлення кори і листя [17]. Серед чагарникових виділено моновидові куртини з *Cotoneaster procumbens* Klotz., *Cotoneaster salicifolius* Franch. 'Repens', *Syringa meyeri* C. K. Schneid. 'Palibin', *Crataegus laevigata* 'Paul Scarlet', *Crataegus microphylla* K. Koch. Досить ефектно виглядають монородові композиційні насадження з чагарникових рослин різних видів та культурарів родів *Spiraea* L., *Berberis* L., *Crataegus* L., *Symphoricarpos* Duham., *Weigela* Thunb., *Hydrangea* L., *Hibiscus* L., *Forsythia* Vahl.

Аналіз дендрокомпозицій, виділених на міських територіях різного призначення виявив незначну частку композицій побудованих за систематичним принципом. Як правило ці групи мають куртинний характер розміщення та демонструють видову декоративність берези повислої, ялини звичайної чи сосни звичайної, граба звичайного або ж липи серцелистої та інших деревних рослин. Таке куртинне розміщення деревних як листяних, так і хвойних рослин досить поширене на територіях загального користування, а саме у парках та скверах міста. Досить часто у парках зустрічається оформлення групи деревних рослин узліссям із декоративних видів кущів із мальовничою кроною і масовим цвітінням. Наявність таких узлісь забезпечує плавний перехід до газону. Садово-паркові композиційні групи створені за систематичним принципом

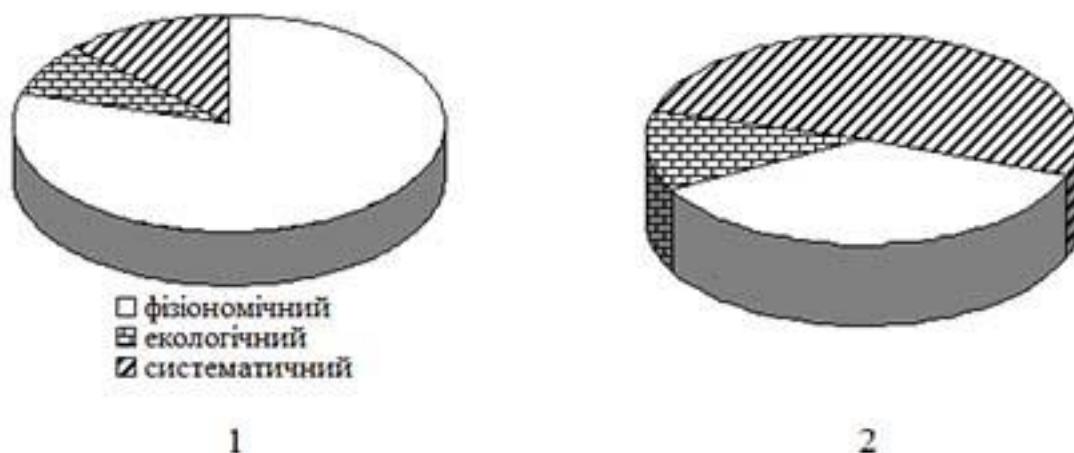


Рис. 1. Використання принципів при побудові композицій:

- 1- Міські насадження
- 2- Дендрарій ботанічного саду

включають також і алеїні насадження, які досить вдало підсилюють декоративність паркових насаджень. Такі прийоми озеленення нами виявлено у парках Гагаріна, Мершавцева, Героїв. До композицій побудованих за систематичним принципом можна віднести і елементи альтернативного озеленення, а саме живоплоти, які виконують роль зонування території. Так, у парку ім. Мершавцева нами виявлено двосторонні насадження з *Carpinus betulus* L. вздовж майданчика, який призначений для проведення розважальних та просвітницьких заходів. Живоплоти зформовані з одного виду рослин, як *Buxus sempervirens* L., *Ligustrum vulgare* L., *Crataegus submollis* L., *Syringa vulgaris* L. виявлено нами і в інших парках та скверах міста.

Як показали дослідження, найбільш вживаним принципом побудови дендрокомпозицій, особливо створених в останні десятиріччя, є художньо-декоративний (фізіономічний). Основою художньо-декоративного принципу відбору деревних рослин є їх декоративність (форма та колір крони, розмір та забарвлення листків, плодів, особливості цвітіння), яка є головною ознакою оцінки якості рослин та має на меті показати габітус деревних рослин, а також індивідуальність кожної із них. Принцип базується на запропонованій Л. Рубцовим класифікації дерев і кущів за сукупністю їхніх морфологічних, насамперед декоративних ознак, які становлять фізіономічні типи рослин, що поєднують у певні групи [18]. Об'єднання декоративних рослин, які належать до видів із схожим габітусом в одну групу (це може бути декілька родів, інколи ціла родина, чи кілька видів), дозволяє підібрати або замінити конкретні рослини для створення певної композиції.

Серед відібраних нами модельних дендрокомпозицій створених у дендрарії ботанічного саду, особливо в останні роки, досить значна частка змодельовано саме за цим принципом. Це пояснюється тим, що більшість з композицій реконструйовано з існуючих, що були раніше створені за систематичним принципом, тобто до дендрокомпозицій було введено нові види та форми рослин з різноманітними декоративними ознаками. Рослини з контрастними формами крони та забарвлення хвої чи листя створюють певну архітектуру та кольористику груп, що надає композиціям високої декоративності.

Останнім часом у регіоні, більшою мірою приватними структурами, завдяки активному розширенню асортименту рослин новими формами та культиварами, почали створюватися поліхромні мікроландшафтні дендрокомпозиції, які інакше називають колористичними або райдужними [19]. При конструюванні композицій такого плану їх виразність може забезпечуватися не лише кольором самих рослин, але й допоміжними матеріалами, що використовуються при побудові композиції (гравійна відсипка, каміння, малі архітектурні форми то що). Всі досліджені композиції є змішаними групами і скла-

даються із хвойних та листяних порід. Взагалі, на думку дослідників, змішані групи, є набагато складнішими, різноманітнішими та привабливішими [20].

Листяні дерева з мальовничими обрисами крон і світлішим листям за зовнішнім виглядом чітко відрізняються від хвойних дерев і здебільшого утворюють із ними контрасти високої художньої цінності. Зміна забарвлення їхнього листя залежно від сезону та безліч відтінків додають до зелених насаджень мінливості та розмаїття. У пізньоосінній, зимовий і ранньовесняний період особливе значення в листопадних деревах має форма стовбура, забарвлення й малюнок кори й архітектура крони. Такі поліхромні дендрокомпозиції частіше всього створюються серед насаджень місць обмеженого використання де постійно знаходиться найбільша кількість людей, а саме біля підприємств, магазинів, автозаправок, житлових будинків виконуючи при цьому як естетичну, так і водночас сануючу роль. Варто зазначити, що за результатами спостережень дендрокомпозиції такого плану не вирізняються стійкістю та довговічністю, що пов'язане з нехтуванням (або ж відсутністю знань) щодо еколого-біологічних особливостей рослин, залучених до композицій. На нашу думку для подальшого розвитку та поширення даного перспективного напрямку в озелененні необхідно окрім художньо-декоративного принципу побудови такого плану композицій, обов'язково долучати і екологічний принцип, який базується на спільних вимогах рослин композиції до певних екоциніків. За зазначеним принципом підбирають види рослин із близькою екоамплітудою та спорідненими екологічними ритмами росту й розвитку. За дотримання цього принципу рослини успішно розвиваються і створюють композиції, які гармоніюють із природним ландшафтом та є досить стійкими [20].

Особливо ретельним добір рослин має бути у містах зі складною екологічною ситуацією, де необхідно залучати стійкі рослини з високими газо-, пиле- та вітрозахисними властивостями. Досить поширені композиції з врахуванням екологічного принципу виявлено у парках міста. Так, у міському парку Північний нами виявлено досить стійку та декоративну робінієво-вязову композицію з використанням рослин однієї екологічної групи, а саме мезоксерофітні види *Ulmus pumila* L., *Robinia pseudoacacia* L. 'Umbraculifera'. В декількох парках міста та біля адміністративних будівель різних установ виявлено сосново-барбарисові групи, де задіяно ксеромезофітні види родів *Pinus*, *Berberis*, іноді до таких груп залучаються досить декоративні види *Prunus pissardii* Carrier.

Варто зазначити, що при побудові таких мікрокомпозицій доцільно залучати як види з близькими екологічними показниками, так і використовувати ефектне поєднання рослин з різними формами та забарвленням крони. Прикладом може слугувати сосново-барбарисова мікрокомпозиція біля будівлі



Рис. 2. Сосново-барбарисова композиція біля будівлі «ВАТ Терни-Авто» побудована за фізіономічним та екологічним принципами.

«ВАТ Терни-Авто» (рис. 2). Базовою вічнозеленою рослиною в ній є *Pinus sylvestris* в хорошому стані та високим темпом росту. Пірамідальна зелена крона цієї рослини ефектно контрастує з блакитною подушкоподібною кроною *Picea pungens* 'Glausa Globosa' та розлогою пурпуровою кроною *Berberis thunbergii* 'Atropurpurea'. Оскільки види, що входять до складу групи є геліофітами, композицію бажано створювати в захищеному від вітру місці з хорошим освітленням. Рослини цієї групи не вибагливі до ґрунтів, але не витримують застійного зволоження.

Висновки.

Виконаний аналіз виділених дендроконпозицій на міських територіях щодо використаних принципів при їх побудові показав, що для створення стійких, довговічних, декоративних та ефективних міських зелених насаджень необхідний продуманий добір рослин з використанням всіх принципів створення дендроконпозицій. Враховуючи те, що Кривий Ріг розташований у промисловому регіоні степової зони, де промисловий вплив надзвичайно

потужний і має тривалий характер, часто з незворотними наслідками, пріоритетним принципом побудови ландшафтних композицій має бути екологічний з обов'язковим врахуванням художньо-декоративного (фізіономічного) принципу. Окрім цього, запорукою створення екологічно ефективних та біологічно стійких міських зелених насаджень є врахування відповідності місцевості, де створюється композиція та її функціональна обґрунтованість. Дендроконпозиції побудовані виключно за систематичним та екологічним принципом більш приурочені до таких міських територій загального користування, як парки, сквери, вуличні насадження. На міських територіях обмеженого використання, де постійно знаходиться найбільша кількість людей, а саме біля підприємств, магазинів, автозаправок, житлових будинків доцільно ширше залучати для конструювання фітокомпозицій художньо-декоративний принцип з обов'язковим врахуванням екологічних особливостей рослин, залучених до дендроконпозиції.

Література

1. Мешкова В. Зміна клімату та міські насадження. *Лісовий вісник*. 2017. № 11–12. С. 10–13.
2. Кучерявий В.П. Ландшафтна архітектура: підручник. Львів: «Новий Світ-2000», 2017. 521 с.
3. Глибовець В.Л., Костюк А.В. Роль ландшафтного дизайну у розвитку сучасного міста (на прикладі міста Києва). *Економічна та соціальна географія*. 2013. вип. 2 (67). С. 223–232.
4. Власенко А.С., Попович С.Ю. Заповідні дендрозозоекзоти Степу України: монографія. К.: «ЦП "Компринт"», 2016. 129 с.

5. Кабар А.М., Лихолат Ю.В., Зайцева І.О., Дідур О.О., Пахомов О.Є., Кузьміна Л.П., Коваленко І.М., Скляр Т.В., Лихолат Т.Ю. Ландшафтний фітодизайн з основами біотехнології: підручник. Дніпро: ЛІРА, 2021. 196с.
6. Денисюк Н.В. Середовищевірна ефективність зелених насаджень загального користування міста Рівне: дис. ...канд. біол. наук: 03.00.16. Львів, 2021. 313с.
7. Ziter C. The biodiversity–ecosystem service relationship in urban areas: a quantitative review. 2016 Oikos 125: p. 761–768.
8. Wenbo Li, Zhen Xing, Zhenji Suolang, Jiangping Fang Configuration Mode of Ornamental Plants in Norbulingka of Tibet and Application of Landscape Color Current Urban Studies. Vol.6 No.2. 2018.
9. Luciana Elizalde, Sergio Agustin Lambertucci. Private gardens in a town immersed in a National Park: Potential for conservation and highly valued under COVID lockdown. *Landscape and Urban Planning*. 2022. 226(4).
10. Hiang Pan, Qing Lin. Simulation and Optimization of the Scenic Beauty of Green Plants in the Landscape Desing. *In book Cyber Security Intelligence and Analytics*. 2020. p.287-292.
11. Коршиков І.І., Суслова О.П., Петрушкевич Ю.М. Деревні рослини в умовах промислових міст Степу: монографія /за ред. І. І. Коршикова. Одеса: Видавничий дім «Гельветика», 2020. 456 с.
12. Бойко Л.І., Юхименко Ю.С., Данильчук Н.М., Шульга О.О. Інтродукція дерев'янистих ліан та перспективи їх використання в озелененні м. Кривий Ріг. *Вісник ОНУ. Біологія*. 2021. Т. 26, вип. 1(48). С. 17–28.
13. Гурский А.В. Основные итоги интродукции древесных растений в СССР. Москва, 1957, 303 с.
14. Бельгард А.Л. Степное лесоведение. Москва, 1971. 321 с
15. Пушкар В. В., Кузнецов С. І., Левон Ф. М. Порайонний асортимент дерев та кущів України: довідник /за ред. О. А. Калініченка. К. : Держ. ін.-т житлово-комунальн. гос-ва, 1998. 188 с.
16. Рубцов Л.И., Лаптев А.А. Справочник по зеленому строительству, К.: Будівельник, 1971. 312 с.
17. Лаптев А.А., Глазачев Б.А., Маяк А.С. Справочник работника зеленого строительства. К. : Будівельник, 1984. 152 с.
18. Рубцов Л.И. Деревья и кустарники в ландшафтной архитектуре:Справочник. Київ, 1977. 272с.
19. Юхименко Ю.С., Бойко Л.І., Коршиков І.І., Красноштан О.В., Данильчук Н.М., Лаптева О.В. Поліхромні мікроландшафтні дендрокомпозиції в озелененні промислового регіону Правобережного степового Придніпров'я. *Інтродукція рослин*. Київ, 2019. № 4. С. 68-74.
20. Мельничук Н.Я., Генік Я.В. Еколого-біологічні основи формування садово-паркових композиційних груп парків міста Львова. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. т. 29, № 6. С. 9 – 13.

BIO-INDICATION PERSPECTIVE OF *CHELIDONIUM MAJUS* L. IN THE CONDITIONS OF THE URBAN TERRITORY

Glibovytska N.I.

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
15, Karpatska Str., 76019, Ivano-Frankivsk
nataly.glibovytska@gmail.com

The expediency of conducting morphometric analysis of herbaceous plants in order to find out their bioindicative potential and assess the ecological state of the urbanized ecosystems environment is substantiated. The morphological parameters of the growth and development of *Chelidonium majus* L. in the conditions of the urban environment are studied. Species reproductive, assimilation, storage and habitual sphere are investigated. The species population vitality indices of generative organs, photosynthetic, root, habitual indices are explored. The medicinal and decorative properties of *Chelidonium majus*, its distribution width, natural ecological and biological features are analyzed. The vitality of *Chelidonium majus* population in the city functional zones is determined according to the proposed rating scale. The most significant suppression of the *Chelidonium majus* growth processes in the zone of transport routes of the Ivano-Frankivsk urban ecosystem is established. The population of the species shows high vitality in the complex landscaping area (I class of vitality), above average vitality in the housing area (II class of vitality), low vitality in the transport area (V class of vitality). The species is characterized by significant ecological plasticity under the influence of anthropogenic loading, as it directs energy resources to the development of the stem mass and the growth of the above-ground part of the plant, revealing at the same time the K-type of life strategy. At the same time, the reproductive and photosynthetic sphere of the species shows relative stability in the conditions of the urban ecosystem. An exception is *Chelidonium majus* individuals in the transport zone of the city, where a high level of anthropogenic pollution strongly suppresses almost all areas of the plant, including the development of leaves and vegetative organs. *Chelidonium majus* is recommended for use in biomonitoring studies of the ecological state of urban areas, and the stem sphere of the species is the most informative parameter of the species vitality. **Key words:** *Chelidonium majus* L., urban territory, anthropogenic pollution, biological indication, morphological parameters.

Біоіндикаційна перспективність чистотілу звичайного в умовах міської території. Глібовицька Н.І.

Обґрунтовано доцільність проведення морфометричного аналізу трав'янистих рослин з метою з'ясування їх біоіндикаційної перспективності та оцінки екологічного стану навколишнього середовища урбанізованих екосистем. Досліджено морфологічні параметри росту та розвитку чистотілу в умовах міського середовища. Досліджено репродуктивну, асиміляційну, запасуючу та габітуальну сфери виду. Розраховано індекси життєвості популяції чистотілу звичайного: генеративних органів, фотосинтетичний, кореневий, габітуальний індекси. Проаналізовано лікувальні, декоративні властивості чистотілу звичайного, його широту розповсюдження, природні екологічні та біологічні особливості. Визначено життєвість популяції чистотілу звичайного у функціональних зонах міста відповідно до запропонованої оцінювальної шкали. Встановлено найсуттєвіше пригнічення ростових процесів у зоні транспортних шляхів Івано-Франківської урбоєкосистеми. Популяція виду проявляє високу життєвість у зоні комплексного озеленення (І клас життєвості), життєвість вище середньої – у зоні житлової забудови (ІІ клас життєвості), низьку життєвість у зоні транспортних шляхів (V клас життєвості). Вид характеризується значною екологічною пластичністю під впливом антропогенного навантаження, оскільки направляє енергетичні ресурси на розвиток стеблової маси та ріст надземної частини рослини, виявляючи при цьому К-тип життєвої стратегії. При цьому репродуктивна та фотосинтетична сфера виду проявляє відносну стабільність в умовах міської екосистеми. Виняток становлять особини чистотілу в умовах транспортної зони міста, де високий рівень антропогенного забруднення сильно пригнічує практично усі сфери рослини, у тому числі розвиток листків та вегетативних органів. Чистотіл звичайний рекомендований до використання у біомоніторингових дослідженнях екологічного стану міських територій, а стеблова сфера виду є найінформативнішим параметром життєвості виду. **Ключові слова:** *Chelidonium majus* L., міська територія, антропогенне забруднення, біологічна індикація, морфологічні показники.

Formulation of the problem. One of the most common objects of phytomonitoring of urban areas are herbaceous plants, which are widely distributed in urban phytocenoses. Changes in their morphological parameters of growth and development serve as reliable indicators of the urbanized environment individual ecotopes ecological condition. *Chelidonium majus* is a valuable medicinal, vitamin and decorative plant, distributed almost throughout the territory of Ukraine. However, the bioindicative role of *Chelidonium majus* is poorly studied, there are only some fragmentary data on the reduction of the pollen grains quality of the species under

conditions of anthropogenic stress influence. The study of the morphological indicators of the species biomass allows to evaluate both the vitality and the phytoindicative suitability of *Chelidonium majus* in the conditions of urban ecosystems.

Relevance of research. Indicators of plant growth and development are among the most informative in biomonitoring studies of the environmental condition. Morphological analysis of *Chelidonium majus* biomass allows to identify the most sensitive biomarkers to anthropogenic stress and their subsequent application in phytomonitoring practice.

The connection of the author's work with important scientific and practical tasks. *Chelidonium majus* is a synanthropic species that is undemanding to the conditions of its existence, which is easily transported over considerable distances and is characterized by a significant development of its own population in our country and throughout the world. Studying the reactions of plants at the organismal level to different levels of anthropogenic pressure in the urban environment will allow us to determine the phytoindicative potential of the species.

Analysis of recent research and publications. *Chelidonium majus* is a self-pollinating plant whose distribution area covers central, eastern, northern Europe, western and central Asia, as well as North America. The species grows in deciduous, mixed forests of Ukraine, in Polissia, in the steppe and forest-steppe, in the Carpathians. Stocks of *Chelidonium majus* raw materials in Ukraine make it possible to annually harvest dozens of tons of grass for various household and medical needs. *Chelidonium majus* is a mesophyte, a moisture-loving and shade-tolerant plant, it can grow on any type of soil, but it prefers soils with a high content of nitrogen and organic substances [15]. The oncoprotective [2, 11, 12, 14, 18, 19], anti-inflammatory, antioxidant [5], disinfectant [3, 6, 7, 20], antifungal, anthelmintic [9], antiviral effect [10] of the plant is known due to the rich chemical composition of its organs and tissues. However, there is very little scientific information regarding the specific use of the species in biological monitoring of urban areas. In the literature, information on the reproductive sphere reactions of *Chelidonium majus* to man-made loading is partially analyzed [16, 17]. The inhibitory effect of heavy metals, in particular, cadmium, copper, zinc, on root growth and seed germination of *Chelidonium majus* has also been established [4].

Highlighting previously unsolved parts of the general problem to which this article is devoted. A considerable number of scientific publications are devoted to the unique healing properties of *Chelidonium majus*, which is widely used in the treatment and prevention of many diseases. The biological and ecological features of the species are widely covered in the scientific literature, but there are practically no publications on the possible use of the plant for phytoindicative purposes. Therefore, an urgent task is to study the morphological parameters of plant vitality under the influence of anthropogenic loading.

Novelty. It is advisable to use the analyzed morphological indicators of growth and development of *Chelidonium majus* in bioindicative practice when assessing the ecological state of the environment in urban areas. The wide distribution and ecological plasticity of the plant indicates the convenience, accessibility and simplicity of the species as an object of biomonitoring studies.

Methodological or general scientific significance. The morphological parameters of *Chelidonium majus* vitality are analyzed in the conditions of the Ivano-Frankivsk region ecotopes with different functional purposes. The reproductive, assimilation, storage and habitual spheres of the plant are studied.

Presentation of the main material. The research is conducted in the conditions of the complex landscaping area, housing area and transport area of Ivano-Frankivsk city. Demyaniv Laz – a tract on the city outskirts – is chosen as the background ecologically clean territory. In each area, 15 adult individuals of *Chelidonium majus* are selected at the flowering stage for the purpose of further morphological analysis [13]. To generalize the data, we use the previously proposed assessment scale of the plant vitality (Table 1).

To identify *Chelidonium majus* vitality in the city functional areas the following morphology parameters, that form the four spheres of the plant, are analyzed:

- assimilation sphere: leaves and stems mass of the one plant, photosynthetic index (the ratio of leaf mass to the whole plant mass), stem index (the ratio of stem mass to the whole plant mass);
- reproductive sphere: generative organs mass of one plant, generative organs index (the ratio of generative organs mass to the whole plant mass);
- storage sphere: root mass, root index (the ratio of root mass to the whole plant mass);
- habitual sphere: the total mass of the plant, the aboveground part mass, the ratio of the underground part mass to the aboveground part mass of the plant.

In the conditions of the city of Ivano-Frankivsk, there is a decrease in the mass of vegetative and generative organs of *Chelidonium majus* compared to background indicators (Fig. 1).

The most significant suppression of *Chelidonium majus* development processes is recorded in the city's transport area, in particular – a 5-fold decrease in stem mass compared to the background value. The biomass of flowers and leaves is lower than the corresponding

Table 1

The scale for *Chelidonium majus* vitality assessing in urban areas conditions

Deviation from control, %	The class of vitality	Category of stability
1-10	1	high
11-20	2	above average
21-30	3	average
31-50	4	below average
>50	5	low

values in control individuals by 3.4 and 2.1 times. The total mass and the mass of the aboveground part of the plants in the transport zone of the urban system are 3.2 and 3.4 times lower than in the background area. A significant decrease in *Chelidonium majus* biomass is not found in the complex landscaping area, the greatest suppression of root mass is recorded in the housing area. In the conditions of the Ivano-Frankivsk city, the mass of individual structures of complex landscaping area increases in the following series of morphological indicators: flower mass → root mass → leaf mass → stem mass → aboveground part mass → total plant mass.

In the conditions of Ivano-Frankivsk urban system, there is an increase in the biomass indices of *Chelidonium majus* plants in the following order: index of generative organs → root index → photosynthetic index → habitual index → stem index (Table 2).

Thus, the species directs energy resources mainly to the development of above-ground mass, in particular stem mass.

The deviation from the control of the vitality indicators of *Chelidonium majus* individuals in the conditions of Ivano-Frankivsk city indicates that the population of the species is characterized by high vitality in the area of complex landscaping (I vitality class), above average vitality in the housing area (II vitality class), low vitality in the transport area (V class of vitality) (Table 3).

The reduction of *Chelidonium majus* individual parts biomass to the background values in the conditions of functional areas of the city takes place in the following series: mass of leaves → mass of flowers → total mass of the plant = mass of the aerial part → mass of the root → mass of the stem.

The main conclusions. *Chelidonium majus* reacts sensitively to the anthropogenic loading of the urban ecosystem by reducing the vegetative and generative organs biomass. The most intense suppression of the growth and development processes is observed in the conditions of transport area of the city. The species exhibits a K-type life strategy, directing metabolic resources to the growth of the vegetative sphere, in particular stem

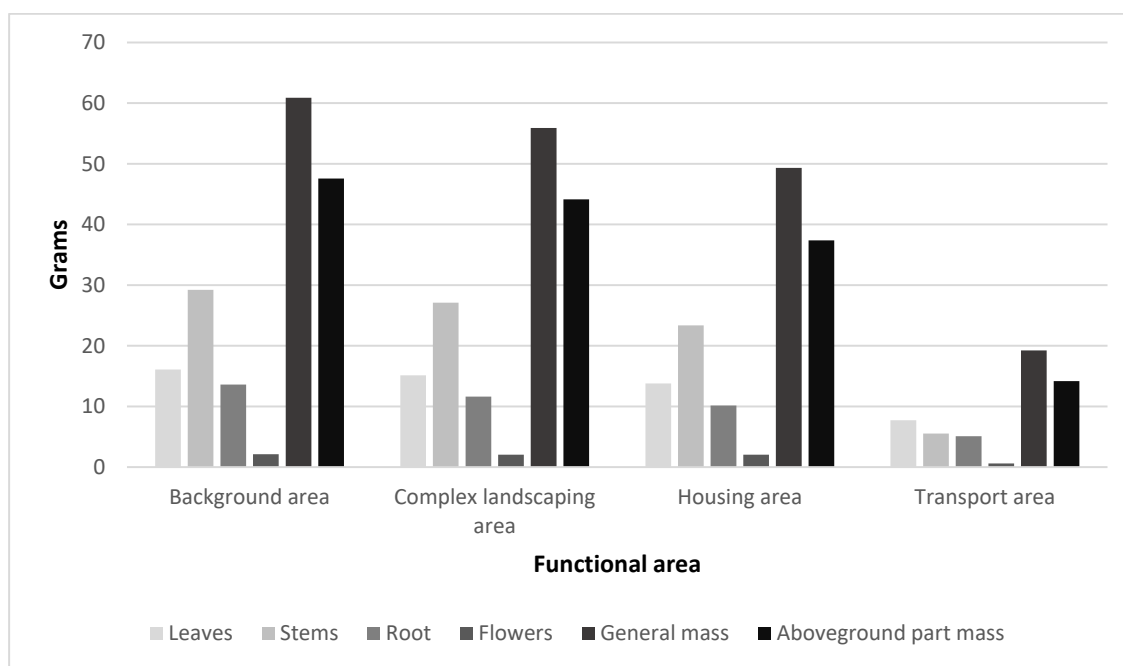


Figure 1. The structure of *Chelidonium majus* biomass in Ivano-Frankivsk functional areas

Table 2

Chelidonium majus biomass indexes in Ivano-Frankivsk city functional areas

Functional area	Assimilation sphere		Storage area	Habitual sphere	Reproductive sphere
	Photosynthetic index	Stem index	Root index	Habitual index	Generative organs index
Background area	0,27	0,47	0,45	0,31	0,43
Complex landscaping area	0,27	0,48	0,21	0,28	0,05
Housing area	0,29	0,46	0,21	0,27	0,04
Transport area	0,38	0,29	0,28	0,40	0,03

Table 3

Chelidonium majus vitality deviation from the control in Ivano-Frankivsk city

Vitality parameter	Deviation from control, %		
	Complex landscaping area	Housing area	Transport area
Leaves mass	6	15	53
Stem mass	9	21	81
Root mass	14	29	61
Flowers mass	3	6	72
Total weight	10	21	68
The mass of the aboveground part	9	19	70
Average value	9	19	68
Vitality class	I	II	V

and habitual mass. The stem mass is the most informative phytoindicative parameter of *Chelidonium majus*, while the plants leaves mass is the most stable indicator parameter under the urbotechnogenic impact.

Prospects for the use of research results. The relative stability of leaf biomass and reproductive organs

mass of *Chelidonium majus* in the conditions of the urban environment indicates a significant adaptive potential of the species, capable of maintaining functional capacity in stressful conditions of existence. It is expedient to use *Chelidonium majus* in monitoring studies of the urban environment ecological state.

References

- Aditya D. Patil, Parth S. Aphale, Dharmendra B. Sharma, Ramesh R. Bhonde. Can homeopathic medicine *Chelidonium majus* serve a dual role of an anti-obesity and anti-diabetic agent? *Medical Hypotheses*. 2022. No 159. 110749 p. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2021.110749>.
- Ali Parsania, Mohammad Hassan Pouriayevali, Masoud Parsania, Mahdi Ghorbani. *Chelidonium majus* L. alkaloid extract enhances TRAIL-induced apoptosis in HeLa cell line through death receptors 4 and 5 upregulation. *Gene Reports*. 2021. No. 25. 101311 p. <https://doi.org/10.1016/j.genrep.2021.101311>.
- Ciorîță A., Suciuc M., Macavei S., Kacso I., Lung I., Soran M-L., Pârvu M. Green Synthesis of Ag-MnO₂ Nanoparticles using *Chelidonium majus* and *Vinca minor* Extracts and Their In Vitro Cytotoxicity. *Molecules*. 2020. No. 25(4). 819 p. <https://doi.org/10.3390/molecules25040819>
- Doycheva, Iva V. The Effect of Some Heavy Metals (Cd, Cu, Pb, Zn) and Substrates on *Chelidonium majus* L. Seed Germination and Seedling Growth. *Ecologia Balkanica*. 2021. No. 13(2). P. 115–124.
- Fabriki-Ourang S., Shahabzadeh H. The effect of abiotic elicitors on antioxidants and phytochemical traits of celandine (*Chelidonium majus*) under drought stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 2019. No. 50(1). P. 139–150. doi: 10.22059/ijfcs.2018.250266.654435
- Krizhanovska V., Sile I., Kronberga A., Nakurte I., Mezaka I., Dambrova M., Pugovics O., Grinberga S. The Cultivation of *Chelidonium majus* L. Increased the Total Alkaloid Content and Cytotoxic Activity Compared with Those of Wild-Grown Plants. *Plants*. 2021. No. 10(9). 1971 p. <https://doi.org/10.3390/plants10091971>
- Krzyżek P., Junka A., Słupski W., Dołowacka-Jóźwiak A., Plachno B.J., Sobiecka A., Matkowski A., Chodaczek G., Plusa T., Gościński G., Zielińska S. Antibiofilm and Antimicrobial-Enhancing Activity of *Chelidonium majus* and *Corydalis cheilanthifolia* Extracts against Multidrug-Resistant *Helicobacter pylori*. *Pathogens*. 2021. No. 10(8). 1033 p. <https://doi.org/10.3390/pathogens10081033>
- Mahdi Yahyazadeh, Rieke Meinen, Robert Hänsch, Sara Abouzeid, Dirk Selmar. Impact of drought and salt stress on the biosynthesis of alkaloids in *Chelidonium majus* L. *Phytochemistry*. 2018. No. 152. P. 204–212. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2018.05.007>.
- Myriam Esteban-Ballesteros, Jaime Sanchis, Camino Gutiérrez-Corbo, Rafael Balaña-Fouce, Francisco A. Rojo-Vázquez, Camino González-Lanza, María Martínez-Valladares. In vitro anthelmintic activity and safety of different plant species against the ovine gastrointestinal nematode *Teladorsagia circumcincta*. *Research in Veterinary Science*. 2019. No. 123. P. 153–158. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2019.01.004>.
- Nawrot J., Wilk-Jędrusik M., Nawrot S., Nawrot K., Wilk B., Dawid-Pač R., Urbańska M., Micek I., Nowak G., Gornowicz-Porowska J. Milky Sap of Greater Celandine (*Chelidonium majus* L.) and Anti-Viral Properties. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. No. 17(5). 1540 p. <https://doi.org/10.3390/ijerph17051540>
- Petruczyński A., Tuzimski T., Plech T., Misiurek J., Szalast K., Szymczak G. Comparison of Anticancer Activity and HPLC-DAD Determination of Selected Isoquinoline Alkaloids from *Thalictrum foetidum*, *Berberis* sp. and *Chelidonium majus* Extracts. *Molecules*. 2019. No. 24(19). 3417 p. <https://doi.org/10.3390/molecules24193417>
- Popenda Łukasz. Protoberberine Compounds Extracted From *Chelidonium majus* L. As Novel Natural Photosensitizers for Cancer Therapy. *Phytomedicine*. 2019. No. 64. 152919 p. doi: 10.1016/j.phymed.2019.152919
- Rudenko S. S., Kostyshyn S. S., Morozova T. V. General ecology. Practical course: teaching study guide for students of higher education. Part 2. *Natural terrestrial ecosystems*. Chernivtsi, 2008. 320 p.

14. Sadra Hesami, Shahabeddin Safi, Kambiz Larijani, Hassanali Naghdi Badi, Vahid Abdossi, Milad Hadidi, Synthesis and characterization of chitosan nanoparticles loaded with greater celandine (*Chelidonium majus* L.) essential oil as an anticancer agent on MCF-7 cell line. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2022. No. 194. P. 974–981. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.11.155>.
15. Sathasivam R., Yeo H.J., Park C.H., Choi M., Kwon H., Sim J.E., Park S.U., Kim J.K. Molecular Characterization, Expression Analysis of Carotenoid, Xanthophyll, Apocarotenoid Pathway Genes, and Carotenoid and Xanthophyll Accumulation in *Chelidonium majus* L. *Plants*. 2021. No. 10(8). 1753 p. <https://doi.org/10.3390/plants10081753>
16. Samatadze T.E., Yurkevich O.Y., Hazieva F.M., Konyaeva E.A., Morozov A.I., Zoshchuk S.A., Amosova A.V., Muravenko O.V. Agro-Morphological, Microanatomical and Molecular Cytogenetic Characterization of the Medicinal Plant *Chelidonium majus* L. *Plants*. 2020. No. 9(10). 1396 p. <https://doi.org/10.3390/plants9101396>
17. Víctor N. Suárez-Santiago, M. Carmen Fernández-Fernández, Miguel A. Pérez-Gutiérrez, Samira Ben-Menni Schuler, Maria J. Salinas-Bonillo, Ana T. Romero-García, Morphological and ultrastructural diversity and character evolution of the pollen in the tribe Chelidonieae (Papaveraceae). *Review of Palaeobotany and Palynology*. 2018. No 258. P. 83–97. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2018.07.004>.
18. Wang X., Decker C.C., Zechner L. In vitro wound healing of tumor cells: inhibition of cell migration by selected cytotoxic alkaloids. *BMC Pharmacol Toxicol*. 2019. No. 20. 4 p. <https://doi.org/10.1186/s40360-018-0284-4>
19. Warowicka A., Qasem B., Dera-Szymanowska A., Wołui-Cholewa M., Florczak P., Horst N., Napierała M., Szymanowski K., Popenda Ł., Bartkowiak G., Florek E., Goździcka-Józefiak A., Młynarz P. Effect of Protoberberine-Rich Fraction of *Chelidonium majus* L. on Endometriosis Regression. *Pharmaceutics*. 2021. No. 13(7). 931 p. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13070931>
20. Zielińska S., Matkowski A., Dydak K., Czerwińska M.E., Dziągwa-Becker M., Kucharski M., Wójciak M., Sowa I., Plińska S., Fijałkowski K., Ciecholewska-Juško D., Broda M., Gorczyca D., Junka A. Bacterial Nanocellulose Fortified with Antimicrobial and Anti-Inflammatory Natural Products from *Chelidonium majus* Plant Cell Cultures. *Materials*. 2022. No. 15(1). 16 p. <https://doi.org/10.3390/ma15010016>

ОСОБЛИВОСТІ ІНТРОДУКЦІЇ ВИДІВ РОДУ *SEDUM* L. В УМОВАХ СТЕПОВОЇ ЗОНИ УКРАЇНИ

Зубровська О.М.

Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України
вул. Маршака, 50, 50089, м. Кривий Ріг
zubrovskaya@ukr.net

У статті наведено еколого-біологічні особливості розвитку чотирьох видів роду *Sedum* L. (*S. aizoon* L., *S. album* L., *S. reflexum* L., *S. spurium* M. Bieb.) при їх інтродукції протягом десяти років в умовах Криворізького ботанічного саду НАН України (Правобережний степ України). Досліджувані види очитків відрізнялися за життєвими формами, особливостями сезонного розвитку та здатністю до самовідновлення. Встановлено, що в нових умовах зростання вони проходили повний цикл розвитку, утворювали життєздатне насіння та виявляли достатній рівень декоративності. У більшості видів роду *Sedum* L. відповідно до погодних умов вегетація розпочиналася у другій-третьій декаді березня і тривала понад 230 днів, що характеризує очитки як довготривало вегетуючі рослини. За останні п'ять років вегетаційний період збільшився на 20-35 днів, за рахунок відносно теплої осені та зими. Показано, що дати початку цвітіння у зимовозелених очитків, на відміну від *S. aizoon*, у різні роки варіювали та безпосередньо залежали від накопичення ефективних температур. Період квітування не змінювався і, за середньорічними даними, тривав 21-30 днів. Зазначимо, що за сприятливих погодних умов у серпні-вересні у *S. spurium* і *S. aizoon* спостерігали повторне цвітіння. В умовах Правобережного Степу України насіння видів *Sedum* L. повністю визрівало наприкінці липня – початку серпня, проте не завжди було повноцінно сформованим. За морфологічною будовою воно було еліптичним, довгастим ланцето- або яйцеподібним, завдовжки 1,1-1,2 мм, завширшки 0,3-0,6 мм, темно-коричневого чи бурого (*S. album*) кольору. Залежно від виду маса 1000 насінин складала 0,05-0,08 г. Схожість насіння досліджуваних очитків коливалася в межах 77,6-83,1%, а основним фактором зниження його посівних якостей була невивірненість (до 20% від загальної кількості). Проведена комплексна оцінка успішності інтродукції досліджуваних видів роду *Sedum* L. дозволила стверджувати, що всі вони є дуже перспективними для введення у культуру в умовах Правобережного Степу України, насамперед для урізноманітнення асортименту квітково-декоративних багаторічників у озелененні великих промислових міст. Певні недоліки повноцінного відновлення окремих видів (*S. aizoon* і *S. album*) в нових умовах зростання можуть бути компенсовані за рахунок способів їх розмноження і оновлення рослин у насадженнях кожні 3-4 роки. **Ключові слова:** *Sedum* L., фенологія, насіння, інтродукція, розширення асортименту.

Features of the introduction of species of the genus *Sedum* L. in the conditions of the Steppe of Ukraine. Zubrovskaya O.

The article contains the ecological and biological features of the development of four species of the genus *Sedum* L. (*S. aizoon* L., *S. album* L., *S. reflexum* L., *S. spurium* M. Bieb.) during their introduction for ten years in the conditions of Kryvyi Rih Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine (Right-Bank Steppe of Ukraine). The studied species of the genus *Sedum* L. were different in life forms, features of seasonal development and the ability to recover. It was established that in the new growth conditions they went through a full cycle of development, formed viable seeds and showed a sufficient level of decorativeness. In most species of the genus *Sedum* L., respectively to the weather conditions, the vegetation began in the second-third decade of March and lasted more than 230 days, which characterizes them as long-term vegetative plants. Over the past five years, the growing season has increased by 20-35 days, which is associated with relatively warm autumn and winter. It was shown that in winter-green *Sedum* species, unlike to *S. aizoon*, the dates of the beginning of flowering varied in different years and directly depended on the accumulation of effective temperatures. The duration of flowering was not changed and, according to the average annual data, lasted 21-30 days. It should be noted that under favorable weather conditions in August-September, *S. spurium* and *S. aizoon* bloomed again. In the conditions of the Right-Bank Steppe of Ukraine, the seeds species of the genus *Sedum* L. fully matured at the end of July – beginning of August, but were not always full-fledged formed. According to its morphological structure, the seeds was elliptic, oblong lanceolate or ovoid, 1.1-1.2 mm long, 0.3-0.6 mm wide, dark brown or brown (*S. album*) in color. Depending on the species, the weight of 1000 seeds was 0.05-0.08 g. The germination of the seeds of the studied species of the genus *Sedum* L. ranged from 77.6 to 83.1%, and the main factor in reducing its seed quality was the incompleteness of the seeds (up to 20% of the total number). A comprehensive assessment of the success of the introduction of the studied species of the genus *Sedum* L. was carried out. This allowed us to state that all of them are very promising for introduction into culture in the conditions of the Right-Bank Steppe of Ukraine. First of all, the species of the genus *Sedum* L. will allow to expand the assortment of flower and decorative perennials in the landscaping of large industrial cities. Certain shortcomings of the full recovery of certain species (*S. aizoon* and *S. album*) in new growing conditions can be compensated for by methods of their reproduction and rejuvenation of plants in plantations every 3-4 years. **Key words:** *Sedum* L., phenology, seeds, introduction, expanding the assortment.

Постановка проблеми та актуальність дослідження. Підбір асортименту видів квітково-декоративних рослин для озеленення великих промислових міст і рекультивації порушених земель є актуальною проблемою сьогодення, особливо в умовах зростаю-

чої посушливості клімату. Перспективними в цьому сенсі є види роду *Sedum* L., який налічує близько 500 видів одно-, дво- або багаторічних трав'янистих і чагарникових рослин родини Crassulaceae DC., поширених у Мексиці, Південній Америці,

Центральній та Південній Африці, Азії, Європі, Середземномор'ї та Мадагаскарі [1]. У природній флорі України рід представлений 17 видами [2]. Деякі представники роду є лікарськими рослинами з вираженою седативною, знеболювальною, протизапальною та регенеруючою дією [3,4]. Перспективність інтродукції видів *Sedum* L. у різних еколого-географічних умовах, як відмічено багатьма вченими, зумовлена їх широкою екологічною амплітудою [5, 6, 7] та широкою гамою декоративних якостей. Представники роду *Sedum* L. давно культивуються у культурі, є невибагливими до ґрунтових умов, досить посухостійкими багаторічниками [8, 9]. Більшість видів придатна до широкого впровадження у декоративне садівництво, фітомеліорацію та фармакогнозію [10, 11, 12]. Так, наприклад, низькорослі очитки широко застосовуються як ґрунтопокривні рослини в озелененні кам'янистих та піщаних ділянок, для оформлення бордюрів, "зелених дахів" чи в якості декоративних композицій у рокаріях та контейнерній культурі [13, 14].

Не зважаючи на очевидну перспективність застосування рослин *Sedum* L. у різних типах ландшафтного будівництва Степової зони України використання їх обмежується кількома видами. Для широкого застосування представників роду необхідно детально дослідити біолого-морфологічні особливості росту, розвитку і стійкості, способи розмноження, екологічні потреби очитків в різних умовах зростання. Тому актуальність вивчення еколого-біологічних особливостей та можливостей використання інтродукованих видів очитків у ландшафтній архітектурі промислових міст Степу України не викликає сумніву. Саме тому **метою нашої роботи** було вивчити еколого-біологічні особливості видів роду *Sedum* L. (ритми сезонного розвитку в культурних умовах, опис життєвих форм, особливості насіннєвого розмноження), оцінити успішність їх інтродукції та перспективність використання в якості декоративних рослин для міського озеленення в умовах Степу України.

Матеріали і методи дослідження. Об'єктами дослідження були види роду *Sedum* L.: *S. aizoon* L., *S. album* L., *S. reflexum* L., *S. spurium* M. Bieb. Еколого-біологічні показники очитків визначали за загальноприйнятими біологічними методами дослідження. Сезонний розвиток рослин в умовах Криворізького ботанічного саду НАН України (Правобережний степ України) вивчали за А.С. Дерев'янко і Л.П. Міронець [15] у фазі початку вегетації, бутонізації, цвітіння, дозрівання плодів, кінця вегетації. Феноритмотипи описували за І.В. Борисовою [16], а життєві форми – за С. Раункієром [17]. Дослідження особливостей насіннєвого розмноження видів здійснювали згідно з методичними рекомендаціями з насінництва інтродуцентів [18]. Морфологічні ознаки насіння описували за І.А. Івановою та Н.М. Дудік [19]. Схожість насіння визначали в лабораторних умовах

за температури 24-28 С та освітленості 20-22 тис. лк. Успішність інтродукції видів роду *Sedum* L. оцінювали за В.М. Біловим та Р.А. Карпісоною [20].

Виклад основного матеріалу. *S. aizoon* – очиток живучий. Вид розповсюджений у Сибіру, Північно-Східному Китаї, Північній Монголії [8]. Рoste на відкритих схилах, лісових галявинах, кам'янистих місцях. Багаторічна сукулентна рослина 25-45 см висотою. Кореневище з розвиненими бульбоподібними коренями. Листки чергові, 5-8 см довжиною, до 2 см шириною, продовгувато-ланцетні до лінійних, майже шкірясті [21]. У червні-серпні на прямостоячих квітконосах формуються складні суцвіття 2,5-7,5 см діаметром з золотисто-жовтими квітами.

S. album – очиток білий. Рoste на кам'янистих ґрунтах у Європі, Сибіру, Північній Африці, Малій Азії, Середземномор'ї [7], в Україні зустрічається у Криму та на Закарпатті [22]. Багаторічний сукулент з зимуючим листям, тонким повзучим кореневищем, який утворює щільні килимки до 5-15 см заввишки [23]. Листки зеленого кольору еліптичні 1-1,4 см завдовжки, при недостатньому освітленні з сірувато-блакитним нальотом, на сонці та восени набувають червоного відтінку. Квітконсні пагони до 10-20 см заввишки. Суцвіття розгалужено-щиткоподібне, діаметром 4-5 см, з білими або блідо-рожевими квітками. Квітне у червні-серпні.

S. reflexum – очиток відігнутий або скельний. Поширений у Північній, Центральній і Південно-Східній Європі, де зростає на піщаних і кам'янистих місцях. Багаторічник, який утворює килимки до 20 см висотою. Коренева система представлена галузистими придатковими коренями. Листки довгасті (10-15 x 2-5 мм), м'ясисті, сизо-синьо-зелені [24]. Квітконсні пагони 20-30 см заввишки. Суцвіття – складне з гермафродитними жовтими квітами, розміром 0,5-0,8 см. Квітує у червні-липні.

S. spurium – очиток несправжній або кавказький. Кавказько-малоазійський вид, який зростає на скелястих схилах і субальпійських луках. Утворює нещільні килимки висотою до 15 см. Кореневище довге, повзуче, з тонкими галузистими, волокнистими коренями. Листки довжиною 1-2,5 см, шириною 0,5-1 см, темно-зелені, після заморозків червоніють. Суцвіття складне з рожевими квітами. Квітує у червні-серпні [25].

В наших умовах інтродукції досліджувані види відрізняються різними життєвими формами. Так, *S. album*, *S. reflexum* і *S. spurium* відносяться до вегетативно рухливих наземно-повзучих хамефітів з безрозеточною симподіальною моделлю пагоноутворення. Вегетативні пагони багаторічні, зимуючі, розвиваються протягом всього вегетаційного періоду, але найінтенсивніше після цвітіння. Генеративні пагони відмирають після плодоношення. Відновлення пагонів симподіальне, а закладка бруньок відновлення відбувається у базальній частині генеративних пагонів. Зимують всі улишені пагони,

що розвинулися до зими і базальні частини генеративних пагонів, листки яких відмирають. На другий рік життя головний пагін набуває горизонтального положення, вкорінюється у міжвузлях, дерев'яніє, втрачає листки і виконує функцію епігеогенного кореневища. В подальшому це відбувається і в бокових пагонах першого-другого порядку. Такий інтенсивний ріст вегетативних пагонів, їх вилягання та вкорінення призводить до швидкої дезінтеграції системи пагонів, що вимагає омолодження рослин кожні 3-4 роки.

На відміну від попередніх видів, *S. aizoon* – вегетативно малорухливий короткочореновищний або кистечореновий гемікриптофіт з напіврозеточною моноподіальною моделлю пагоноутворення. Дослідниками показано, що іматурні та віргінільні рослини *S. aizoon* відносяться до кистечоренової біоморфи, проте з часом молоді те середньовікові генеративні рослини можуть формуватися як короткочореновищні [21, 26, 27].

Для прогнозування успішного вирощування рослин важливо дослідити залежність ритмів їх росту і розвитку від кліматичних факторів. При цьому враховується не лише проходження усіх фенологічних фаз рослинами у змінених умовах, але й успішне їх завершення. За особливостями ритмів росту і розвитку при інтродукції у Криворізькому ботанічному саду НАН України протягом 2012-2021 рр. *S. album*, *S. reflexum* і *S. spurium* характеризувались як зимовозелені види з раннім відростанням і літнім квітанням, тоді як *S. aizoon* – весняно-літньозелений вид з раннім відростанням і ранньолітнім квітанням. Їх вегетація відновлювалася відразу після розтавання снігу, як правило у другій-третьій декаді березня і завершувалася в кінці листопада – на початку грудня (табл. 1). Причому, в роки стрімкого підвищення температури навесні, як вдень так і вночі, початок вегетації у більшості видів був

майже одночасним і більш дружнім. Тоді як у роки з більш прохолодними весняними ночами, порівняно з денними температурами, початок вегетації був розтягнутий в часі.

Зазначимо, що за останні п'ять років просліджувалася загальна тенденція для всіх читків – види починали вегетувати на 10-20 діб раніше, а закінчували вегетацію навпаки на 10 (*S. aizoon*) та 15 (*S. spurium*, *S. reflexum*, *S. album*) діб пізніше, що вочевидь пов'язане із зростанням кількості позитивних температур восени та взимку. За середніми даними тривалість вегетаційного періоду в останні роки збільшилася на 20-23 доби і коливалася в межах 230-284 днів, що характеризувало читки як довготривало вегетуючі рослини.

За нашими дослідженнями префлоральний період у читків тривалий – від 69 ± 5 діб у *S. aizoon* до 88 ± 4 діб у *S. album* (дивись табл. 1), що пов'язане з моноциклічним типом пагонів. Дати початку квітання у зимовозелених читків, на відміну від *S. aizoon*, у різні роки варіювали, тоді як тривалість цвітіння достовірно не змінювалася і в середньому тривала 15-20 діб. Триваліше квітання відмічене у *S. spurium* (близько 25 днів) і *S. aizoon* (у межах 30 днів), у яких за сприятливих погодних умов у серпні та вересні часто спостерігалось повторне цвітіння.

Визрівання плодів у досліджуваних видів *Sedum* L. в останні роки розпочиналося в середньому раніше на 20 діб. Так, якщо у 2012-2016 рр. період від початку квітання до появи на рослинах дозрілих плодів тривав 56 ± 4 діб, то у 2017-2021 рр. – 30 ± 4 діб. Встановлене, вочевидь пов'язане з посушливістю і високими температурами повітря під час цвітіння і формування плодів. Так як досліджувані читки в наших умовах рясно квітуть, після плодоношення необхідна обрізка суцвіть для відновлення декоративності рослин і покращення умов росту вегетативних пагонів.

Таблиця 1

Характеристика сезонного ритму розвитку видів *Sedum* L. в умовах Правобережного Степу України (середнє за 2012-2016 рр. та 2017-2021 рр.)

Роки вегетації	Початок вегетації	Бутонізація	Цвітіння		Дозрівання плодів	Кінець вегетації
			початок	кінець		
Sedum aizoon L.						
2012-2016	20.03±3	20.05±5	7.06±9	3.07±3	5.08±5	20.11±6
2017-2021	10.03±3	20.05±3	8.06±3	10.07±5	20.07±5	30.11±6
Sedum album L.						
2012-2016	22.03±5	25.05±6	15.06±4	3.07±5	5.08±3	17.11±10
2017-2021	10.03±7	25.05±7	17.06±5	10.07±4	20.07±5	3.12±10
Sedum reflexum L.						
2012-2016	20.03±3	14.05±4	5.06±3	28.06±7	25.07±7	17.11±10
2017-2021	25.02±10	17.05±5	11.06±5	3.07±5	12.07±3	6.12±10
Sedum spurium M. Bieb.						
2012-2016	20.03±5	1.06±7	10.06±4	5.07±5	25.07±7	4.11±10
2017-2021	25.02±10	3.06±5	16.06±5	10.07±5	12.07±3	6.12±10

Одним з критеріїв успішності інтродукції видів є здатність до природного відновлення в нових умовах зростання за рахунок вегетативного чи насіннєвого розмноження. Здатність очитків до насіннєвої репродукції оцінювали за характером плодоношення і посівними якостями насіння. Дозрівання плодів у досліджуваних видів *Sedum* L. в умовах Правобережного Степу України припадала на II-III декаду липня – початок серпня (дивись табл. 1). За морфологічною будовою насіння дрібне (1,1–1,2 мм завдовжки, 0,3–0,6 мм завширшки), еліптичне, довгасте ланцето- або яйцеподібне, темно-коричневого чи бурого (*S. album*) кольору (табл. 2). Дещо крупніші розміри насіння *S. album* та *S. spurium* були виявлені в умовах Лісостепу України [9]. Залежно від виду маса 1000 насінин коливалася у межах 0,05–0,08 г.

Насіння очитків відзначалося неглибоким фізіологічним спокоєм, а його схожість залежала від виду (табл. 3). Масове проростання насіння у *S. reflexum* та *S. spurium* спостерігалось на 16–20 день, тоді як у *S. aizoon* і *S. album* – на 13–15 день. Середні значення лабораторної схожості насіння видів *Sedum* L. коливалася в межах 77,6–83,1%. Максимальний вихід пророслого насіння спостерігався у *S. aizoon* (83,1%), завдяки чому він легко відновлюється у насадженнях.

Відзначимо, що насіння з високою схожістю утворювалося в середньому раз на три роки. Невиповненість насіння була основним фактором зниження його посівних якостей. Залежно від виду частка невиконаного насіння складала до 20% від загальної кількості. У *S. album* репродукції деяких

років взагалі не містили повноцінного насіння, що, на нашу думку, пов'язане з довготривалими посухами та екстремально високими температурами протягом періоду квітання і формування насіння.

У підсумку, за основними показниками росту та розвитку інтродуцентів та ступенем їх відповідності кліматичним умовам району вирощування нами надано інтегральну оцінку успішності інтродукції видів роду *Sedum* L. в умовах Правобережного Степу України (табл. 4).

Більшість очитків характеризувалася стійким фенологічним спектром, і мали найбільш декоративний вигляд у фазу масового квітання. Загалом всі досліджувані види охарактеризовані нами як дуже перспективні у культурі, а недоліки повноцінного зростання в нових умовах окремих видів (*S. aizoon* і *S. album*) можна компенсувати за рахунок різних способів відновлення рослин і оновлення рослин у насадженнях кожні 3–4 роки.

Головні висновки. Проведені багаторічні інтродукційні дослідження *S. aizoon*, *S. album*, *S. reflexum*, *S. spurium* показали, що в умовах Правобережного Степу України види мають високий адаптаційний потенціал і перспективність. Вони проходять усі фази сезонного розвитку, утворюють життєздатне насіння, зберігають біоморфу, притаманну їм у природі. Вегетативна рухливість, здатність до самосіву, приналежність до зимовозеленого феноритмотипу *S. album*, *S. reflexum* і *S. spurium* забезпечують високе проективне покриття експозицій з їх використанням як ґрунтопокривних рослин протягом тривалого часу, а *S. aizoon* (малорухливий, з ортотропними пагонами) рекомендується застосовувати для ство-

Таблиця 2

Морфологічна будова насіння видів роду *Sedum* L.

Вид	Розміри насінини		Маса 1000 шт., г	Тип поверхні	Форма
	довжина, мм	ширина, мм			
<i>S. aizoon</i> L.	1,2±0,04	0,5±0,01	0,08±0,02	поздовжньо складчаста	еліптична
<i>S. album</i> L.	1,1±0,04	0,3±0,01	0,06±0,01	поздовжньо складчаста	довгасто-ланцето-подібна
<i>S. reflexum</i> L.	1,2±0,05	0,6±0,02	0,08±0,01	поздовжньо складчаста	довгасто-яйцеподібна
<i>S. spurium</i> M. Bieb.	1,2±0,05	0,6±0,03	0,05±0,02	поздовжньо складчаста	довгасто-яйцеподібна

Таблиця 3

Характеристика проростання насіння видів *Sedum* L. (середні за 2012–2021 рр.)

Вид	Всього досліджено насіння, шт	Період проростання, дні	Кількість непророслого насіння, %		Схожість, %
			невиповнене	загнивши	
<i>S. aizoon</i> L.	250	15	12,8	4,1	83,1
<i>S. album</i> L.	250	13	19,1	3,3	77,6
<i>S. reflexum</i> L.	300	20	17,0	5,1	77,9
<i>S. spurium</i> M. Bieb.	300	16	16,6	4,0	79,4

Таблиця 4

Оцінка інтродукції видів роду *Sedum* L.

Вид	Розмноження		Основні фенологічні фази	Стійкість до хвороб, шкідників	Стійкість до несприят. погодних умов	Сумарний бал	Перспективність у культурі
	насінням	вегетативно					
<i>S. aizoon</i> L.	3*	2	3	3	3	14	ДП
<i>S. album</i> L.	2	3	2	3	2	12	ДП
<i>S. reflexum</i> L.	3	3	3	3	3	15	ДП
<i>S. spurium</i> M. Bieb.	3	3	2	3	3	14	ДП

Примітка: * — максимальна оцінка ознаки за В.Н. Биловим, Р.А. Карпісоною (1978) — 3 бали; ДП — дуже перспективні.

рення невеликих куртин чи в якості бордюрної рослини. Тривала вегетація й рясне квітнування забезпечують декоративний ефект очитків протягом всього безсніжного періоду. Досліджувані види *Sedum* L. можуть бути рекомендовані для культивування в умовах Правобережного Степу України.

Перспективи використання результатів дослідження. Встановлені результати дозволять доповнити і оновити список невибагливих багаторічних

квітничково-декоративних рослин для озеленення міських територій і рекреаційних зон населених пунктів Правобережного Степу України та удосконалити агротехніку їх вирощування. Використання видів *Sedum* L. з різним габітусом, термінами цвітіння і забарвленням надземної частини дасть змогу створювати оригінальні квітничкові композиції, які матимуть декоративний вигляд упродовж всього вегетаційного періоду.

Література

- Jacobsen H. Das Sukkulentenlexikon. Kurze Beschreibung, Herkunftsangaben und Synonymie der sukkulenten Pflanzen mit Ausnahme der *Castaceae*. Stuttgart (D): Gustav Fischer Verlag. 2 Ed., 1981. 645 p.
- Mosyakin S.L., Fedoronchuk M.M. Vascular plants of Ukraine: A nomenclatural checklist. Kyiv: M.G. Kholodny Institute of Botany, 1999. 346 p.
- Мінарченко В.М. Лікарські судинні рослини України (медичне та ресурсне значення). Київ: Фітосоціоцентр, 2005. 324 с.
- Jung H.-J., Kang H.-J., Song Y. S., Park E.-H., Kim Y.-M., Lim C.-J. Anti-inflammatory, anti-angiogenic and anti-nociceptive activities of *Sedum sarmentosum* extract. *Journal of Ethnopharmacology*. 2008. 116. P. 138-143.
- Monterusso M.A., Rowe D.B., Rugh C.L. Establishment and Persistence of *Sedum* spp. and Native Taxa for Green Roof Applications. *Hort Science*. 2005. Vol. 40(2). P. 391-396. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.40.2.391>.
- Butler C., Orians C.M. Sedum cools soil and can improve neighboring plant performance during water deficit on a green roof. *Ecological Engineering*. 2011. Vol. 37(11). P. 1796-1803. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.06.025>.
- Mifsud S., Stephenson R., Thiede J. *Sedum album* subsp. *rupi-melitense* (Crassulaceae), a new vegetative reproducing subspecies from Malta (Maltese Islands, Central Mediterranean). *Phytotaxa*. 2015. Vol. 227(2). P. 135-146. DOI: 10.11646/phytotaxa.227.2.3.
- Stephenson R. Stonecrops of the Maltese Island group. *Sedum Society Newsletter*. 2014. 111. P. 4-7.
- Пушка І.М., Величко Ю.А., Осіпов М.Ю., Козаченко І.В. Еколого-біологічні особливості інтродукованих видів роду *Sedum* L. в умовах Правобережного Лісостепу України. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 109. Ч. 1. С. 212-218. DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.109-1.31>.
- Березкіна В.І. Перспективи використання представників роду *Sedum* L. для озеленення міст і рекреаційних зон. *Роль ботаничних садів в зеленому будівництві міст, курортних та рекреаційних зон: матеріали міжнародної наукової конференції*. Одеса, 2002. Ч. 1. С. 14-17.
- Caldwell R.L. Effects of Air Pollution on Vegetation. *Progressive Agriculture in Arizona*. 2016. P. 10-11. <http://hdl.handle.net/10150/300199>.
- Приседський Ю.Г., Лихолат Ю.В. Адаптація рослин до антропогенних чинників: підручник для студентів спеціальностей «Біологія», «Екологія» та «Середня освіта» вищих навчальних закладів. Вінниця: Нілан-ЛТД, 2017. 98 с.
- Солоненко В.І., Ватаманюк О.В. Класифікація видів вертикального озеленення в ландшафтному будівництві. *Лісове та садово-паркове господарство*. 2017. № 5. С. 126-136.
- Ковалевський С.Б., Кузнецов С.І., Татарчук Р.Я., Татарчук В.М. Кам'яністі сади м. Києва: сучасний стан, флористичний склад та перспективи створення. Київ: ФОП Ямчинський О.В., 2020. 266 с.
- Дерев'яно А.С., Міроненко Л.П. Методика організації фенологічних спостережень з біології рослин. *Природничі науки*. 2018. Вип. 15. С. 70-75.
- Борисова И.В. Сезонная динамика растительного сообщества. В кн.: Полевая геоботаника. Л.: Наука, 1972. С. 5-94.
- Raunkiaer C. The life forms of plants and statistical plant geography. Oxford: Clarendon Press, 1934. 632 p.
- Культиасов М.В. Эколого-исторический метод и его значение в теории и практике интродукции растений. *Известия АН СССР*. 1958. № 3. С. 257-270.
- Иванова И.А., Дудик Н.М. К методике описания морфологических признаков семян. В кн.: Составление определителей растений по плодам и семенам. Киев: Наук. думка, 1974, С. 43-54.
- Былов В.Н., Карписонова Р.А. Принципы создания и изучения коллекции малораспространенных декоративных многолетников. *Бюллетень ГБС*. 1978. Вып. 107. С. 77-82.

21. Genera of *Crassulaceae* subfam. *Sedoideae* / United States Department of Agriculture. Germplasm Resources Information Network (GRIN). 2007. Режим доступу: <http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/gnlist.pl?1764>.
22. Бордзиловський Є.І. Рід очиток – *Sedum* L. У кн.: Клоков М.В. (ред.). Флора УРСР. Київ: Вид-во АН УРСР, 1953. Т. 5. С. 454-467.
23. Березкіна В.І. Особливості анатомо-морфологічної будови вегетативних органів видів секції *Sedum* роду *Sedum* L. (Crassulaceae DC.). *Modern Phytomorphology*. 2013. Vol. 4. P. 299-301.
24. Gallo L., Zika P.F. A taxonomic study of *Sedum* series *Rupestris* (Crassulaceae) naturalized in North America. *Phytotaxa*. 2014. Vol. 175(1). P. 19-28. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.175.1.2>.
25. Batsatsashvili K., Mehdiyeva N.P., Kikvidze Z., Khutsishvili M., Maisaia I., Sikharulidze Sh., Tchelidze D., Alizade V.M., Paniagua Zambrana N.Y., Bussmann R.W. *Sedum caucasicum* (Grossh.) Boriss. *Sedum spurium* M. Bieb. Crassulaceae. In book: *Ethnobotany of the Caucasus*. Editors: Bussmann R.W. 2017. P. 635-640. DOI:10.1007/978-3-319-49412-8_128.
26. Amano M. Biosystematic study of *Sedum* L. Subgenus *Aizoon* (Crassulaceae). *Bot. Mag. Tokyo*. 1990. Vol. 103. P. 67-85.
27. Takanori Kuronuma, Hitoshi Watanabe. Physiological and Morphological Traits and Competence for Carbon Sequestration of Several Green Roof Plants under a Controlled Environmental System. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 2016. Vol. 141(6). P. 583-590. DOI: 10.21273/JASHS03909-16.

ФАУНІСТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА І ТАКСОНОМІЧНА СТРУКТУРА УГРУПОВАНЬ ВЕСЛОНОГИХ РАКІВ (CRUSTACEA : COPEPODA) ВОДОЙМИ ГЛИННА НАВАРІЯ

Іванець О.Р.

Львівський національний університет імені Івана Франка

вул. Грушевського, 4, 79005, м. Львів

oleh_ivanets@ukr.net

Представлена таксономічна структура та фауна веслоногих раків (*Copepoda*) водойми Глинна Наварія (Щирецьке водосховище). Водойма Глинна Наварія штучна, побудована 1949 року на р. Щирка, (басейн р. Дністер). Вона розташовується у регіоні східного Прикарпаття приблизно за 10 км. від м. Львова і використовується для технічного водопостачання, рекреації та риболовлі. Основою роботи послужили 483 зразки, зібрані загальноприйнятими у гідробіології методами протягом 2007-2018 років. У водоймі зареєстровано десять видів веслоногих раків: *Diaptomus* (*Diaptomus*) *castor* (Jurine, 1820), *Eudiaptomus graciloides* (Lilljeborg, 1888), *Acanthocyclops vernalis* (Fischer, 1853), *Diacyclops languidus* (G. O. Sars, 1863), *Cyclops furcifer* (Claus, 1857), *Cyclops strenuus* Fischer, 1851, *Cyclops vicinus* Ulanine, 1875, *Mesocyclops leuckarti* (Claus, 1857), *Metacyclops gracilis* (Lilljeborg, 1853), *Thermocyclops crassus* (Fischer, 1853). Означені видові таксони належать до двох рядів (*Calanoida*, *Cyclopoida*), двох родин (*Diaptomidae*, *Cyclopidae*), двох підродин (*Diaptominae*, *Cyclopinae*), восьми родів (*Diaptomus*, *Eudiaptomus*, *Acanthocyclops*, *Diacyclops*, *Cyclops*, *Mesocyclops*, *Metacyclops*, *Thermocyclops*), одного підроду (*Diaptomus*). Більше таксономічне різноманіття належить ряду *Cyclopoida* (вісім таксономічних одиниць надвидового рангу). З врахуванням цього показника ряд *Calanoida* менш різноманітний (чотири таксономічні одиниці надвидового рангу). З врахуванням таксономічних одиниць, що характеризують ранг роду більш різноманітна родина *Cyclopidae*. Вона включає шість родів (*Acanthocyclops*, *Diacyclops*, *Cyclops*, *Mesocyclops*, *Metacyclops*, *Thermocyclops*). Родина *Diaptomidae* відзначається меншою різноманітністю. Вона об'єднує два роди: *Diaptomus*, *Eudiaptomus*. Родина *Diaptomidae* включає один підрід: *Diaptomus*. Родина *Cyclopidae* не представлена підродами. Родини *Diaptomidae* і *Cyclopidae* включають також по одній підродині відповідно: *Diaptominae* і *Cyclopinae*. Найбільш різноманітний у видовому відношенні рід *Cyclops*, який включає три види. В усіх інших родах по одному видовому таксону. **Ключові слова:** *Copepoda*, *Crustacea*, фауна, Глинна Наварія.

Faunal characteristics and taxonomic structure of groups of copepods (*Crustacea: Copepoda*) of the Hlynna Navariya reservoir. Ivanets O.

The taxonomic structure and fauna of copepods (*Copepoda*) of the Hlynna Navariya reservoir (Shchyrets Reservoir) are presented. The Hlynna Navariya reservoir is artificial, built in 1949 on the Shchyryka River (basin of the Dniester River). It is located in the region of eastern Prykarpattia, approximately 10 km away from the city of Lviv and is used for technical water supply, recreation and fishing. The basis of the work was 483 samples collected by generally accepted methods in hydrobiology during 2007-2018. Ten species of copepods are registered in the reservoir: *Diaptomus* (*Diaptomus*) *castor* (Jurine, 1820), *Eudiaptomus graciloides* (Lilljeborg, 1888), *Acanthocyclops vernalis* (Fischer, 1853), *Diacyclops languidus* (G. O. Sars, 1863), *Cyclops furcifer* (Claus, 1857), *Cyclops strenuus* Fischer, 1851, *Cyclops vicinus* Ulanine, 1875, *Mesocyclops leuckarti* (Claus, 1857), *Metacyclops gracilis* (Lilljeborg, 1853), *Thermocyclops crassus* (Fischer, 1853). The specified species taxa belong to two orders (*Calanoida*, *Cyclopoida*), two families (*Diaptomidae*, *Cyclopidae*), two subfamilies (*Diaptominae*, *Cyclopinae*), eight genera (*Diaptomus*, *Eudiaptomus*, *Acanthocyclops*, *Diacyclops*, *Cyclops*, *Mesocyclops*, *Metacyclops*, *Thermocyclops*), one subgenus (*Diaptomus*). Greater taxonomic diversity belongs to the order *Cyclopoida* (eight taxonomic units of supraspecific rank). Taking this indicator into account, the *Calanoida* series is less diverse (four taxonomic units of superspecific rank). Taking into account the taxonomic units characterizing the rank of the genus, the *Cyclopidae* family is more diverse. It includes six genera (*Acanthocyclops*, *Diacyclops*, *Cyclops*, *Mesocyclops*, *Metacyclops*, *Thermocyclops*). The *Diaptomidae* family is characterized by less diversity. It unites two genera: *Diaptomus*, *Eudiaptomus*. The family *Diaptomidae* includes one subgenus: *Diaptomus*. The family *Cyclopidae* is not represented by subgenera. The families *Diaptomidae* and *Cyclopidae* also include one subfamily each: *Diaptominae* and *Cyclopinae*. The genus *Cyclops*, which includes three species, is the most diverse in terms of species. All other genera have one specific taxon each. **Key words:** *Copepoda*, *Crustacea*, fauna, Hlynna Navariya.

Постановка проблеми. Веслоногі раки (*Copepoda*) – важливий компонент зоопланктонних угруповань. Гідробіонти, відповідно до рекомендацій Водної рамкової директиви (The Water Framework Directive 2000/60/EC) [1] включені у систему гідроекологічного моніторингу. Зоопланктон використовуються для встановлення екологічних нормативів якості поверхневих вод України [2]. Веслоногі раки детермінують низку процесів, суттєвих з огляду на

трофодинамічні характеристики та продукційно-деструкційні закономірності у водоймах. Вони – цінний компонент раціону молоді риби.

Українське Розточчя на теренах якого розташована Глинна Наварія, має велику вагу у визначенні гідрологічних характеристик водойм центральної та східної Європи. Така значимість цього регіону обумовлена тим, що по Розточчю проходить частина Головного європейського вододілу [3]. На

Розточчі створений біосферний резерват ЮНЕСКО (Biosphere Reserves) «Розточчя», який включений до світової мережі біосферних заповідників.

Актуальність дослідження. Даних щодо регіональних фаун зоопланктону на сьогодні недостатньо. Водночас, така інформація є визначальною в проведенні гідроекологічного моніторингу. Такі відомості необхідні при з'ясуванні санітарного стану водойм із застосуванням методів біологічної індикації, дослідженні раціонів іхтіофауни, продукційно-деструкційних та трофодинамічних закономірностей.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження проводилось в межах науково-дослідних тем «Оптимізація екологічної мережі транскордонних об'єктів природно-заповідного фонду заходу України у рамках Програми ЮНЕСКО «Людина та біосфера» та «Ценотичні зв'язки ключових видів як основа збереження та відтворення біорізноманіття водотоків Європейського вододілу».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Фауна веслоногих раків заходу України досліджувалася у структурі зоопланктоценозів водойм різноманітного типу [4]. Літературних даних щодо гідробіологічних та гідрохімічних характеристик водойми Глинна Наварія небагато. Вивчалися закономірності розвитку зоопланктону у весняний період [5], простежувалися гідрохімічні характеристики Глинної Наварії [6], та роль цієї водойми у формуванні ландшафтно-екологічних передумов міського середовища [7]. Детальніший аналіз означених літературних джерел наведений у публікації [8]. Розглядалася також фауністична характеристика угруповань коловерток, гіллястовусих раків та веслоногих раків роду *Cyclops* Глинної Наварії [8, 9, 10].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Мета роботи – дослідження фауни і таксономічної структури угруповань веслоногих раків (*Copepoda*) водойми Глинна Наварія (Щирецьке водосховище). Досягнення поставленої мети передбачало виконання таких завдань: 1) впорядкування списку фауни *Copepoda* відповідно до сучасної систематики; 2) встановлення таксономічної різноманітності рядів *Copepoda* із врахуванням надвидових таксонів; 3) порівняння родин *Copepoda* з огляду на таксономічні одиниці надвидового рангу.

Новизна. Згідно із сучасними таксономічними підходами проведено, фауністичний аналіз копепоценозу Глинної Наварії. Подано оцінку таксономічної різноманітності рядів *Copepoda* з врахуванням надвидових таксонів. Здійснено компаративний аналіз родин *Copepoda* з огляду на таксономічні одиниці надвидового рангу.

Методологічне або загальнонаукове значення. Веслоногі раки відіграють важливу роль у детермінації продукційно-деструкційних процесів водойм. Ці організми – вагомий компонент зоопланктоце-

нозів. Водночас, даних щодо їх регіональних фаун недостатньо. Популяції *Copepoda* у гідробіоценозах досягають значних показників розвитку, що обумовлює їх значимість у детермінації трофодинамічних характеристик, вони є важливою складовою раціонів різноманітних гідробіонтів. Фауністичні особливості копепоценозів є важливим компонентом системи біологічної індикації якості води, з'ясування їх санітарного стану. Матеріали щодо регіональних фаун веслоногих раків є значущими у системі гідроекологічного моніторингу.

Матеріал та методи досліджень. Гідробіологічні зразки (483 проби) протягом 2007 – 2018 років відбиралися загальноприйнятими в гідробіології методами [11, 12]. Дослідження проводили на живому і фіксованому матеріалі, визначення видових таксонів *Copepoda* виконували за [13]. Список фауни *Copepoda* впорядковували відповідно до [13].

Виклад основного матеріалу. На сьогодні недостатньо даних щодо регіональних фауністичних характеристик угруповань веслоногих раків, які відіграють вагомий роль у гідробіоценозах. Водойма Глинна Наварія штучна, побудована 1949 року на р. Щирка, що відноситься до басейну р. Дністер. Інша назва цієї водойми – Щирецьке водосховище. Вона розташовується у регіоні східного Прикарпаття приблизно за 10 км. від м. Львова і використовується для технічного водопостачання, рекреації та риболовлі [14].

Copepoda значною мірою детермінують продукційно-деструкційні процеси гідроекосистем та є важливим компонентом раціону іхтіофауни багатьох промислових риб. Циклопи – проміжні живителі багатьох гельмінтів, які в дорослому стані паразитують у свійських та диких водоплавних птахів, хижих ссавців, а також в людини [13, 15, 16]. Водночас, *Copepoda* самі є середовищем паразитування різноманітних організмів. Особливості будови та біології веслоногих раків привертають увагу і при вирішенні загальних проблем еволюції тваринного світу, вони мають значний теоретичний інтерес [15].

Перші згадки про *Copepoda* на теренах Галичини знаходимо у видатного польського гідробіолога А. Вежейського [17, 18, 19].

Фауна веслоногих (*Copepoda*) водойми Глинна Наварія представлена наступними таксонами.

Веслоногі раки (*Copepoda*) водойми Глинна Наварія

Підклас *Copepoda* Milne-Edwards, 1840

Ряд *Calanoida* (*Calaniformes*) G. O. Sars, 1903

Родина *Diaptomidae* Baird, 1850

Підродина *Diaptominae* Kiefer, 1932

Рід *Diaptomus* Westwood, 1836

Підрід *Diaptomus* Westwood, 1836, (*Diaptomus*) Kiefer 1978

Diaptomus* (*D.*) *castor (Jurine, 1820)

Рід *Eudiaptomus* Kiefer, 1932

Таблиця 1

Таксономічна структура копеподценозу водойми Глинна Наварія

Ряд	Родина	Підродина	Рід	Підрід	Вид
Calanoida	Diaptomidae	Diaptominae	<i>Diaptomus</i>	<i>Diaptomus</i>	<i>D. (D.) castor</i>
			<i>Eudiaptomus</i>		<i>E. graciloides</i>
Cyclopoida	Cyclopidae	Cyclopinae	<i>Acanthocyclops</i>		<i>A. vernalis</i>
			<i>Diacyclops</i>		<i>D. languidus</i>
			<i>Cyclops</i>		<i>C. furcifer</i> <i>C. strenuus</i> <i>C. vicinus</i>
			<i>Mesocyclops</i>		<i>M. leuckarti</i>
			<i>Metacyclops</i>		<i>M. gracilis</i>
			<i>Thermocyclops</i>		<i>T. crassus</i>

Eudiaptomus graciloides (Lilljeborg, 1888)

Ряд *Cyclopoida* (*Cyclopiformes*) Burmeister, 1835

Родина *Cyclopidae* Rafinesque, 1815

Підродина *Cyclopinae* Kiefer, 1927

Рід *Acanthocyclops* Kiefer, 1927

Acanthocyclops vernalis (Fischer, 1853)

Рід *Diacyclops* Kiefer, 1927

Diacyclops languidus (G. O. Sars, 1863)

Рід *Cyclops* O. F. Müller, 1776 (s. str. Kiefer, 1939)

Cyclops furcifer (Claus, 1857)

Cyclops strenuus Fischer, 1851

Cyclops vicinus Ulanine, 1875

Рід *Mesocyclops* (G. O. Sars, 1914)

Mesocyclops leuckarti (Claus, 1857)

Рід *Metacyclops* (Kiefer, 1927)

Metacyclops gracilis (Lilljeborg, 1853)

Рід *Thermocyclops* (Kiefer, 1927)

Thermocyclops crassus (Fischer, 1853)

Проаналізуємо таксономічну структуру копеподценозу водойми Глинна Наварія (табл. 1). У водоймі зареєстровано десять видів веслоногих раків, які належать до двох рядів (*Calanoida*, *Cyclopoida*), двох родин (*Diaptomidae*, *Cyclopidae*), восьми родів (*Diaptomus*, *Eudiaptomus*, *Acanthocyclops*, *Diacyclops*, *Cyclops*, *Mesocyclops*, *Metacyclops*, *Thermocyclops*).

Більше таксономічне різноманіття належить ряду *Cyclopoida* (вісім таксономічних одиниць надвидового рангу). З врахуванням цього показника ряд *Calanoida* менш різноманітний (чотири таксономічні одиниці надвидового рангу).

Порівнюємо родини *Copepoda* з врахуванням таксономічних одиниць що характеризують ранг роду. Так, з врахуванням цього критерію більш різноманітна родина *Cyclopidae*. Вона включає шість родів (*Acanthocyclops*, *Diacyclops*, *Cyclops*, *Mesocyclops*, *Metacyclops*, *Thermocyclops*).

Родина *Diaptomidae* відзначається меншою різноманітністю. Вона об'єднує два роди: *Diaptomus*, *Eudiaptomus*.

Подано порівняльну характеристику родин та родів з врахуванням більш низьких таксономічних категорій надвидового рангу, що визначають підродина та підроди. Родина *Diaptomidae* включає один підрід: *Diaptomus*. Родина *Cyclopidae* не представлена підродами.

Родини *Diaptomidae* і *Cyclopidae* включають також по одній підродині відповідно: *Diaptominae* і *Cyclopinae*.

Найбільш різноманітний у видовому відношенні рід *Cyclops*, який включає три види. В усіх інших родах по одному видовому таксону.

Головні висновки. Отже, у водоймі Глинна Наварія зареєстровано десять видів веслоногих раків, які належать до двох рядів, двох родин, восьми родів і одного підроду. У структурі копеподценозу виділено також дві підродини.

Більше таксономічне різноманіття належить ряду *Cyclopoida* (вісім таксономічних одиниць надвидового рангу). З врахуванням цього показника ряд *Calanoida* менш різноманітний (чотири таксономічні одиниці надвидового рангу). Найбільш різноманітний у видовому відношенні рід *Cyclops*, який включає три види. В усіх інших родах зареєстровано по одному видовому таксону.

Перспективи використання результатів дослідження. Фауністична характеристика копеподценозів – одна із важливих складових системи гідроекологічного моніторингу та визначення ефективності процесів самоочищення водойм. Отримані результати можуть бути використані для дослідження трофодинамічних характеристик, закономірностей продукційно-деструкційних процесів, визначення санітарного стану водойми Глинна Наварія із застосуванням методів біологічної індикації якості води.

Література

1. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*. L 327, 22.12.2000. 72 p.

2. Романенко В.Д., Жукинський В.М., Оксіюк О.П., Яцик А.В., Чернявська А.П., Васенко О.Г., Верниченко А.А. Методика встановлення і використання екологічних нормативів якості поверхневих вод суші та естуаріїв України. К., 2001. 48 с.
3. Ковальчук І., Петровська М. Геоєкологія Розточчя: монографія. Львів: Вид. центр ЛНУ ім. І. Франка, 2003. 192 с.
4. Ivanets O. R. The fauna of *Rotatoria* and microcrustaceans (*Cladocera*, *Copepoda*) of the Ukrainian Roztocze and its surroundings. *Development of natural sciences in countries of the European Union taking into account the challenges of XXI century: Collective monograph*. Lublin : Izdawniciba "Baltija Publishing", 2018. P. 183–196.
5. Цьонь Н.І., Сярий Б.Г., Борецька І.М., Бобеляк Л.Й., Хижняк М.І., Думич О.Я. Формування весняного зоопланктону водосховища Глинна Наварія. *Стан і біорізноманіття екосистем Шацького національного природного парку*: матеріали наук. конф. 12 – 15 вересня 2013 р. Львів: Сполом, 2013. С. 83–84.
6. Добрянська Г.М., Ковальчук О.М., Кориляк М.З., Качай Г.В., Юрчак С.В. Гідрохімічні дослідження водосховища Глинна Наварія. *Стан і біорізноманіття екосистем Шацького національного природного парку*: матеріали наук. конф. 12 – 15 вересня 2013 р. Львів: Сполом, 2013. С. 22.
7. Русанова І.В., Шульга Г.М. Ландшафтно-екологічні передумови формування міського середовища. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2003. № 13.5. С. 220–223.
8. Іванець О. Р. Фауністична характеристика угруповань коловерток (*Rotifera* : *Rotatoria*) водойми Глинна Наварія. *Екологічні науки*. 2022. № 2 (41). С. 119–124. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.2-41.20>
9. Іванець О. Р. Таксономічна структура та фауна гіллястовусих раків (*Crustacea* : *Cladocera*) водойми Глинна Наварія. *Екологічні науки*. 2022. № 3 (42). С. 147–150. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.3-42.24>
10. Іванець О. Р. Фауністична характеристика роду *Cyclops* O.F. Müller, 1776 (*Copepoda*) водойми Глинна Наварія. *Стан і біорізноманіття екосистем Шацького національного природного парку та інших природоохоронних територій*: матеріали наук. конф. 8 – 11 вересня 2022 р. Львів: Сполом, 2022. С. 56–59.
11. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / О.М. Арсан, О.А. Давидов, Т.М. Дяченко та ін.; за ред. В.Д. Романенка. – НАН України. Ін-т гідробіології. К.: Логос, 2006. 408 с.
12. Wetzel R., Likens G. *Limnological Analyses*. Philadelphia; London; Toronto: W.B. Saunders Company. 1979. 357 p.
13. Błędzki L.A., Rybak J.I. *Freshwater Crustacean Zooplankton of Europe: Cladocera & Copepoda (Calanoida, Cyclopoida)*. Key to species identification, with notes on ecology, distribution, methods and introduction to data analysis. Switzerland: Springer International Publishing Switzerland. 2016. 918 p.
14. Крижанівський А. М. Історія електрифікації Львівщини. Львів: Галицька видавнича спілка. 2015. 360 с.
15. Монченко В.І. Щелепнороті циклопоподібні, циклопи (*Cyclopidae*). Фауна України; Том 27, вип. 3 – Київ : Наукова думка, 1974. 326 с.
16. Іванець О.Р. Вільноживучі *Copepoda* (*Crustacea*, *Arthropoda*) прісноводних екосистем: перспективи та стратегія досліджень. *Стан і біорізноманіття екосистем Шацького національного природного парку*: матеріали наук. конф. 6 – 9 вересня 2012 р. Львів: Сполом, 2012. С. 24–28.
17. Wierzejski A. Przegląd fauny skorupiaków galicyjskich. *Sprawozd. Kom. Fiz. Akad. Umiej. w Krakowie*. T. XXXI. 1896. S. 160–215.
18. Ivanets O.R. *Cyclopidae* (*Crustacea* : *Copepoda*) Family in the researches of professor A. Wierzejski on the territory of Galicia. *Scientific achievements of modern society*. Abstracts of the 4th International scientific and practical conference. Liverpool, United Kingdom: Cognum Publishing House, 2019. P. 819–822.
19. Іванець О.Р. Рід *Diaptomus* Westwood, 1836 (*Copepoda* : *Calanoida* : *Diaptomidae*) у дослідженнях професора А. Вежейського на теренах Галичини. *Екологічні науки*. 2021. № 4 (37). С. 171 – 177. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.4-37.26>

ЧАБЕР САДОВИЙ (*Satureja hortensis*) В УМОВАХ БОТАНІЧНОГО САДУ ПОЛІСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Котюк Л.А., Іващенко І.В.

Поліський національний університет
Старий Бульвар, 7, 10008, м. Житомир
kotyuk-la@ukr.net, kalateja@ukr.net

Чабер садовий (*Satureja hortensis*) – однорічна пряно-ароматична культура, яка відзначаються високим вмістом дубильних речовин, карвакролу та інших сполук, які мають антисептичні, антимікробні, протигельмінтні, інсектицидні властивості. Широке впровадження чаберу садового у виробництво може забезпечити потреби у натуральних біологічно активних сполуках фармацію, кулінарію, ароматерапію, парфумерію, косметологію, ландшафтне будівництво та інші галузі народного господарства. В умовах Центрального Полісся України здійснено загальну оцінку життєвості, визначено тривалість фаз розвитку і життєвого циклу в цілому рослин *S. hortensis* залежно від кліматичних чинників. Життєвий цикл чаберу садового склав у середньому 158 діб: від 153 – 2019 року до 162 – 2021 року. Найбільш тривалі фази розвитку – вегетативний ріст (38 діб) і квітання (35 діб). Упродовж життя рослини *S. hortensis* використали в середньому 1271°C ефективних температур за середньої кількості опадів 352,8 мм та відносної вологості повітря 71,5 %. Встановлено залежність тривалості індивідуального розвитку рослин чаберу від суми ефективних температур – чим менша сума ефективних температур, тим триваліша вегетація рослин. В умовах ботанічного саду Поліського національного університету рослини *S. hortensis* формували повноцінне насіння, хоча упродовж фази відмирання спостерігали зниження температури повітря до заморозків. За насіннєвого розмноження рослини *S. hortensis* нормально розвивалися, квітували та плодоносили, майже не зазнавали ушкоджень від морозів, посухи. Сумарна оцінка життєвості рослин склала 44 бали, що свідчить про те, що чабер садовий – особливо перспективний вид для аграрного сектору Полісся України, адаптований до нових умов зростання. **Ключові слова:** *Satureja hortensis*, фази розвитку рослин, сума ефективних температур, інтродукція.

Summer savory (*Satureja hortensis*) in the botanical garden of Polissia National University. Kotyuk L., Ivashchenko I.

Summer savory (*Satureja hortensis*) is an annual spicy-aromatic plant, characterized by a high content of tannins, carvacrol and other compounds that have antiseptic, antimicrobial, anthelmintic and insecticidal properties. The wide introduction of summer savory in production can meet the needs of natural biologically active compounds in pharmacy, cooking, aromatherapy, perfumery, cosmetology, landscape construction and other sectors of the national economy. Under the conditions of the Central Polissia of Ukraine, a general assessment of vitality was carried out, the duration of the development phases and life cycle of *S. hortensis* plants as a whole have been determined, depending on climatic factors. The life cycle of summer savory averaged 158 days: from 153 in 2019 to 162 in 2021. The longest phases of development are vegetative growth (38 days) and flowering (35 days). During the lifetime of *S. hortensis* plants, an average of 1,271°C effective temperatures were used with an average amount of precipitation of 352.8 mm and a relative humidity of 71.5%. The dependence of the duration of individual development of summer savory on the sum of effective temperatures was established – the lower the sum of effective temperatures, the longer the vegetation of the plants. Under the conditions of the botanical garden of the Polissia National University, *S. hortensis* plants formed full-fledged seeds, although during the dying phase, a decrease in air temperature to freezing temperatures was observed. During seed reproduction, *S. hortensis* plants developed normally, flowered and bore fruit, and were almost unharmed by frost and drought. The total assessment of plant vitality was 44 points, which indicates that summer savory is a particularly promising species for the agricultural sector of Ukrainian Polissia adapted to new growing conditions. **Key words:** *Satureja hortensis*, phases of plant development, amount of active and effective temperatures, introduction.

Постановка проблеми. Чабер садовий (*Satureja hortensis* L., 1753) – однорічна пряно-ароматична рослина, яка належить до родини Глухокропівові (*Labiatae* Juss., 1789) або Губоцвіті (*Lamiaceae* Martinov, 1820). У даний час рослини *S. hortensis* введено в культуру в багатьох країнах Європи, Азії, Америки. Рослини *S. hortensis* потрапили у Європу із Середньої Азії. В Україні дикорослі рослини *S. hortensis* трапляються на кам'янистих схилах Придніпров'я та Криму [1, 2]. Їх культивують як пряні, медоносні та декоративні культури у садах і присадибних ділянках по всій Україні, у промислових масштабах – на Півдні України. Культивування чаберу садового може забезпечити потреби у натуральній рослинній сировині та ефірній олії такі

галузі як кулінарія, фармація, ароматерапія, парфумерія, косметологія.

Актуальність дослідження. Чабер садовий не належить до офіційних лікарських рослин, не входить до вітчизняної фармакопеї [3]. Державний реєстр лікарських засобів України (2017) [4] включає тільки один лікарський засіб «Мараславін» (виробництво Болгарії) з антисептичними властивостями, який містить водний екстракт трави *S. hortensis*, та рекомендований для лікування стоматиту [5]. Згідно з дослідженнями грузинських науковців [6], біологічно активну харчову добавку *Сатурін*, до складу якої входить настій трави *S. hortensis*, використовують для лікування цукрового діабету. Фітосировину *S. hortensis* застосовують як лікувальний засіб при

шлунково-кишкових захворюваннях, тахікардії, головних болях, риніті, циститі, гострих респіраторних захворюваннях. Сік чабера може заспокоїти біль і зменшити набряк при укусах бджіл. Жирна олія, отримана з насіння *S. hortensis* може замінити лляну [1, 5, 7]. Згідно з дослідженнями Е. С. Алинкіна зі співавторами (2012), ефірні олії ароматичної рослини зменшують ризик розвитку онкологічних хвороб і сприяють омолодженню організму [8, 9]. У кулінарії рослину використовують як заміник чорного перцю, особливо до страв із помідорів та огірків. Надземну частину рослин використовують як пряність у консервній і ковбасній галузях, під час приготування різноманітних соусів [1, 10]. Рослина є гарним медоносом і приваблює комах-ентомофагів [11].

Зв'язок авторського доробку із важливими та практичними завданнями. Зважаючи на те, що рослини *S. hortensis* відзначаються значною біологічною цінністю, встановлення їх інтродукційного потенціалу, особливостей життєвого циклу залежно від абіотичних чинників в умовах Центрального Полісся України має важливе практичне значення для подальшого провадження в культуру.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Чабер садовий або чабер пахучий, чабер городній, чабер літній (*Satureja hortensis* L.) – один із найвідоміших видів з роду Чабер (*Satureja* L.). Це однорічна рослина, яка за смаком схожа на багаторічний чабер гірський (зимовий) з більш гірким смаком [9]. *Satureja hortensis* – пряно-ароматична рослина, відома ще древнім римлянам. В рукописах Вергілія знаходять рекомендації по вживанню його в їжу для її ароматизації. Наукова назва чаберу згадується у Плінія і походить від латинського слова «saturare» – насичувати, що очевидно, пов'язано із використанням рослин у харчуванні [12]. За повідомленням Е. Л. Маланкіної (2017) [13], сировина рослин *S. hortensis* містить комплекс біологічно активних речовин досить широкого спектру фармакологічної активності. Надземна частина *S. hortensis* містить 2,5–3 % ефірної олії, у складі якої 56,75% карваркролу, 29,32 % γ -терпінену, 5,44 % цимолу, 62,54 % терпінолену, 1, 55 % β -мірцену, 0,71 % α -феландрену, 0,56 % транссабіненгідрату, 0,34 % α -пінену, 0,26 % лімонену та ін. При вирощуванні чаберу садового в умовах Тернопільської області у ефірній олії переважали ароматичний спирт карвакрол (76,16 %) та монотерпеноїд γ -терпінен (10,16 %) [14]. Е. Л. Маланкіна зі співавторами (2018) встановила, що крім ефірної олії, сировина *S. hortensis* містить інші цінні сполуки: поліфеноли (14,1 %), флавоноїди (3,6 %) і дубильні речовини (6,1 %), які визначають антиоксидантні властивості. Ця культура – джерело біологічно активних сполук і може бути рекомендована для функціонального харчування [15]. Ряд дослідників виявили бактерицидні [16, 17] та фунгіцидні властивості ефірної олії та фітосировини *S. hortensis* [18, 19, 20].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується зазначена стаття. Зважаючи на обмеженість відомостей про нові цінні малопоширені ароматичні рослини, виникла необхідність вивчення адаптивних властивостей рослин та інтродукційного потенціалу рослин *Satureja hortensis* при введенні у культуру в умовах Центрального Полісся України. Метою нашої роботи є оцінка інтродукційного потенціалу чаберу садового, встановлення тривалості життєвого циклу, перебігу фенологічних фаз в умовах Центрального Полісся України для подальшого культивування й використання у галузях народного господарства.

Методологічне або загальнонаукове значення. Дослідження здійснювали у ботанічному саду Поліського національного університету (м. Житомир) упродовж 2019–2021 років. Використано посівний матеріал рослин *Satureja hortensis* із колекції ароматичних рослин Національного ботанічного саду імені М. М. Гришка НАН України. Насіння (ереми) висівали на колекційних ділянках з темно-сірими опідзоленими ґрунтами 26–28 квітня на глибину 1 см за схемою 50х30 см з наступним ущільненням ґрунту. Полив та пестициди упродовж вегетації рослин не використовували. Під час фаз сходів-вегетативний ріст ретельно видаляли бур'яни, які розвивалися більш інтенсивними темпами.

Для проведення роботи з вивчення особливостей життєвого циклу чаберу застосовано польові спостереження. Особливості проходження фенологічних фаз рослин вивчали за загальноприйнятими методиками Т. А. Работнова (1950) [21], І. М. Бейдемана (1974) [22] та Д. Б. Рахметова (2011) [23]. Показники середніх добових значень температури повітря розраховували за загальноприйнятими методиками [24]. Для розрахунку суми активних температур повітря як біологічний мінімум прийнято +10°C.

Для оцінки інтродукційної здатності чаберу садового використано шкалу О. А. Поради та співавторів (2012) [25], модифіковану Л. А. Котюк (2017) [26]: *особливо перспективний вид* (36–45 балів), *перспективний вид* (26–35 балів), *малоперспективний вид* (16–25 балів).

Виклад основного матеріалу. Упродовж життєвого циклу рослин *S. hortensis* спостерігали у структурі та морфобіологічні зміни. Насінний матеріал чаберу садового – ереми, кулястої форми, коричневі, із білуватим плодовим рубчиком, формуються у плодах ценобіях неопадної чашечки квітки. Ереми чаберу дуже дрібні, маса 1000 штук – 0,49 г. Відзначено досить високу польову (близько 92 %) і лабораторну схожість свіжозібраного насіння (96 %).

Дослідження показали, що в умовах Полісся України сходи чаберу садового з'являлися через 23–26 діб (у середньому 25 діб) за суми ефективних температур: від 53 °C (2020 р.) до 132 °C (2019 р.) (рис. 1–2), 97,5 і 112,5 мм опадів та відносної вологості 69 і 74,7 % (табл. 1–2). Спочатку на поверхні

ґрунту з'являлись дві сім'ядолі з верхівковою брунькою, а потім перша пара листків.

Коли на сіянцях формувалася 4–5 пара справжніх листків, у вузлах починали закладатися бічні пагони. В цей період рослини дуже змінювалися – вони росли, пагони галузилися, на бічних пагонах появлялися дрібні листки. Колір пагонів і листків набувають антоціанового забарвлення. Протягом фази вегетативного росту рослин *S. hortensis*, яка тривала від 35 (2021 р.) та 40 (2019 р.) діб (у середньому 38 діб), сума ефективних температур склала 351

°C (2021 р.) і 473 °C (2019 р.) (див. 1–2). Упродовж зазначеної фази розвитку рослин випало відповідно 162 та 48 мм опадів, а відносна вологість складала 71 та 67,5 % (див. табл. 1–2).

Період бутонізації тривав у середньому 29 діб, у цей час рослини набували ознак дорослої особини, спостерігали процеси формування вегетативних органів. Сума ефективних температур у період бутонізації рослин *S. hortensis* (тривалістю 30 та 28 діб) складала: 265 °C (2019 р.) та 287 °C (2020 р.). Упродовж зазначеної фази розвитку рослин випало

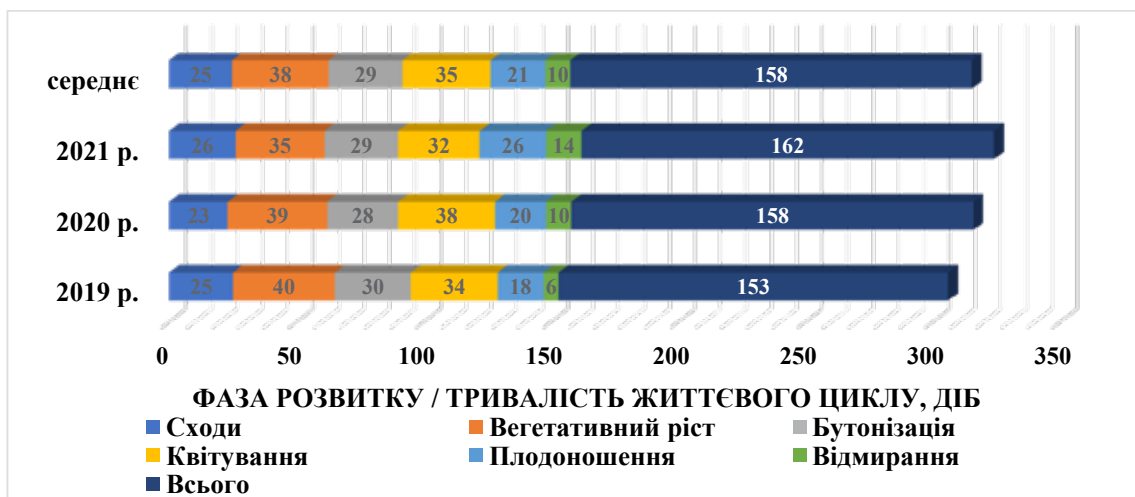


Рис. 1. Тривалість життєвого циклу *S. hortensis* за умов інтродукції в ботанічному саду Поліського національного університету

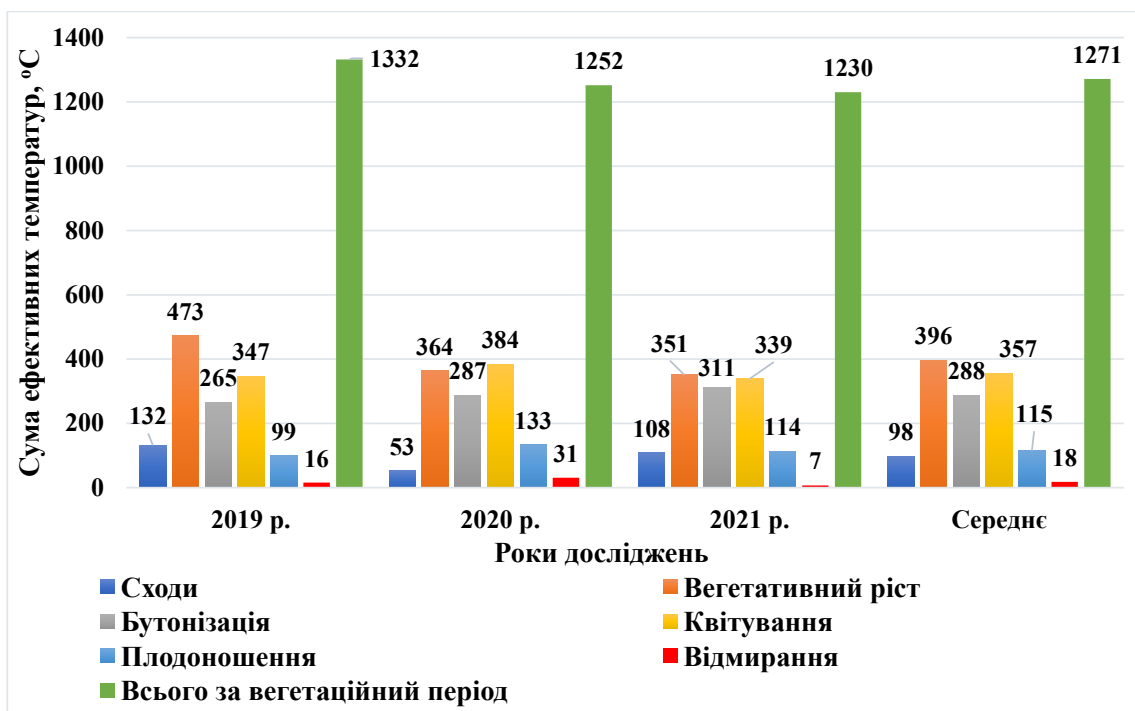


Рис. 2. Сума ефективних температур, вища 10°C, необхідна для проходження фаз розвитку *S. hortensis*

Таблиця 1

**Кількість опадів упродовж життєвого циклу чаберу садового за інтродукції
в умовах Центрального Полісся України, мм**

Рік досліджень/ Фаза розвитку рослин	Сходи	Вегетативний ріст	Бутонізація	Квітування	Плодоношення	Відмирання	Всього за вегетаційний період
2019	112,5	48	62,1	10,9	4,8	21,3	259,6
2020	97,5	146	31,2	57,7	8	73	413,4
2021	67	162	27,5	55	54	20	385,5
Середнє	92,3	118,7	40,3	41,2	22,3	38,1	352,8

Таблиця 2

**Відносна вологість повітря упродовж життєвого циклу чаберу садового за інтродукції
в умовах Центрального Полісся України, %**

Рік досліджень/ Фаза розвитку рослин	Сходи	Вегетативний ріст	Бутонізація	Квітування	Плодоношення	Відмирання	Середнє за вегетаційний період
2019	74,7	67,5	72,5	66,9	59,9	82,4	70,7
2020	69	73	69,6	67,4	64,2	83,2	71,1
2021	69	71	68	71	77	80	72,7
Середнє	70,9	70,5	70,0	68,4	67,0	81,9	71,5

відповідно 62,1 та 31,2 мм опадів, відносна вологість становила 72,5 та 69,6 % (див. рис. 1–2, табл. 1–2).

Під час фази квітування, яка тривала в середньому 35 діб (від 32 до 38), спостерігали припинення росту сіянців і розкриття квіток. Упродовж фази квітування рослин *S. hortensis* сума ефективних температур складала від 339 °C (2021 р.) до 384 °C (2020 р.), кількість опадів – 55 та 57,7 мм, відносна вологість – 71 та 67,4 % (див. рис. 1–2, табл. 1–2).

Період плодоношення тривав у середньому 21 добу, спостерігали поступове пожовтіння листків у нижній частині рослин. Діапазон суми ефективних температур упродовж фази плодоношення рослин *S. hortensis* складав від 99 °C (2019 р.) до 133 °C (2020 р.). Тривалість періоду плодоношення варіювала відповідно – від 19 до 20 діб, за кількості опадів 4,8 та 8 мм, вологості 59,9 та 64,2 % (див. рис. 1–2, табл. 1–2).

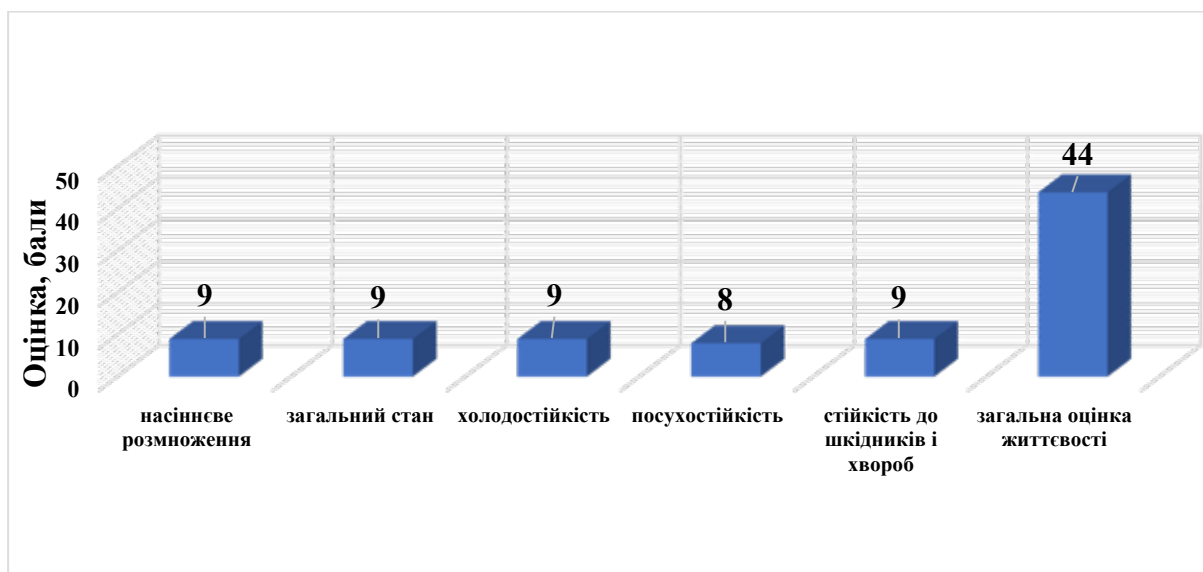
Відмирання рослин відбувалося в середньому упродовж 10 діб, рослини набували бурого кольору, насіння висипалося, згодом спостерігали сходи самосіву. Вегетація рослин повністю завершувалася упродовж останньої декади вересня – першої декади жовтня. Встановлено, що відмирання рослин *S. hortensis* відбувалося упродовж 6 (2019 р.) –

14 (2021 р.) діб за 16 – 7 °C ефективних температур, 21,3 та 20 мм опадів та 82,4 та 80 % відносної вологості (див. рис. 1–2, табл. 1–2).

Слід зазначити, що упродовж життєвого циклу рослин *S. hortensis* за роки досліджень кількість опадів складала від 259,6 (2019 р.) до 413,4 мм (2020 р.), у середньому 352,8 мм, сума ефективних температур – відповідно від 1230 (2021 р.) до 1332 (2019 р.), у середньому 1271 °C.

В цілому життєвий цикл чаберу садового в умовах досліджень тривав у середньому 158 діб: від 153 – 2019 року до 162 – 2021 року. Найбільш тривалі фази розвитку – вегетативний ріст (38 діб) і квітування (35 діб). В умовах ботанічного саду рослини *S. hortensis* формували повноцінне насіння, хоча у фазу відмирання спостерігали зниження температури повітря до заморозків. Очевидно, відносно прохолодна осінь 2021 року спричинила сповільнення відмирання рослин.

Результати отриманих досліджень частково узгоджуються з відомостями Н. М. Найдич та А. А. Комарова (2016) [27], С. Г. Солопова та Е. Л. Маланкіної (2016) [28]. Тривалість періоду від посіву до завершення вегетації в умовах Північного Лісостепу Тюменської області складала 123 доби

Рис. 3. Успішність інтродукції рослин *S. hortensis* в умовах Центрального Полісся України

[29], у Ленінградській області – 150–160 діб [27], в умовах Миколаївської області – 134–137 діб [30], а в умовах Алмати при посіві чаберу садового 18 квітня життєвий цикл завершився 20 серпня [31], що можна пояснити іншим температурним режимом й кількістю опадів упродовж вегетації рослин. За відомостями О. А. Коваленко та О. І. Стебличенко (2017), при посіві чаберу садового упродовж третьої декади квітня, сума ефективних температур склала 1598,4 °C за природного зволоження (сума опадів 151,1 мм), 1576,3 °C – за краплинного зрошення [30].

Виявлено залежність тривалості індивідуального розвитку рослин чаберу від суми ефективних температур – чим менша сума ефективних температур, тим більша тривалість життєвого циклу рослин. Відносний дефіцит вологи суттєво не вплинув на розвиток рослин – сіянці сформували вегетативні та генеративні органи та якісний насінний матеріал.

Дослідження показали, що в умовах інтродукції чабер садовий по завершенні вегетації формував життєздатне насіння. За здатністю до насінного розмноження чабер оцінено 9 балами. Загальний стан чаберу в умовах ботанічного саду відмінний, відповідав 9 балам – рослини формували бічні пагони, генеративні органи. Рослини виявилися стійкими до весняних і осінніх заморозків (до -5°C) без втрат. За критерієм холодостійкості чабер садовий оцінено 9 балами. Чабер садовий віднесено до відносно посухостійких видів та оцінено 8 балами, оскільки за умов недостатнього зволоження спостерігали незначну затримку формування сходів і сповільнення ростових процесів у фазу вегетативного росту. Ентомологічні дослідження показали, що хоча посіви рослин заселені різноманітними видами комах-фітофагів, вони не завдали суттєвої шкоди рослинам, очевидно, завдяки значній кількості криючих і ефіроолійних

трихом на епідермальній поверхні рослин. Прояву інфекційних хвороб на досліджуваних рослинах не виявлено. За критерієм стійкості до шкодочинних організмів рослини *S. hortensis* оцінено 9 балами (рис. 3). Дослідженням встановлено, що сумарна оцінка життєвості рослин *S. hortensis* склала 44 бали, тому це *особливо перспективний* вид для аграрного сектору Центрального Полісся України.

Головні висновки. В цілому життєвий цикл чаберу садового в умовах ботанічного саду Поліського національного університету тривав у середньому 158 діб: від 153 – 2019 року до 162 – 2021 року. Найбільш тривалі фази розвитку – вегетативний ріст (38 діб) і квітіння (35 діб).

Упродовж життєвого циклу рослини *S. hortensis* використали в середньому 1271°C ефективних температур за середньої кількості опадів 352,8 мм та відносної вологості повітря 71,5 %. Виявлено залежність тривалості індивідуального розвитку рослин чаберу від суми ефективних температур – чим менша сума ефективних температур, тим триваліший вегетаційний період рослин.

В умовах інтродукції за насінневого розмноження рослини *S. hortensis* нормально розвивалися, квітували та плодоносили, виявилися стійкими до посухи та шкодочинних організмів. Сумарна оцінка життєвості рослин склала 44 бали, що свідчить про те, що чабер садовий – *особливо перспективний* вид для аграрного сектору Полісся України, адаптований до нових умов зростання.

Перспективи використання результатів дослідження. Зважаючи на те, що кліматичні умови Центрального Полісся України виявилися сприятливими для рослин *S. hortensis*, їх рекомендовано впроваджувати в культуру з метою отримання фітосировини та ефірної олії для потреб харчової галузі й фармації.

Література

1. Воронина Е. П., Гобунов Ю. Н., Горбунова Е. О. Новые ароматические растения для Нечерноземья. М.: Наука, 2001. 173 с.
2. Губанов М. В., Губанова М. В., Губанов В. Г. Изучение популяций *Satureja hortensis* L. в Северной Лесостепи Тюменской области. *Advances in current natural sciences*. 2020. № 10. С. 20–25.
3. Державна фармакопея України. 1-е вид., Доповнення 4. Харків: Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів», 2011. 540 с.
4. Державний реєстр лікарських засобів України. URL: drlz.com.ua (дата звернення: 18.09.2022).
5. Шанайда М. І., Покришко О. В. Антимікробна активність ефірних олій культивованих представників родини *Lamiaceae* Juss. *Annals of Mechnikov Institute*, 2015. № 4, С. 66–69.
6. Кемертелидзе Э. П., Сагаришвили Т. Г., Сыров В. Н., Хушбакова З. А. Химический состав и фармакологическая активность листьев чабера садового (*Satureja hortensis* L.), произрастающего в Грузии. *Химико-фармацевтический журнал*, 2004. Т. 38, № 6. С. 33–35.
7. Carović-Stanko K., Petek M., Grdiša M., Pintar J., Bedeković D., Herak Ćustić M., Satovic Z. Medicinal plants of the family *Lamiaceae* as functional foods – a review. *Czech J. Food Sci.*, 2016. Vol. 34. P. 377–390. DOI: <https://doi.org/10.17221/504/2015-CJFS>
8. Алинкина Е. С., Мишарина Т. А., Фаткуллина Л. Д. Сравнение антирадикальных свойств эфирных масел душицы, тимьяна, чабера. *Прикладная аналитическая химия*, 2012. Т. 3. № 7. С. 50–55.
9. Кароматов И. Д., Давлатова М. С. Чабер садовый в народной и научной медицине. *Биология и интегративная медицина*. 2017. № 10. С. 115–124.
10. Отечественные пряности в консервировании / под ред. Ю. А. Утеуша. Киев: Наук. думка, 1986. 104 с.
11. Витион П.Г. Опыт привлечения энтомофагов и насекомых-опылителей ароматическими и медоносными растениями. *Евразийский энтомологический журнал*. 2016. Т. 15. № 1. С. 89–94.
12. Жарінов В. І., Остапенко А. І. Вирощування лікарських, ефіроолійних та пряносмакових рослин : навч. посіб. Київ : Вища школа, 1994. 234 с.
13. Маланкина, Е. Л., Козловская, Л. Н., Солопов, С. Г., Зайчик, Б. Ц., Ружицкий, А. О., Евграфов, А. А. Особенности компонентного состава эфирного масла чабера садового (*Satureja hortensis* L.) в зависимости от сорта. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*, 2017. № 3. С. 19–29.
14. Шанайда М. І. Фармакогносичне дослідження представників підродини *Nepetoideae* Burnett родини *Lamiaceae* Martinov як джерела одержання лікарських засобів : автореф. дис. ... докт. фарм. наук : 15.00.02. Львів, 2021. 47 с.
15. Маланкина Е. Л., Романова Н. Г., Солопов С. Г., Ткачева Е. Н. Чабер садовый – перспективное сырье. *Картофель и овощи*, 2018. № 11. С. 25–27.
16. Kotyuk L. A. Antimicrobial activity of oil-bearing plants *Lamiaceae* Lindl. towards *Escherichia coli*. *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytskyi Melitopol State Pedagogical University*, 2016. Vol. 6 (1), P. 216–236. DOI: 10.1007/s 11101 – 014 – 9349 – 1
17. Mohammed F. S., Daştan T., Sevindik M., Selamoğlu Z. Antioxidant, antimicrobial activity and therapeutic profile of *Satureja hortensis* from Erzincan Province. *Cumhuriyet Medical Journal*, 2019. 41(3), 558–562. DOI: <https://doi.org/10.7197/cmj.vi.569426>
18. Котюк Л. А. Антимікробна активність етанольного екстракту *Satureja hortensis* L. проти патогенних штамів мікроорганізмів. *Біологічний вісник МДПУ імені Богдана Хмельницького*, 2014. Вип. 4 (3). С. 109–124. DOI: 10.7905/bbmspu.v4i3.95
19. Valizadeh, S., Fakheri, T., Mahmoudi, R., Katiraei, F., & Gajarbeygi, P. (2014). Evaluation of antioxidant, antibacterial, and antifungal properties of *Satureja hortensis* essential oil. *Biotechnology and Health Sciences*. DOI: <http://eprints.qums.ac.ir/id/eprint/1566>
20. Golparvar A. R., Gheisari M. M., Hadipanah A., Khorrami M. Antibacterial, antifungal properties and chemical composition of essential oils of *Satureja hortensis* L. and *Satureja khuzestanica* Jamzad. *Journal of Medicinal Herbs*, 2018. 8(4), 243–249. DOI:10.3390/10.14196/JHD. 2018. 243
21. Работнов Т. А. Жизненный цикл многолетних травянистых растений в луговых ценозах. Труды БИНАН СССР. Сер. 3. Геоботаника. М.: АН СССР, 1950. Вып. 6 (7). 204 с.
22. Бейдемман И. Н. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ. Новосибирск : Наука, 1974. 156 с.
23. Рахметов Д. Б. Теоретичні та прикладні аспекти інтродукції рослин в Україні. К.: Аграр Медіа Груп, 2011. 398 с.
24. Польовий А. М., Божко Л. Ю., Ситов В. М., Ярмольська О. Є. Практикум з сільськогосподарської метеорології. Одеса: ТЕС, 2001. 400 с.
25. Порада О. А., Шевченко Т. Л., Сивоглаз Л. М., Калініна М. А. Еколого-біологічна оцінка інтродуцентів декоративно-лікарського призначення в Лісостепу України. *Вісник Біосферного заповідника «Асканія-Нова»*, 2012. Т. 14. С. 207–210.
26. Котюк Л. А., Рахметов Д. Б., Пінкіна Т. В. Оцінка успішності інтродукції ароматичних рослин родини *Lamiaceae* Lindl. в умовах Полісся України. *Інтродукція рослин*, 2017. Вип. 1 (73). С. 11–20.
27. Найда Н. М., Комаров А. А. Изучение чабера садового (*Satureja hortensis* L.) в Ленинградской области. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2016. № 42. С. 11–15.
28. Солопов С. Г., Маланкина Е. Л. Ритмы сезонного развития и динамика формирования урожая чабера садового (*Satureja hortensis* L.) в условиях Нечерноземной зоны Российской Федерации. *Биологические особенности лекарственных и ароматических растений и их роль в медицине*: сб. науч. труд. междунар. науч.-практ. конф. Москва. 2016. С. 159–160.
29. Губанов М. В., Губанова М. В., Губанов В. Г. Изучение популяций *Satureja hortensis* L. в Северной Лесостепи Тюменской области. *Advances in current natural sciences*. 2020. № 10. С. 20–25.
30. Коваленко О. А., Стебличенко О. І. Вплив строків, способів сівби та умов зволоження на врожайність чаберу садового (*Satureja hortensis* L.) в зоні Півдня України. *Збалансоване природокористування*. 2017. № 4. С. 44–53.
31. Грудзинская, Л. М. Интродукция видов рода *Satureja* L. в условиях Алматы. *Ботанические исследования Сибири и Казахстана*, 2012. Вып 18. С. 88–97.

БІОЛОГО-ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ІНТРОДУКЦІЇ СУБТРОПІЧНИХ ПЛОДОВИХ КУЛЬТУР В ЛІСОСТЕП УКРАЇНИ

Красовський В.В.¹, Черняк Т.В.¹, Федько Р.М.²¹Хорольський ботанічний сад

вул. Кременчуцька 1/79, оф. 46, 37800, м. Хорол

²Дослідна станція лікарських рослин Інституту агроєкології і природокористування

Національної академії аграрних наук

вул. Покровська, 16А, 37535, с. Березоточа

horolbotsad@gmail.com, ukrvilar@ukr.net

Показано азиміну трилопатеу (*Asimina triloba* (L.) Dunal), гранатник зернястий (*Punica granatum* L.), зизиф ююбу (*Ziziphus jujuba* Mill.), смоківницю карійську (*Ficus carica* L.), сливу солодку (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb), мушмулу німецьку (*Mespilus germanica* L.), хурму вірджинську (*Diospyros virginiana* L.) та деякі інші субтропічні види як об'єкт інтродукційних досліджень ботанічних садів останніх десятиліть.

Наведено таксономічний склад досліджуваних полікарпічних субтропічних плодових культур в Хорольському ботанічному саду, який складається з 25 видів, що належать до 22 родів та 15 родин і представлений деревами, кущами та ліанами. Більшість досліджуваних видів представлена південними рослинами, плоди яких споживають свіжими або в переробленому вигляді, проте, є види, в яких як харчовий продукт використовують листки.

Виокремлено інтродукцію рослин як пріоритетний засіб екологічної оптимізації культурфітоценозів, оскільки розмаїття біоти є однією з найважливіших умов стійкості екосистеми, бо чим складніша біотична система, тим вона стабільніша.

Підкреслено, що інтродукти *L. nobilis*, *F. carica*, *P. incarnata*, *P. granatum*, *F. sellowiana*, *P. vera* не спроможні вийти зі складу агроценозів і поширитися в екосистемі самостійно через нездатність вижити в кліматичних умовах Лісостепу України без підтримки людини. У частини досліджуваних субтропічних рослин відсутність масового поширення пояснюється їх біологічними особливості: *A. triloba* зав'язує плоди лише при перехресному запиленні квіток різних особин, а перенесене насіння втрачає схожість через висихання; *D. virginiana* та *M. tricuspidata* дводомні види, в природному середовищі повинні зростати як чоловічі так і жіночі рослини поряд; *M. germanica* в умовах інтродукції має низьку схожість насіння; насіння крупноплідних форм *Z. jujuba*, недорозвинене і не проростає.

Показано субтропічні плодові культури, що мають життєву форму – невисоке дерево або кущ і досить вибагливі до світла і тепла, як неспроможні конкурувати із іншими високими деревами, бо при вегетації у затінку вони не плодоносять.

Встановлено, що досліджувані субтропічні плодові культури в умовах Лісостепу України не складають загрозу рослинам та природному середовищу в цілому. *Ключові слова*: ботанічний сад, інтродукт, адаптація, культивар, інвазія, екосистема.

Biological and ecological consequences of the introduction of the subtropical fruit crops in the forest-steppe of Ukraine.
Krasovskiy V., Chernyak T., Fedko R.

Asimina triloba (L.) Dunal, *Punica granatum* L., *Ziziphus jujuba* Mill., *Ficus carica* L., *Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb, *Mespilus germanica* L., *Diospyros virginiana* L. and some other subtropical species are shown as the object of introductory studies of the botanical gardens in the recent decades.

The taxonomic composition of the studied polycarpic subtropical fruit crops in the Khorol Botanical Garden is presented. It includes 25 species belonging to 22 genera and 15 families and represented by trees, shrubs and vines. Most of the studied species are represented by the southern plants, the fruits of which are consumed fresh or processed, however, there are species in which leaves are used as a food product.

The introduction of plants is singled out as a priority means of the ecological optimization of the phytocenosis cultures. Therefore, the diversity of the biota is one of the most important conditions for ecosystem stability. The more complex the biotic system, the more stable it is.

It is emphasized that the introduced species *L. nobilis*, *F. carica*, *P. incarnata*, *P. granatum*, *F. sellowiana*, *P. vera* are unable to leave the composition of agrocenoses and spread in the ecosystem on their own, because they are unable to survive in the climatic conditions of the Forest Steppe of Ukraine without the support of a person. In some of the studied subtropical plants, the lack of mass distribution is explained by their biological features: *A. triloba* sets fruits only when flowers of different individuals are cross-pollinated, and transferred seeds lose their germination due to drying; *D. virginiana* and *M. tricuspidata* are dioecious species, in the natural environment both male and female plants should grow side by side; *M. germanica* under the conditions of introduction has a low seed germination; the seeds of the large-fruited forms of *Z. jujuba* are underdeveloped and do not germinate.

It is shown the subtropical fruit crops that have a life form of a low tree or a bush and are quite picky about light and heat. They cannot compete with other tall trees and they do not bear fruit when growing in the shade.

It was established that the investigated subtropical fruit crops in the conditions of the forest-steppe of Ukraine do not pose a threat to plants and the natural environment on the whole. *Key words*: botanical garden, introduction, adaptation, cultivar, invasion, ecosystem.

Постановка проблеми. Плодівництво є важливим сектором агровиробництва бо воно забезпечує населення цінними продуктами харчування – плодами і ягодами, які містять у собі цукри, кислоти, вітаміни, ферменти, мінеральні солі та речовини необхідні людському організму. Не менше значення має й інтродукція полікарпічних рослин, які не дають їстівних плодів, але інші частини рослини (листки, молоді пагони) використовуються у харчовій промисловості. Розвиток садівництва лісостепової зони України, передбачає не лише поліпшення сортів традиційних культур, а й введення нових культиварів шляхом інтродукції субтропічних культур, адже в умовах глобальних змін клімату відкрились невичерпні можливості для цього процесу.

Велика роль в інтродукції субтропічних плодівих культур в Лісостеп України належить ботанічним садам. Нині основними об'єктами досліджень субтропічних культиварів є: азиміна трилопатева (*Asimina triloba* (L.) Dunal), гранатник зернястий (*Punica granatum* L.), зизиф ююба (*Ziziphus jujuba* Mill.), смоківниця карійська (*Ficus carica* L.), слива солодка (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb), мушмула німецька (*Mespilus germanica* L.), хурма вірджинська (*Diospyros virginiana* L.) та інші.

Збільшення видового складу садових рослин забезпечує отримання якісно нової продукції і одночасно урізноманітнює садові фітоценози, а це згідно концепції екологізації садівництва сприяє підвищенню стійкості та продуктивності насаджень. Проте, варто зазначити, що у теперішній час деякі інтродуковані рослини, які пройшли адаптацію та натуралізацію в нових умовах зростання, активно поширюються, витісняючи місцеву флору. Головна небезпека полягає в тому, що проникнення інвазійних видів суттєво змінює екосистему, а це призводить до екологічних, економічних та соціальних катастроф.

Актуальність досліджень. Дослідження біолого-екологічних наслідків інтродукції субтропічних плодівих культур в лісостепову зону України є актуальним, оскільки не дивлячись на доцільність і практичну необхідність з огляду кліматичних змін, в останні роки все гостріше постають непередбачені екологічні загрози інтродукційної діяльності.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Інтродукція рослин – невід'ємна частка розвитку людського суспільства. Хорольський ботанічний сад – осередок інтродукційної діяльності в Україні, де напрацьовані сучасні технології інтродукції субтропічних плодівих культур в Лісостеп України, створена відповідна науково-дослідна база, яка і далі поповнюється новими субтропічними видами для інтродукційно-селекційних досліджень з подальшим впровадженням їх у виробництво.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В наукових літературних джерелах зазначається, що

питання збереження та збагачення генофонду рослин нині є дуже актуальним, адже природна флора зазнає великого антропогенного навантаження та впливу населення планети. Інтродукція нових видів рослин та їх розмноження слугують базою збереження біорізноманіття і джерелом розширення асортименту видів, що використовуються в усіх галузях людської діяльності [1].

Серед важливих теоретичних засад інтродукції рослин виділені такі:

- ефективність перетворення енергії сонця через фотосинтез рослин у потрібну людству біосировину за рахунок підбору високоефективних продуцентів;
- збереження та збагачення різноманіття окремих груп корисних рослин і оптимізація продукційного процесу фітоценотичними, інтродукційними, фізіолого-біохімічними, біотехнологічними, селекційними тощо методами;
- адаптивність та широка екологічна пластичність рослин. Екологічна рівновага в фітоценозах та безпечність рослин для навколишнього середовища;
- аллопатична сумісність та позитивна взаємодія і післядія рослин у різних фітоценозах;
- основи конструювання нових культур та поліпшення існуючих з метою створення форм рослин із заданими продуктивними параметрами [2].

Інтродукція рослин є важливим фактором збагачення рослинних ресурсів в цілому, а також збільшення біотичного різноманіття культурфітоценозів зокрема. Спрощення структури, зменшення біологічної різноманітності призводить до дестабілізації та руйнування екосистем, саме тому сільськогосподарські екосистеми не можуть існувати без постійного додаткового потоку енергії. Крім того, інтродукція рослин – це надзвичайно важливий засіб екологічної оптимізації агрофітоценозів. Екологічний підхід в інтродукційних дослідженнях вимагає вивчення сукупності різних умов та впливу факторів, що діють на організм рослин в нових природних умовах чи в культурі [2, 3].

Останнім часом саме завдяки зусиллям науковців ботанічних садів рідкісні, або нетрадиційні рослини користуються попитом через високий вміст у плодах (а часто і в інших органах) біологічно-активних речовин (БАР), які мають важливе значення для профілактики та лікування захворювань. Комплекс вітамінів, флавонолів, катехинів та інших БАР дає можливість стверджувати про рідкісні види, як про рослини, що заслуговують на широке впровадження.

Відомо, що теоретичні і практичні основи інтродукції рослин мають відповідати запитам сьогодення. При цьому важливими постають питання екологічної безпеки наряду з науковою доцільністю і практичною необхідністю досліджень. Інтродукція передбачає комплексний підхід в моніторингу та оцінці біологічних особливостей і корисних властивостей рослинних об'єктів, і є віддзеркаленням запиту соціуму на дослідження і використання рослин в цілому

[3]. Набуває значущості і те, що інтродукція рослин відіграла неоціненну роль у збереженні рослинного різноманіття на різних рівнях. Чимало прикладів, коли окремі рідкісні види зберігаються лише в інтродукційних колекціях, а ще більше чисельність тих, які були реінтродуковані (репатріютовані) в природні оселища та відтворені їх популяції.

Історично склалося, що ботанічні сади та дендрологічні парки відігравали та відіграють неоціненну роль у дослідженні рослинного багатства світу, мобілізації найцінніших видів і форм рослин природної флори та іншорайонних інтродуцентів з метою подальшого їх поглибленого вивчення і різнопланового використання. Ботанічні сади у всьому світі (понад 3000) виконують важливу функцію щодо мобілізації, збереження, збагачення рослинних ресурсів, де суміщаються фундаментальні і прикладні наукові напрями розвитку та просвітницька робота. У ботанічних садах вирощують понад 6 мільйонів зразків живих рослин, що представляють понад 80 000 таксонів в культурі. Ботанічні сади відіграють головну роль у збереженні *ex-situ* і дослідженні глобального біорізноманіття рослин. Вони також виконують важливу функцію у збереженні видів, які забезпечують потреби і благополуччя людини. Ця роль, ймовірно, буде ставати все більш важливою через зміну клімату. На даний час ботанічні сади та дендропарки України є найважливішими осередками інтродукції, акліматизації і селекції нових корисних рослин. Наразі, в Україні функціонують 33 ботанічні сади та 17 дендропарків. Цими установами здійснюється різнобічна наукова та практична робота із збагачення генетичного різноманіття рослин. За різними оцінками, ресурси інтродукованих рослин становлять від 35 до понад 50 тис. таксонів [2].

У лісостеповій зоні України з-поміж групи плодкових рослин найбільш поширені із зерняткових яблуня домашня (*Malus domestica* Borkh.) та груша звичайна (*Pyrus communis* L.), із кісточкових слива домашня (*Prunus domestica* L.), слива вірменська (*Prunus armeniaca* L.), вишня звичайна (*Prunus cerasus* L.), вишня пташина (*Prunus avium* (L.) L.), а серед горіхових горіх волоський (*Juglans regia* L.). Нині накопичено значний масив інформації щодо асортименту цих плодкових порід і значних площ зайнятих під ними та врожайності. У той же час, за аналізом сучасних публікацій з інвазійності відсутні дані щодо екологічної зміни екосистеми потраплянням цих садових культур в природне середовище. Теж саме стосується і ще мало поширених, але вже добре відомих акліматизованих культур як слива перська (*Prunus persica* (L.) Batsch), обліпіха крушиноподібна (*Hippophae rhamnoides* L.), кизил їстівний (*Cornus mas* L.), чорноплідна горобина (*Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliott), айва довгаста (*Cydonia oblonga* Mill.), хеномелес японський (*Chaenomeles japonica* (Thunb.) Lindl. ex Spach), маслинка багатоквітова (*Elaeagnus multiflora* Thunb.), жимолость

їстівна (*Lonicera caerulea* L.), актинідія (*Actinidia kolomikta* (Rupr. & Maxim.) Maxim., *A. arguta* (Siebold & Zucc.) Planch. ex Mig.), лимонник китайський (*Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill.), повстяна вишня (*Prunus tomentosa* Thunb.), які в недалекому минулому були інтродуцентами. Сьогодні це вже культури лісостепових садів, плоди яких крім харчової цінності характеризуються високим вмістом вітамінів та мікроелементів.

Висвітлюючи сучасні методологічні аспекти інтродукційного процесу в наукових публікаціях вказується, що ботанічні колекції слугують базою для експериментальних досліджень з питання пізнання адаптаційного потенціалу, генотипової і фенотипової мінливості, поліморфізму того чи іншого виду, ритміку розвитку, тощо. Джерелом нових об'єктів для первинної інтродукції слугують фітоценози з багатим флористичним складом і гетерогенними екологічними умовами, а вже для вторинної – колекційні накопичення інших наукових закладів. Разом з тим зазначається, що цілеспрямована інтродукція рослин є достатньо ризикованою справою, що балансує на вістрі позитивного і негативного втручання в природні процеси. Інтродукція нових видів дозволяє дослідити норму реакції рослин, їх екологічну пластичність, які не можуть бути визначені в умовах природного ареалу, оскільки, зазвичай, їх межі ширші. Також завдяки інтродукції можливе збереження окремих видів та репатріації їх в природне середовище. Але в окремих випадках інтродуценти не виявляють толерантності до аборигенів: перехід в природні угруповання інвазійних видів призводить до порушення їх рівноваги з витісненням місцевих видів та форм. На сьогодні актуальними в інтродукції рослин стають новації, спрямовані на екологізацію процесів та збереження саме генетичного різноманіття аборигенних флор. Сучасні екологи все більше схиляються до думки, що інтродукція має займатися збереженням та дослідженням видів на регіональному рівні. Закликають відмовитися від масштабного, необґрунтованого перенесення видів в нові, їм не притаманні умови зростання, так би мовити недоцільного змішування флор, та спрямувати пошук об'єктів досліджень серед місцевих видів з тими ж ознаками і корисними властивостями, що властиві іноземним видам. Тому колекціонування з науковою і освітньою метою має дещо відрізнятися від добору рослин для інтродукційно-селекційних досліджень з подальшим впровадженням у виробництво перспективних видів, форм та сортів. Сучасні інтродукційні технології мають бути напрацьовані відповідно до вимог екологічної безпеки, збереження рослинного світу та вітчизняного галузевого запиту. Кожна інтродукційна діяльність має вирішувати певне наукове і практичне завдання з огляду на сучасні швидкозмінні кліматичні умови, включаючи при цьому будь-яку шкоду автентичному природному середовищу. Розробка сучасного уніфі-

кованого методичного підходу у вітчизняній інтродукції рослин дозволить скорегувати дану діяльність в наукових установах, вивести на сучасний рівень, відійшовши від загальноновідомих, проте дещо застарілих колишніх розробок, якими сьогодні керуються в своїй роботі науковці [3].

В останні роки науковий інтерес щодо поширення, життєвості і поведінки в угрупованнях цілеспрямовано інтродукованих рослин набуває все більшого значення, як фактор поглиблення відносин в екосистемі з наслідками, що можуть зашкодити природі, тому особливе значення мають публікації, присвячені негативним наслідкам інтродукції рослин та біологічного контролю активності інвазійних видів [4–11].

Новизна. Вперше порушене питання оцінки інвазійної спроможності найбільш успішно, цілеспрямовано інтродукованих та акліматизованих субтропічних плодових культур в Лісостеп України.

Виклад основного матеріалу. В умовах глобальних змін клімату важливим питанням сьогодення залишається збереження та збагачення фіторізноманіття включаючи культурфітоценози.

Хорольський ботанічний сад належить до об'єктів природно-заповідного фонду України загальнодержавного значення, є науковим центром, де проводять дослідження з інтродукції та селекції рослин. Основним напрямком наукових досліджень є інтродукція субтропічних рослин в умовах відкритого ґрунту. Нині досліджуються 25 видів полікарпічних рослин, що мають певну адаптованість та екологічну пластичність, до переліку яких входять дерева, кущі та ліани (табл. 1.). Преважна більшість досліджуваних видів представлена південними рослинами, плоди яких споживають свіжими або в переробленому вигляді, проте, є кілька видів, в яких як харчовий продукт використовують листки.

Важливим результатом практичних досліджень інтродукції субтропічних плодових культур в Лісостеп України стало формування нової генотипової бази вихідного матеріалу для подальшої селекційної роботи.

На базі Хорольського ботанічного саду вдосконалено способи формування та розмноження деревних субтропічних плодових культур в умовах інтродукції та отримано 1 патент на винахід та 10 патентів на корисну модель (винахідник В.В. Красовський).

Цілковито обґрунтованим є те, що інтродукція рослин є пріоритетним засобом екологічної оптимізації культурфітоценозів, адже розмаїття біоти є однією з найважливіших умов стійкості екосистеми, бо чим складніша біотична система, тим вона стабільніша. Завдяки інтродукції, в останні декілька десятиріч здійснювалася значна еволюція рослинних угруповань в культурфітоценозах. Збільшилося видове та сортове різноманіття агроценозів. Утворено низку угруповань нового типу шляхом комбінування інтродукованих та традицій-

них культур. Полідомінантні культурфітоценози, які складаються з біологічно сумісних видів, роз'єднаних за екологічними нішами, як правило, переважають монодомінантні за ценотичною стабільністю, продуктивністю, стійкістю проти шкідників, хвороб і забур'янення [2].

За період від перших досліджень субтропічних плодових культур у м. Хорол, з 1998 року, не виявлено будь-яких масових ушкоджень рослин комахами-шкідниками, вірусними чи грибовими хворобами і тому ділянки з новими південними видами не підлягали обробітці пестицидами чи фунгіцидами. Якщо зважати на те, що збагачення видового складу плодових культур повинно ґрунтуватись на агроекологічних засадах, то саме залучення до нової агрокліматичної зони культиварів та видів, що не потребують хімічних обробок, є шляхом до оздоровлення навколишнього середовища.

Зміни погодних умов та пов'язані з ними аномальні клімато-екологічні явища істотно змінюють умови зростання деревних видів, що проявляється зокрема у зміщенні біологічних ритмів рослин, порушенні репродуктивної здатності, фітоінвазіях тощо. За умов зростаючого антропогенного навантаження, змін абіотичних чинників, для багатьох регіонів спостерігається неконтрольоване розповсюдження адвентивних видів рослин. У деяких адвентів прослідковується вища пластичність до умов навколишнього середовища, ніж у представників аборигенної флори.

Варто зазначити, що серед досліджуваних нами субтропічних видів, таких як *L. nobilis*, *F. carica*, *P. incarnata*, *P. granatum*, *F. sellowiana*, *P. vera* проявляється не здатність вийти зі складу агроценозів і поширитися в екосистемі самостійно через нездатність вижити в кліматичних умовах Лісостепу України без підтримки людини.

У частини досліджуваних субтропічних рослин відсутність масового розповсюдження пояснюється їх біологічними особливостями. Так, у *A. triloba*, рослини, яка не належить до врожайних, зав'язування плодів відбувається лише при перехресному запиленні квіток різних особин, а перенесене насіння при висиханні втрачає схожість, що також суттєво гальмує поширення виду.

D. virginiana переважно дводомна рослина, отже в природному середовищі повинні зростати як чоловічі так і жіночі рослини поряд. Це стосується і *M. tricuspidata*, адже даний вид є дводомним. *M. germanica* за нашими дослідженнями має низьку схожість насіння [12].

Насіння крупноплідних форм *Z. jujuba*, а саме такі форми найбільше цікавлять садівників-аматорів, недорозвинене і нездатне проростати [13]. Варто зазначити, що деревні субтропічні плодові культури мають життєву форму – невисоке дерево або кущ, досить вибагливі до світла і тепла, тому конкурувати із іншими високими деревами не зможуть. Визначено також, що у затінку субтропічні рослини

Таблиця 1

Таксономічний склад колекції субтропічних плодових культур Хорольського ботанічного саду

№ з/п	Порядок	Родина	Рід	Вид
	<i>Magnoliales</i> Магнолієцвіті	<i>Annonaceae</i> Анонові	<i>Asimina</i> Азіміна	<i>A. triloba</i> (L.) Dunal Азіміна трилопатева
	<i>Laurales</i> Лавроцвіті	<i>Lauraceae</i> Лаврові	<i>Laurus</i> Лавр	<i>L. nobilis</i> L. Лавр благородний
	<i>Rosales</i> Шипшиноцвіті	<i>Rosaceae</i> Шипшинові	<i>Cydonia</i> Айва	<i>C. oblonga</i> Mill. Айва довгаста
			<i>Chaenomeles</i> Японська айва	<i>Ch. ×californica</i> Clarke ex Weber Японська айва каліфорнійська
			<i>Cormus</i> Домашня горобина	<i>C. domestica</i> L. Домашня горобина справжня
			<i>Mespilus</i> Мушмула	<i>M. germanica</i> L. Мушмула німецька
			<i>Crataegus</i> Глід	<i>C. azarolus</i> L. Глід азароль
				<i>C. opaca</i> Hooker & Arn. Глід матовий
			<i>Prunus</i> Слива	<i>P. dulcis</i> (Mill.) D.A. Webb Слива солодка
				<i>P. armeniaca</i> L. Слива вірменська
		<i>Rhamnaceae</i> Жостерові	<i>Hovenia</i> Родзинкове дерево	<i>H. dulcis</i> Thunb. Родзинкове дерево солодке
			<i>Ziziphus</i> Зизиф	<i>Z. jujuba</i> Mill. Зизиф юуба
		<i>Elaeagnaceae</i> Маслинкові	<i>Elaeagnus</i> Маслинка	<i>E. multiflora</i> Thunb. Маслинка багатоквіткова
				<i>E. umbellata</i> Thunb. Маслинка парасолькова
		<i>Moraceae</i> Шовковицеві	<i>Maclura</i> Маклюра	<i>M. tricuspidata</i> (Carrière) Bureau Маклюра тризагострена
			<i>Ficus</i> Смоківниця	<i>F. carica</i> L. Смоківниця карійська
	<i>Malpighiales</i> Мальпігієцвіті	<i>Passifloraceae</i> Страстоцвітові	<i>Passiflora</i> Страстоцвіт	<i>P. incarnata</i> L. Страстоцвіт м'ясочервоний
	<i>Myrtales</i> Миртоцвіті	<i>Lythraceae</i> Плакунові	<i>Punica</i> Гранатник	<i>P. granatum</i> L. Гранатник зернястий
		<i>Myrtaceae</i> Миртові	<i>Feijoa</i> Фейхоа	<i>F. sellowiana</i> O. Berg Фейхоа Зеллового
2	<i>Sapindales</i> Сапіндоцвіті	<i>Anacardiaceae</i> Анакардієві	<i>Pistacia</i> Фісташка	<i>P. vera</i> L. Фісташка справжня
		<i>Rutaceae</i> Рутові	<i>Citrus</i> Цитрина	<i>C. trifoliata</i> L. Цитрина трилисточкова
	<i>Ericales</i> Ерікоцвіті	<i>Ebenaceae</i> Ебенові	<i>Diospyros</i> Хурма	<i>D. virginiana</i> L. Хурма вірджинська
		<i>Theaceae</i> Чаєві	<i>Camellia</i> Камелія	<i>C. sinensis</i> (L.) Kuntze Камелія китайська
		<i>Actinidiaceae</i> Актинідієві	<i>Actinidia</i> Актинідія	<i>A. chinensis</i> Planch. Актинідія китайська
	<i>Lamiales</i> Глухокропивоцвіті	<i>Oleaceae</i> Маслинові	<i>Olea</i> Маслина	<i>O. europaea</i> L. Маслина європейська

якщо і вегетують, то не плодоносять, отже і не утворюють самосів.

Таким чином, важливо підкреслити, що субтропічні плодові культури, які досліджуються в Хорольському ботанічному саду на ділянках постійного місця зростання за період понад двадцять років не проявляли здатності до інвазії.

Головні висновки. Теоретично обґрунтовано і частково практично перевірено основні засади інтродукції субтропічних плодових культур

25 видів, що належать до 22 родів та 15 родин на базі Хорольського ботанічного саду.

Як наслідок біологічних особливостей, у більшості досліджуваних субтропічних плодових рослин в умовах лісостепової зони України проявляється відсутність масового поширення та не здатність вийти зі складу агроценозів. Впровадження у виробництво нових південних інтродукованих видів слід розглядати як один з важливих екологічних засобів оптимізації культурфітоценозів.

Література

1. Збереження та збагачення рослинних ресурсів шляхом інтродукції, селекції та біотехнології: монографія / Червченко Т. М. та ін.; відп. ред. Т. М. Червченко. Київ : Фітосоціоцентр, 2012. 432 с.
2. Рахметов Д. Б. Екологічні засади інтродукції рослин та збагачення фіторізноманіття культурфітоценозів в Україні. *Євроінтеграція екологічної політики України* : матеріали третьої Всеукр. наук.-практ. конф., 20 жовт. 2021 р. Одеса, 2021. С. 167–174.
3. Ковтун-Водяницька С. М. Актуальні питання в сучасній інтродукції рослин. *Фундаментальні та прикладні аспекти інтродукції рослин у реаліях євроінтеграції* : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 9–11 жовт. 2018 р. Київ : Ліра-К., 2018. С. 166–167.
4. Мосякін А. С. Огляд основних гіпотез інвазійності рослин. *Український ботанічний журнал*. 2009, Т. 66. № 4. С. 466–476.
5. Мосякін А. С. Сучасні методи біологічного контролю (біологічного регулювання) активності інвазійних рослин : приклади й перспективи застосування. *Наукові основи збереження біотичної різноманітності*. 2012. Т. 3 (10). № 1. С. 93–109.
6. Бурда Р. І., Пашкевич Н. А., Бойко Г. В., Фіцайло Т. В. Чужорідні види охоронних флор Лісостепу України : монографія. Київ : Наукова думка, 2015. 116 с.
7. Протопопова В. В., Шевера М. В. Інвазійні види у флорі України. І. Група високо активних видів. *Вісник Національного науково-природничого музею*. 2019, Т. 17. С. 116–135.
8. Зав'ялова Л. В. Види інвазійних рослин, небезпечні для природного фіторізноманіття об'єктів природно-заповідного фонду України. *Біологічні системи*. 2017, Т. 9. Вип. 1. С. 87–107.
9. Дідух Я. П., Протопопова В. В., Кучер О. О., Зав'ялова Л. В., Шевера М. В. Актуальні завдання дослідження фітоінвазій в Україні. *Синантропізація рослинного покриву України* : матеріали III Всеукр. наук. конф., 26–27 вересня. Київ : Наш формат, 2019. С. 48–49.
10. Протопопова В. В., Мосякін А. С., Шевера М. В. Фітоінвазії в Україні як загроза біорізноманіттю : сучасний стан і завдання на майбутнє. Київ : Інститут ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України, 2002. 28с.
11. Лось С. А. Інтродукція лісових деревних рослин. *Екологічна енциклопедія у 3 т.* / голов. ред. А. В. Толстоухов. Київ : Центр екол. освіти та інформ., 2007. Т. 2. С. 135.
12. Красовський В. В., Федько Р. М., Черняк Т. В., Орловський О. В. Дослідження кісточок мушмули звичайної (*Mespilus germanica* L.) в Хорольському ботанічному саду. *Екологічні науки*. Київ : Видавничий дім Гельветика, 2022. № 2 (41). С. 125–129. doi <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.2-41.21>.
13. Красовський В. В. Інтродукція унабі (*Zizyphus jujuba* Mill.) в Лісостепу України (біоекологічні особливості, розмноження, вирощування) : дис. ... канд. біол. наук : 03.00.05 / Нац. бот. сад. Київ, 2007. 190 с.

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ПОСУХОСТІЙКОСТІ СОРТІВ АГРУСУ В УМОВАХ ПІВНІЧНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Лагутенко О.Т.¹, Настека Т.М.¹, Шевченко В.Г.¹, Кривошопка В. А.², Дутова Г.А.³¹Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова
вул. Пирогова, 9, 02000, Київ²Інститут садівництва Національної академії аграрних наук України
вул. Садова, 23, Новосілки, 03027, Київ³Український інститут експертизи сортів рослин
вул. Генерала Родимцева, 15, 03041, Київ

lagutenkoot@ukr.net, nastekal12@gmail.com, shevchenko-valentina@bigmir.net

В сучасних реаліях зміни клімату все гостріше постає питання адаптації рослин до підвищених температур та водного дефіциту. Науковці [4] стверджують, що спостерігається випадіння ряду видів, зміщення ареалів рослин у північніші регіони. Особливо турбує проблема випадіння звичних нам високовітамінних продовольчих культур. Стаття присвячена дослідженню посухостійкості агрусу (*Ribes uva-crispa* L.) в сучасних агрокліматичних умовах зони Північного Лісостепу України. Проаналізовано результати вивчення посухостійкості агрусу із застосуванням польових, лабораторно-польових і лабораторних методів дослідження, які включали вивчення водного режиму рослини показників електропровідності листків. Отримані показники стійкості досліджуваних рослин до посушливих умов показують, що сорт агрусу 'Неслухівський' характеризується високим рівнем посухостійкості, навіть в несприятливих умовах вегетаційного періоду 2021 року. Суха погода у фазу плодоношення агрусу несприятливо вплинула на загальний стан рослин, а також призвела до суттєвого зниження їхньої врожайності. На основі досліджень автори прийшли до висновку, що вегетаційний період агрусу збільшився, його тривалість в досліджуваних сортів агрусу – 190, кількість вологи в листках агрусу становить 58,8–62,4%, а реальний водний дефіцит складає 3,2–8,7%, найбільша оводненість листків та найменший дефіцит вологи а також високий рівень толерантності до посухи характерні для сорту агрусу 'Неслухівський', молоді рослини агрусу сорту 'Неслухівський' характеризувалися високим рівнем початкової урожайності. (показники урожаю у 1,5–1,9 рази вищі порівняно з рештою сортів). На підставі результатів комплексної оцінки сорт агрусу 'Неслухівський' рекомендовано для створення високопродуктивних промислових ягідних насаджень. **Ключові слова:** сорт, агрус, посухостійкість, водоутримувальна здатність, водний дефіцит, оводненість, електропровідність.

Comprehensive assessment of drought resistance of gooseberry varieties in the conditions of the northern forest steppe of Ukraine. Lagutenko O., Nasteka T., Shevchenko V., Kryvoshepa V., Dutova H.

In the modern realities of climate change, the issue of plant adaptation to increased temperatures and water shortages is becoming increasingly acute. Scientists [4] claim that there is a loss of a number of species, a shift of plant habitats to northern regions. Of particular concern is the loss of the high-vitamin food crops we are used to. The article is devoted to the study of drought resistance of gooseberry (*Ribes uva-crispa* L.) in modern agroclimatic conditions of the Northern Forest Steppe zone of Ukraine. The results of the study of gooseberry drought resistance were analyzed using field, laboratory-field and laboratory research methods, which included the study of the water regime of the plant and the electrical conductivity of the leaves. The obtained indicators of resistance of the studied plants to arid conditions show that the gooseberry variety "Nesluhivskiy" is characterized by a high level of drought resistance, even in adverse conditions of the 2021 growing season. Dry weather during the gooseberry fruiting phase adversely affected the general condition of the plants, and also led to a significant decrease in their yield. Based on the research, the authors came to the conclusion that the growing season of gooseberry has increased, its duration in the investigated varieties of gooseberry is 190, the amount of moisture in gooseberry leaves is 58.8–62.4%, and the real water deficit is 3.2–8.7 %, the highest water content of leaves and the lowest moisture deficit, as well as a high level of tolerance to drought are characteristic of the 'Nesluhivskiy' gooseberry variety, young gooseberry plants of the 'Nesluhivskiy' variety were characterized by a high level of initial productivity. (harvest rates are 1.5–1.9 times higher compared to the rest of the varieties). Based on the results of a comprehensive assessment, the gooseberry variety 'Nesluhivskiy' is recommended for the creation of highly productive industrial berry plantations. **Key words:** variety, gooseberry, drought resistance, water-holding capacity, water deficit, hydration, electrical conductivity.

Постановка проблеми. Згідно наукових даних [8] для вегетації і нормального плодоношення агрус потребує не менше 200 мм опадів в період цвітіння і досягання ягід. При недостатньому вологозабезпеченні рослини агрусу потребують поливу.

В останні роки посушливі умови почали переважати в Україні [4]. Виробники ягідної продукції виявилися не готові до господарювання в посушливих умовах, які спричиняють зростання попиту на

воду та збільшення її дефіциту [10]. Зміни клімату та нестабільність випадіння атмосферних опадів, яка спостерігається в критичні періоди розвитку ягідних культур, актуалізують вивчення питання адаптації рослин, стійкості до нестачі вологи та високих температур.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Агрус в культурі поширений у Європі, Азії, а також у Північній Америці. В Україні агрус вирощують

в усіх ґрунтово-кліматичних зонах. Сучасний сортимент агрусу представлений сортами різного строку досягання (з переважанням ранньостиглих та середньостиглих). Серед них сорти різного призначення (столові, технічні, десертні), але в переважній більшості – це універсальні сорти. Агрус досить зимостійка і світлолюбна культура, однак посухостійкість селекційних сортів недостатня [6].

Корені агрусу розміщуються в основному у верхньому шарі ґрунту на глибині до 30-50 см, і лише невелика їх кількість проникає глибше, тому в умовах недостатнього зволоження ґрунту ця культура може потерпати від нестачі вологи. У вирішенні даної проблеми допоможуть як окремі агротехнічні прийоми (мульчування, зрошення), так і правильний добір сортів [7].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Більшість ягідних рослин вологолюбні, але навіть у порівняно посухостійких культур окремі сорти дуже сильно різняться за рівнем посухостійкості [5]. Селекціонери постійно пропонують нові цікаві сорти ягідних рослин з різними характеристиками, що потребують глибокого вивчення їх екологічної пластичності і стійкості до несприятливих факторів середовища в нових змінених умовах, і, особливо, рівня посухостійкості.

Для діагностики фізіологічного стану рослинних організмів з метою оцінки адаптивних реакцій рослин після дії різних чинників довкілля необхідні сучасні прилади, точні експресні методи, що дозволяють проникати в саму сутність досліджуваних процесів і явищ.

Найбільш поширеними методами рослин вивчення посухостійкості є польові спостереження та фізіологічні лабораторні, які не дають повної картини. Щоб оцінити вплив негативних чинників, викликаних посухою, доцільно знати, перш за все, реакцію листового апарату, його електричні параметри. Тому дослідження електролітичної провідності в листках агрусу викликає теоретичну і практичну зацікавленість, дозволить здійснювати комплексну оцінку рівня посухостійкості.

Мета статті. Встановити адаптивну здатність агрусу до вегетації та плодоношення в зоні Північного Лісостепу України за умови потепління клімату. Для досягнення мети виділено ряд завдань: здійснити комплексну оцінку посухостійкості сортів агрусу польовими та фізіологічними лабораторними методами, оцінити їх екологічну пластичність та адаптивність до умов північного Лісостепу України, вивчити перспективні сорти агрусу для вирощування в зоні дослідження.

Виклад основного матеріалу.

Дослід було закладено в північній правобережній частині лісостепової зони України, а саме в приватному домогосподарстві села Леонівка Бучанського району Київської області. Клімат зони помірно континентальний, тривалість вегетаційного періоду

становить 200-210 днів. Рівень забезпеченості культурних рослин вологою і теплом є достатнім для нормального розвитку і плодоношення, однак рівень зволоження в окремі роки є фактором напруження [1, 5]. У період вегетації рослин опадів випадає менше, із підвищенням температури збільшується сухість повітря, спостерігаються суховії. Сума опадів за рік досягає 560 мм. Ґрунтам характерний періодично промивний та непромивний водний режим.

За умовами зволоження і температурним режимом вегетаційний період 2021-2022 років характеризувався як досить складний внаслідок підвищеної напруженості гідротермічних факторів. Середньомісячні температури перевищували багаторічні дані, а найбільше перевищення спостерігали у березні – на 3,0, червні – на 3,5, липні – на 5,0°C. Сума опадів упродовж вегетаційного періоду (за винятком травня) була нижчою за норму і становила у березні, червні та липні – 54, 22 і 40% від норми. Гідротермічний коефіцієнт (ГТК) впродовж травня – жовтня складав менше 1, що вказує на посушливість умов. Таким чином, погодні умови у роки досліджень суттєво відрізнялись від середніх багаторічних показників.

Фенологічні спостереження за ростом і розвитком рослин проводили згідно загальноприйнятих методів [3]. Польові спостереження (візуальна оцінка пошкоджень листків) та лабораторно-польові дослідження (визначення водоутримувальної здатності, водного дефіциту та оводненості листків, електропровідність тканин листя) здійснювали відповідно до загальноприйнятих методик [1, 7, 9]. Урожайність сортів та масу ягід визначали ваговим методом. Догляд за насадженнями здійснювали згідно технології вирощування куштових ягідних культур. Лабораторні дослідження проводились на базі Інституту садівництва НААН України на підставі договору про творчу співпрацю між лабораторією фізіології рослин і мікробіології ІС НААН та кафедри біології Факультету природничо-географічної освіти та екології НПУ імені М.П. Драгоманова.

Об'єктами дослідження були 3-4-річні кущі агрусу. Досліджувані сорти агрусу: вітчизняної селекції – 'Красень' (Мліївський інститут садівництва УААН, автор І.О. Миколайчук), 'Неслухівський' (Львівська дослідна станція садівництва, автори: К.М. Копань, В.П. Копань та З.А. Шестопал), а також російської – 'Безшипний' (Всеросійський науково-дослідний інститут садівництва імені І.В. Мічуріна), 'Ізмурод' (Південно-Уральський науково-дослідний Інститут садівництва та картоплярства). Вони мають різні строки дозрівання і різний зовнішній вигляд ягід. Сорти 'Красень' та 'Неслухівський' включені до Держреєстру сортів рослин України [2].

Результати досліджень.

Вегетація розпочалася раніше в ранньостиглих сортів ('Неслухівський', 'Ізмурод') 18-20 березня,

в середньостиглих ('Красень', 'Безшипний') пізніше – 22-25 березня. Цвітіння спостерігали 10–15 квітня. У фазу зав'язування плодів ранні сорти вступали 1–4 травня, середньостиглі – 6–9 травня. Плодоношення тривало в середньому 1,5-2 місяці.

Аналіз початку та тривалості фенологічних фаз агрусу в період дослідження дозволив встановити, що досліджувані сорти активно вступають у фази вегетації та своєчасно плодоносять в даній кліматичній зоні. Проте, в період плодоношення спостерігались візуальні ознаки в'янення листя, що свідчить про неадаптованість рослин до дефіциту вологи в ґрунті.

Впродовж вегетаційного періоду 2021-22 років фіксували ушкодження листя, їх опадання, а також в'янення і осипання плодів. Оцінку ушкоджень листя та плодів проводили у фазу зав'язування плодів – фазу плодоношення за чотирьохбальною шкалою: 0 – відсутність ушкодження (осипання); 1 – ушкодження країв листя (осипання одиничного листя(плодів)); 2 – ушкодження (осипання) значної частини (близько половини) листя (плодів); 3 – ушкодження (осипання) усього листя (плодів).

За незначної кількості опадів (червень ГТК=0,23; липень ГТК = 0,43) в рослин агрусу (сорт 'Ізмурд') спостерігали незначні площі листків, що втратили життєздатність (1 бал), а в сорту агрусу 'Красень' – ушкодження значної частини листкової пластинки (2 бали). Вже у фазі плодоношення (5-10 липня) на фоні атмосферної та ґрунтової посухи рослини агрусу сортів 'Красень' та 'Ізмурд' скидали частину листків, щоб зменшити випаровування. У рік дослідження спостерігали повне опадання листків у сорту 'Красень' – 2–6 вересня. Часткове або повне скидання листя в'яглих рослин призвели до зниження якості та врожайності плодів. В'янення та осипання одиничних плодів відмічали в сортів агрусу 'Красень' та 'Ізмурд'.

Для поглиблення візуального дослідження нами визначені оводненість та водний дефіцит листків, а також водоутримувальна здатність сортів агрусу. Відбору зразків (третя декада червня) передувала відсутність опадів (не менше 7 днів) і порівняно висока середньодобова температура повітря. Проведені дослідження засвідчують достатні рівні

водоутримувальної здатності листків вивчених сортів агрусу (табл. 1).

Найбільше вологи втрачають усі досліджувані сорти агрусу на 24-ту годину. В таких сортів агрусу як 'Красень' та 'Безшипний' через 24 години листки підсохли, а в 'Ізмурда' – повністю висохли (втрата води більше 50%). Лише у сорту 'Неслухівський' листки зав'яли, але не висохли (втрата води менше 50%). Серед сортів агрусу як найбільш посухостійкий виділився 'Неслухівський', який вже на 2-гу годину, а також на 4-ту, 6-ту і 24-ту години мав достовірний найменший показник водовіддачі листя. Сорт агрусу 'Безшипний' також характеризувався низькою водовіддачею на 2-гу, 4-ту і 6-ту годину від початку досліду, а на 12-ту годину його наздогнав сорт 'Красень' за показником водовіддачі листя. Достовірною найбільшою водовіддачею характеризувався сорт 'Ізмурд' на 2-гу, 4-ту і 6-ту годину від початку досліду, а також на 12-ту годину (різниця між показниками втрати вологи перевищує HP_{05}). Показники водного дефіциту листків агрусу свідчать про високий рівень посухостійкості сорту 'Неслухівський' (3,2%). Низьким рівнем посухостійкості характеризується сорт агрусу 'Ізмурд', в якого водний дефіцит був найбільшим і становив 8,7%.

Доволі інформативним методом діагностики реакцій рослинного організму на стрес є метод визначення електропровідності тканин листя. Застосування цього сучасного фізіологічного методу досліджень дозволяє отримувати опосередковані дані щодо структурно-функціональних змін, які відбуваються під час втрати рослинами води [1, 10].

Визначення посухостійкості лабораторним методом за електропровідністю листків здійснювали на інструментальній базі сектора фізіології ІС УАН. Вимірювання здійснювали на фоні природної посухи в лабораторії на електрометрі Е 7-13 з 2-, 4- і 24-годинною експозицією (табл. 2).

На початку досліду візуально найгірший стан листків був у 'Красеня', а найкращий – у 'Ізмурда'. Через 4 години листки всіх сортів почали підсихати, але найгірший стан був у листків сорту 'Красень' (можливо це пов'язано з їх найгіршим станом на про-

Таблиця 1

Показники водного дефіциту, оводненості та водоутримувальної здатності тканин листя сортів агрусу (середні показники за два роки досліджень)

Сорт	Втрата води, %				Водний дефіцит, %	Оводненість, %
	через 2 години	через 4 години	через 6 години	через 24 години		
Безшипний	8,45	13,76	20,74	62,93	5,3	61,5
Ізмурд	21,92	28,20	35,35	66,01	8,7	60,1
Красень	10,15	15,76	26,97	61,82	4,6	58,8
Неслухівський	6,17	8,94	15,11	47,17	3,2	62,4
HP_{05}	1,8	2,5	3,7	8,9	0,9	$F_{\phi} < F_{05}$

Таблиця 2

Показники електропровідності тканин листя сортів агрусу, mS
(середні показники за два роки досліджень)

Сорт	Час експозиції, год.			
	До експозиції	Через 2 години	Через 4 години	Через 24 години
Безшипний	2,25	1,80	1,67	0,93
Ізмурд	2,61	1,83	1,59	1,51
Красень	2,39	1,70	1,45	1,08
Неслухівський	2,28	1,90	1,72	1,60
НІР ₀₅	0,33	0,18	0,21	0,19

Таблиця 3

Урожайність 2-3-річних кущів агрусу (середні показники за два роки досліджень)

Сорт	Середня маса ягоди, г	Урожай з куща, кг	Урожайність, т/га (схема садіння кущів 1x1,5м)
Безшипний	4,8	4,34	28,93
Ізмурд	4,6	4,15	27,67
Красень	4,4	3,56	23,73
Неслухівський	5,2	6,63	44,20
НІР ₀₅	0,21	0,13	6,637

чанку експозиції), а найкраще – у ‘Неслухівського’. Через 24 год. листки всіх сортів підсохли, у ‘Красеня’ і ‘Безшипного’ повністю висушили.

Абсолютні значення електропровідності листків досліджуваних сортів агрусу становили 2,25–2,61 mS (мікросименсів) на початку в’янення і впродовж наступних 24 год. знижувались у сорту ‘Неслухівський’ лише на 30 %, у ‘Безшипного’ – майже на 60 %.

За попередніми результатами вивчення електропровідності визначено рівні посухостійкості сортів агрусу: високий – до 30%, середній – 40-50%, низький – понад 60%. За величиною показників електропровідності листків стійкішим до посухи виявився сорт ‘Неслухівський’.

Продуктивність ягідних рослин є важливим показником їх адаптованості до змінюваних умов середовища (табл. 3).

Середня маса ягід в досліджуваних сортів агрусу коливалася в межах 4,4–5,2 г, серед них істотно більшою була середня маса ягід сорту ‘Неслухівський’ (різниця між варіантами більше НІР₀₅). Найвищу врожайності спостерігали у плодоносних рослин агрусу сорту ‘Неслухівський’ (6,63 кг/кущ), що тісно пов’язано із високий показником середньої маси ягід (5,2 г) в даного сорту.

Висновки і пропозиції. За результатами проведених досліджень встановлено:

1. Вегетаційний період агрусу збільшився, його тривалість в досліджуваних сортів агрусу – 190 днів проти 160-170 згідно середніх даних, що пов’язано з аномально раннім настанням кліматичної весни і початком вегетації.

2. На фоні природної посухи кількість вологи в листках агрусу становила 58,8–62,4%, а реальний водний дефіцит складав 3,2–8,7%. Найбільша оводненість листків та найменший дефіцит вологи, що вказує на вищу посухостійкість рослин, спостерігали в сорту Неслухівський’.

3. На основі біофізичного методу електропровідності тканин листків доведено високий рівень толерантності до посухи сорту ‘Неслухівський’. Є підстави вважати, що існує кореляція між показниками електропровідності листя і рівнем потенційної продуктивності сорту.

4. Молоді рослини агрусу сорту ‘Неслухівський’ характеризувалися високим рівнем початкової урожайності. В умовах недостатнього вологозабезпечення показники урожаю у 1,5-1,9 рази вищі порівняно з рештою сортів.

5. Сорт агрусу ‘Неслухівський’ рекомендовано для створення високопродуктивних промислових ягідних насаджень.

6. Метод визначення електропровідності листя можна застосовувати окремо чи спільно з іншими методами вивчення посухостійкості.

Література

- Андрусик Ю. Ю., Китаєв О. І., Лушпіган О. П. Посухо- та жаростійкість сортів малини в Північному Лісостепу України. *Збірник наукових праць Уманського державного аграрного університету*. 2008. Вип. 67, Ч. 1. С. 146–151.
- Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні. URL: <https://minagro.gov.ua/ua/file-storage/reyst-sortiv-roslin>

3. Кондратенко П. В., Бублик М. О. Методика проведення польових досліджень з плодовими культурами. К.: Аграрна наука, 1996. 95 с.
4. Криворученко З. Р. Тенденції та можливі наслідки глобальних та регіональних змін клімату. *Електронний журнал «Державне управління: удосконалення та розвиток»*. № 9. 2014. URL: <http://www.dy.nauka.com.ua/?op=1&z=754>.
5. Кривошапка В. А., Бублик М. О., Китаєв О. І., Груша В. В. Кліматичні зміни та ризики при вирощуванні плодових і ягідних культур в умовах північної частини Лісостепу України. *Садівництво*. 2017. Вип. 71. С. 130–138.
6. Лагутенко О. Т., Марковський В. С. Культура та господарське значення агрусу. *Наука та практика: інновація – 2007: збірник наукових праць Міжнародної науково-практичної конференції*. Полтава: Громадська асоціація «Аграрна наука і практика», 2007. С. 64–68.
7. Лагутенко О. Т., Настека Т. М., Кондратенко М. О. Вивчення посухостійкості сортів агрусу (*Grossularia uva-crispa* (L.) Mill.) при вирощуванні в умовах Українського Полісся. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія*. 2017. № 2 (69). С. 31–34.
8. Марковський В. С., Бахмат М. І. Ягідні культури в Україні. Кам'янець-Подільський 2008. С. 46–72.
9. Ходаківська Ю., Копань В. Визначення посухостійкості сортів груші методом електропровідності листків. *Вісник Львівського національного аграрного університету: Агрономія*. 2008. № 12 (2). С. 77–80.
10. Wilson, L., New, S., Daron, J., Golding, N. (2021). Climate Change Impacts for Ukraine. Met Office. URL: https://mepr.gov.ua/files/docs/Zmina_klimaty/2021/%D0%97%D0%B2%D1%96%D1%82.pdf

UDK 579.61+634.74|581.6(477)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.5-44.33>

ЕНДОФІТНІ ІЗОЛЯТИ МІКРОМІЦЕТІВ ІЗ ПЛОДІВ *CHAENOMELES THIBETICA* ТА ЇХ ФУНГІСТАТИЧНА АКТИВНІСТЬ

Лихолат Ю.В., Дрегваль О.А., Дідур О.О., Хромих Н.О., Скляр Т.В., Давидов В.Р., Лихолат Т.Ю.
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
просп. Гагаріна, 72, 49010, м. Дніпро
lykholat2006@ukr.net, odrehval@gmail.com, didur@ua.fm, khromykh@ukr.net,
microviro@ukr.net, vadim.davodof@gmail.com, lyktata89@ukr.net

Робота присвячена вивченню фунгістатичного потенціалу симбіотичних мікроміцетів, виділених із плодів *Chaenomeles thibetica* Т.Т. Ю., інтродукованого в степовій зоні України. Рослини цього виду відомі як джерело біологічно-активних речовин з підвищеною антиоксидантною здатністю, які застосовуються у традиційній медицині. Крім того, *Ch. thibetica* має високу стійкість до збудників мікозів, що може бути частково забезпечено дією ендоефітних мікроорганізмів. Проте ендоефітні угруповання мікроорганізмів у рослинах хеномелесу майже не досліджені. Обґрунтовано актуальність здійснення екологічно безпечного контролю патогенів і розроблення біологічних препаратів на основі ендоефітних мікроорганізмів (або їх метаболітів), які розглядаються як альтернатива хімічним пестицидам, фунгіцидам і бактеріцидам. Актуальність цього завдання для степової зони аргументовано недостатнім видовим різноманіттям плодів рослин, які мають оздоровчі властивості. Ендоефіти ізолювали з плодів *Ch. thibetica*, зібраних у ботанічному саду Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара. Для дослідження ізолятів мікроміцетів застосовували методи макроскопічного аналізу (форма, розмір, структура колонії, колір зовнішнього боку колонії та її реверзум) та мікроскопічного аналізу (тип і розмір конідієноспів, розмір конідій, фіалід та метул, наявність шорсткості на структурах тощо) за допомогою світлодіодного мікроскопа Ulab XY-B2T, оснащеного тринкулярною насадкою для підключення цифрової камери-окуляра. Фунгістатичний потенціал ендоефітних ізолятів оцінювали методом подвійних культур проти фітопатогенних грибів *Alternaria alternata*, *Fusarium culmorum* та *Fusarium oxysporum*. Досліджені ізоляти були віднесені до роду *Penicillium* та визначені як види *P. brevicompactum* Dierckx і *P. viridicatum* Westling. Обидва ізоляти уповільнювали ріст колоній фітопатогенних грибів *F. culmorum*, *F. oxysporum*, *A. alternata* (64,4–96,3 % інгібування росту відносно контролю). Фунгістатична активність обох ізолятів проти *F. oxysporum* (96,3 % і 76,6 % відповідно) перевищувала активність відомого антагоніста фітопатогенів *T. viride*, який показав 67,4 % інгібування росту. Ендоефітні гриби з плодів *Ch. thibetica* представляють практичний інтерес як потенційні агенти для біоконтролю фітопатогенів та продуценти біологічно-активних речовин. **Ключові слова:** ендоефіти, фунгістатичний потенціал, нетрадиційні плодові рослини, хеномелес тибетський.

Endophytic isolates of micromycetes from *Chaenomeles thibetica* fruits and their fungistatic activity. Lykholat Y., Dreghval O., Didur O., Khromykh N., Sklyar T., Davydov V., Lykholat T.

The work is devoted to studying the fungistatic potential of symbiotic micromycetes isolated from the fruits of *Chaenomeles thibetica* T.T. Yu., introduced in the steppe zone of Ukraine. Plants of this species are known as a source of biologically active substances with increased antioxidant capacity, which are used in traditional medicine. In addition, *Ch. thibetica* has high resistance to pathogens of mycoses, which can be partially ensured by the action of endophytic microorganisms. However, endophytic groups of microorganisms in *Chaenomeles* have hardly been studied. The relevance of ecologically safe control of pathogens and the development of biological preparations based on endophytic microorganisms (or their metabolites), which are considered as an alternative to chemical pesticides, fungicides and bactericides, is substantiated. The importance of this task for the steppe zone is argued by the insufficient species diversity of fruit plants that have health-improving properties. Endophytes were isolated from the fruits of *Ch. thibetica*, collected in the Botanical Garden of Oles Honchar Dnipro National University. To study the isolates, the macroscopic methods (shape, size, structure of the colony, color of the outer side and reverse) and microscopic analysis (type and size of conidiophores, size of conidia, phialide and metula, presence of roughness on the structures, using an LED Ulab XY-B2T microscope equipped with a trinocular attachment for connecting a digital eyepiece camera) were used. The fungistatic potential of endophytic isolates was evaluated by the method of double cultures against phytopathogenic fungi *Alternaria alternata*, *Fusarium culmorum* and *Fusarium oxysporum*. The studied isolates were assigned to the genus *Penicillium* and identified as *P. brevicompactum* Dierckx and *P. viridicatum* Westling. Both isolates inhibited the growth of colonies of phytopathogenic fungi *F. culmorum*, *F. oxysporum*, *A. alternata* (64.4–96.3% growth inhibition relative to the control). The fungistatic activity of both isolates against *F. oxysporum* (96.3% and 76.6%, respectively) exceeded that of the well-known phytopathogen antagonist *T. viride*, which showed 67.4% growth inhibition. Endophytic fungi from the *Ch. thibetica* fruits are of practical interest as potential agents for biocontrol of phytopathogens and producers of biologically active substances. **Key words:** endophytes, fungistatic potential, non-traditional fruit plants, *Ch. thibetica*

Постановка проблеми. Ендоефітні мікроорганізми колонізують внутрішній міжклітинний простір рослини та здатні зменшувати їх зараженість патогенами. Останнім часом відзначено підвищений науковий інтерес до вивчення ендоефітних мікроорганізмів плодів культур у контексті парадигми сталого

сільського господарства та ефективного управління цими культурами.

Актуальність дослідження. Одним із практичних підходів для екологічно безпечного контролю патогенів є розробка біологічних препаратів, на основі ендоефітних мікроорганізмів або їх метаболітів.

літів, які розглядаються як альтернативні хімічним пестицидам [1–3], фунгицидам [4] і бактеріцидам [5]. Такі препарати виявляють комплексну біологічну активність проти фітофагів або патогенів, а також здатні до тривалого перебування всередині рослин.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Представлені дослідження виконані в межах науково-дослідної роботи «Біологічно активні речовини малопоширених плодових рослин як ефективні засоби підвищення якості продукції та цінності сировини для функціонального харчування», державний номер реєстрації – 0121U109772 (замовник – МОН України, строк виконання 2021–2022).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Одним із перспективних напрямків досліджень ендоефітної мікробіоти є вивчення ендоефітних мікроміцетів плодових культур, що проявляють високу біологічну активність та антиоксидантні властивості. До таких рослин належать види роду *Chaenomeles* Lindl. (підродина *Amygdaloideae*, родина *Rosaceae*). У степовій зоні України кілька видів і гібридів *Chaenomeles* успішно адаптувалися і плодоносять, накопичуючи високий рівень фенольних сполук і виявляючи більшу стійкість до поширених в регіоні патогенів порівняно з іншими плодовими рослинами [6]. Листя і плоди рослин *Chaenomeles* відносно мало пошкоджуються більшістю збудників, поширених у степовому регіоні (рис. 1). Мінімальна сприйнятливість до мікозів визначено для різних видів *Chaenomeles*, що може бути пов'язано із захисною функцією ендоефітів. Fedulova et al. [7] установила мінімальний ступінь чутливості *Ch. japonica* і *Ch. cathayensis* до фітопатогенних грибів, за винятком гриба *Monilia fructigena*, який демонструє більшу патогенність для плодових рослин. Виникнення хвороби плямистості листя, спричиненої *Colletotrichum gloeosporioides* на листках *Ch. sinensis* було повідомлено [8] як перший місцевий випадок чутливості

цього виду до патогенів. У дослідженні [9] з'ясовано суттєву антимікробну активність екстрактів шкірки плодів і м'якоті *Ch. cathayensis* і *Ch. × californica* проти широкого кола протестованих грамнегативних і грампозитивних штамів бактерій, а також двох штамів *Candida*. Відомостей про ендоефітні угруповання різних видів і їх гібридних форм рослин *Chaenomeles* дуже мало, за винятком великої різноманітності мікоризних грибів *Ch. speciosa* [10].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Ця робота пов'язана з недостатнім знанням ендоефітної мікробіоти видів *Chaenomeles* та їх внеску в розвиток стійкості цих рослин до патогенів.

Мета роботи – виділення та ідентифікація ендоефітних мікроміцетів із плодів *Ch. thibetica* та виявлення антифунгального потенціалу ізолятів по відношенню до фітопатогенних грибів.

Новизна. Вперше досліджено антифунгальний потенціал ізолятів мікроміцетів, виділених з плодів *Ch. thibetica*.

Методологічне або загальнонаукове значення. Виділені ендоефітні мікроміцети можуть бути використані для розробки на їх основі біологічних препаратів захисту рослин від мікозів.

Виклад основного матеріалу. Плоди рослини *Ch. thibetica* взяті з ботанічного саду Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара (48°26'7" N, 35°2'34" E, м. Дніпро, Україна). У ботанічному саду рослини роду *Chaenomeles* Lindl. були інтродуковані понад 25 років тому в степовій зоні, де спостерігається мала кількість опадів (у середньому 473 мм, але 265 мм в посушливі роки) та різьки коливання температури.

Методи досліджень. Стиглі плоди *Ch. thibetica* були зібрані в першій половині вересня 2021 року. Зразки промивали теплою водою, потім стерилізували шляхом послідовного занурення в 70% етанол на 30 сек і в 4%-вий розчин гіпохлориту натрію на 30 сек, промивали стерильною дистильованою водою



Рис. 1. Зовнішній вигляд чагарника *Ch. thibetica* з плодами

і обпалювали. Порції шкірки та м'якоті плодів (приблизно по 2,0 г) відбирали стерильним скальпелем і розтирали в стерильній ступці товкачем з додаванням 10 мл розчину хлориду натрію (0,5%). Аліквоти (1 мл) кожної суспензії інокулювали на картопляний глюкозний агар (КГА), розлитий у чашки Петрі. Посіви витримували за температури $28,0 \pm 0,2$ °C протягом 6 діб. Потім чашки Петрі досліджували візуально. гіфи з окремих колоній мікроміцетів інокулювали в нові чашки Петрі та інкубували до утворення колоній. Після інкубації чисті культури переносили на скошений КГА у пробірках і зберігали за температури 4 °C до використання в подальших дослідженнях. Макроскопічні та мікроскопічні методи були основою для ідентифікації ендоефітних мікроміцетів. Ізоляти вирощували на двох середовищах – Чапека та Чапека з дріжджовим автолізатом.

Макроскопічне дослідження морфології ендоефітів включало виявлення таких ознак як форму, розмір, структуру колонії, колір лицьового та зворотного боку колоній, дифузійні пігменти та утворення ексудату. Мікроскопічний аналіз препаратів, виготовлених із невеликої частини міцелію грибів і забарвлених метиленовим синім, проводили при 40-кратному і 100-кратному збільшенні об'єктиву за допомогою світлодіодного мікроскопа Ulab XY-B2T, який оснащений тринокулярною насадкою для підключення цифрової камери-окуляра.

Антагоністичний потенціал ендоефітних ізолятів грибів оцінювали методом подвійних культур [11] відносно фітопатогенних грибів *Alternaria alternata* КМВ-F-16 з колекції культур мікроорганізмів кафедри мікробіології, вірусології та біотехнології ДНУ імені Олеся Гончара, *Fusarium culmorum* ІМВ-F-50716 та *Fusarium oxysporum* ІМВ-F-54201, які надані Інститутом мікробіології та вірусології імені Заболотного (м. Київ). Фунгістатичний потенціал ендоефітів відносно *A. alternata*, *F. oxysporum* та

F. culmorum порівнювали з дією штаму *Trichoderma viride*, основою біофунгіциду Viridin Триходермін БТ (Ензим Агро). Блоки міцелію (діаметром 7 мм) активно зростаючих 6-денних культур збудників та ізолюваних ендоефітів поміщали в чашки Петрі із середовищем КДА на рівній відстані від периферії. Контрольні чашки інокулювали патогенним грибом. Усі чашки інкубували за температури $28 \pm 0,2$ °C протягом 6 діб. Антагоністичну здатність ізолятів вимірювали як відсоток інгібування (PI %) за формулою $PI \% = [(S1-S2)/S1] \times 100$, де S1 – площа колонії для контролю патогенів, S2 – площа колонії патогена за присутності ендоефітного ізоляту.

Усі досліді проводили в п'яти повторах. Отримані дані були розраховані за допомогою Microsoft Excel XP 2007 і виражені як середнє $\pm$ стандартне відхилення ($x \pm SD$), а відмінності між середніми були перевірені за допомогою множинного критерію Тьюкі. Всі відмінності вважали статистично значущими за $P < 0,05$.

Результати дослідження. Із плодів *Ch. thibetica* виділено два ізоляти грибів.

Ізолят 1, виділений зі шкірки плодів. Колонії на середовищі Чапека з дріжджовим автолізатом діаметром до 2,5 см з піднятим центром та радіальними борознами, зелені з білою крайовою зоною, бархатисті (рис. 2). Реверзум – світло-оранжевий. На середовищі Чапека колонії 2,5 см діаметром радіально-борозчасті, спочатку білі, потім стають жовтуватого-сіро-зеленого кольору, починаючи з центру (зона спороношення), повстяні. Реверзум – кремовий. Конідієносці тервертицилятні 270×4 мкм, шорсткі; гілочки $17,9 \times 4,6$ мкм; метули $15,5 \times 3,7$ мкм; фіаліди ампулоподібні $7,9 \times 2,8$ мкм; конідії сферичні $2,9-3,4$ мкм. За морфологічними характеристиками та згідно науковим оглядам, присвячених таксономії роду *Penicillium* [12, 13], виділений ізолят може бути віднесено до *Penicillium brevicompactum* Dierckx.

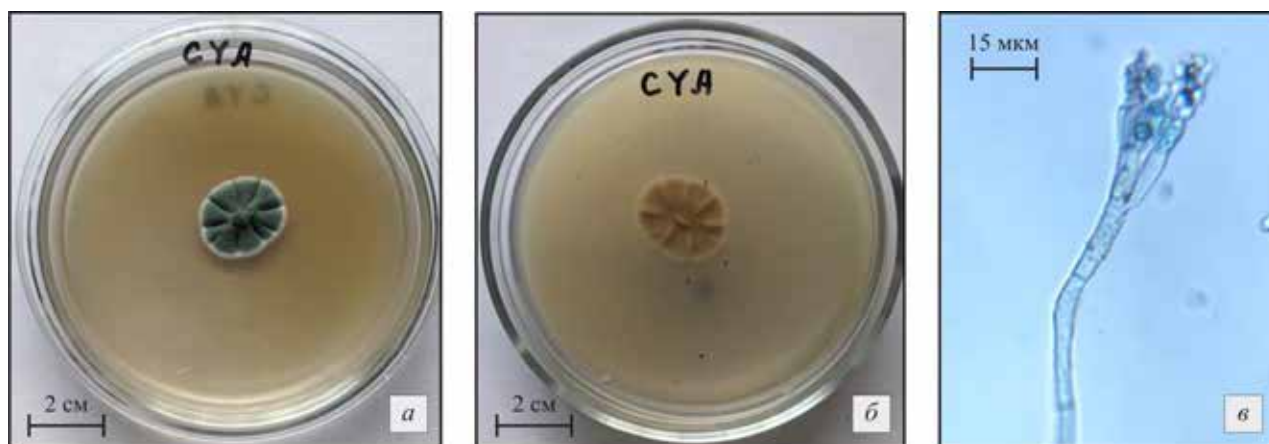


Рис. 2. Макро- та мікрофотографії ендоефітних грибів роду *Penicillium* зі шкірки плодів *Ch. thibetica* (ізолят 1, 5-та доба): а – поверхня колонії на середовищі Чапека з дріжджовим автолізатом; б – реверзум; в – конідієносець і конідії під світловим мікроскопом

P. brevicompactum – це вид космополіт, який трапляється у ґрунтах під хвойними лісами, ґрунтах сільськогосподарських угідь, на зернових та плодівих культурах, картоплі тощо. Повідомлялося, що препарати на основі вторинних метаболітів цього гриба застосовують для попередження відторгнення органів під час трансплантації [12].

Ізолят 2, виділений із м'якоті плодів. Колонії на середовищі Чапека з дріжджовим автолізатом діаметром 2,5 см, темно-зелені з білим краєм, з краплями ексудату жовтого кольору, бархатисті (рис. 3). Реверзум – жовто-оранжевий. На середовищі Чапека колонії 3,2 см, спочатку білі, потім світло-жовті з сіро-зеленим центром (зона спороношення) та білим хвилястим краєм, з концентричними круговими зонами. Реверзум – світло-жовтий. Конідиєносці тервертицилатні, довжиною $360 \times 6,1$ мкм, шорсткі; гілочки $38,2 \times 3,5$ мкм; метули $14,5 \times 3,5$ мкм; фіаліди ампулоподібні $10,8 \times 2,5$ мкм; конідії еліптичні $3,8 \times 4,2$ мкм або сферичні 4,0 мкм. За морфологічними характеристиками та згідно науковим оглядам, присвячених таксономії роду *Penicillium* [12, 13] виділений ізолят може бути віднесено до *Penicillium viridicatum* Westling.

P. viridicatum трапляється в Європі, Північній Америці, Східній Африці, Східній Азії (Тайвань, Японія); у ґрунті, ризосфері зернових та бобових

культур, на органічних (у т. ч. рослинних) рештках, спричинює пошкодження зернової продукції [12, 13].

Порівнюючи фунгістатичний потенціал виділених ізолятів та *T. viride*, який широко використовується для контролю за хворобами сільськогосподарських рослин, слід відмітити, що ізолят 1 має вищу активність відносно *F. oxysporum* – 96,26 % проти 67,45 % відповідно (табл. 1).

Ізолят 1 проявив відносно високу активність до *A. alternata* (85,98 %). Антагоністична активність ізолята 2 відносно *F. oxysporum* також вища, ніж у *T. viride* (76,6 % проти 67,45 % відповідно), хоча відносно інших протестованих фітопатогенів вона виявилася нижчою. Отже, методом подвійної культури виявлено високу фунгістатичну дію досліджуваних ізолятів відносно *F. oxysporum* (рис. 4).

Дослідники [14] на прикладі 12 видів ендоефітних грибів рослини *Securinega suffruticosa* показали, що відсоток інгібування росту *Colletotrichum siamense* коливався в межах 3,6–26,3 %. Інші науковці [15] під час дослідження ізолятів ендоефітних грибів, виділених із *Chloranthus japonicus* Sieb з'ясували, що штам F8158 виявив сильні антагоністичні властивості (відсоток інгібування росту міцелію різних патогенів складав 47,72–88,18 %). У наших дослідках антагонізм виділених ізолятів коливався в межах

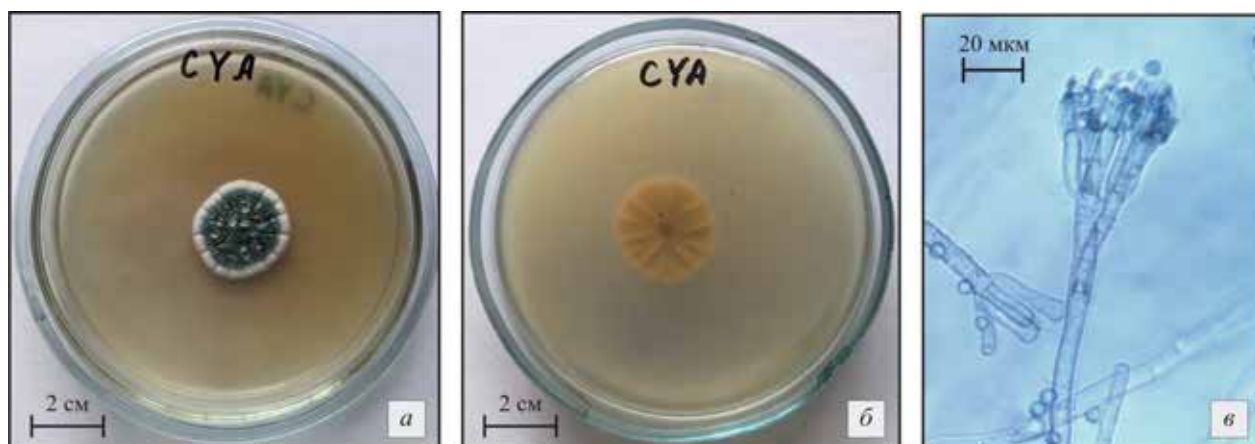


Рис. 3. Макро- та мікрофотографії ендоефітних грибів роду *Penicillium* з м'якоті плодів *Ch. thibetica* (ізолят 2, 5-та доба): а – поверхня колонії на середовищі Чапека з дріжджовим автолізатом; б – реверзум; в – конідиєносець і конідії під світловим мікроскопом

Таблиця 1

Антагоністична активність ендоефітних ізолятів грибів роду *Penicillium*, виділених із плодів *Ch. thibetica*, та *Trichoderma viride*, % інгібування в подвійній культурі ($\bar{x} \pm SD$, $n = 5$)

Тестовий фітопатоген	Ендоефітні ізоляти		<i>T. viride</i>
	1	2	
<i>A. alternata</i> КМВ-F-16	$85,98 \pm 0,2^a$	$72,71 \pm 0,15^b$	$98,53 \pm 0,02^c$
<i>F. culmorum</i> ІМВ-F-50716	$67,67 \pm 0,54^a$	$64,38 \pm 1,11^b$	$94,42 \pm 0,04^c$
<i>F. oxysporum</i> ІМВ-F-54201	$96,26 \pm 0,11^a$	$76,6 \pm 0,25^b$	$67,45 \pm 0,21^c$

Примітка. Різні літери у рядку вказують на достовірну різницю середніх (за критерієм Тьюкі, $P \leq 0,05$).

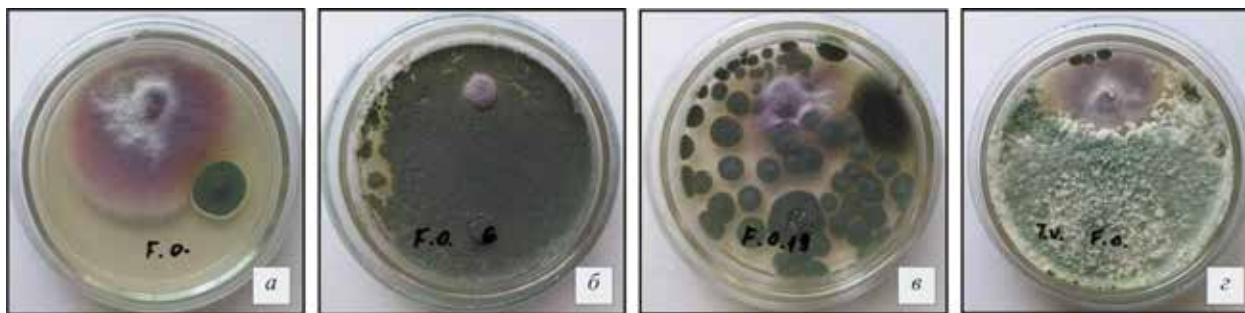


Рис. 4. Антагоністична активність ізолятів ендоефітних грибів, виділених з *Ch. thibetica*, та штаму *T. viride*: а – *F. oxysporum* (контроль), б – ізолят 1 проти *F. oxysporum*, в – ізолят 2 проти *F. oxysporum*, з – *T. viride* проти *F. oxysporum*

64,38–96,26 % і у випадку тестування відносно *F. oxysporum* IMB-F-54201 перевищував активність штаму *T. viride* (табл. 1).

Висновки. Вперше досліджено антифунгальну активність ендоефітних грибів, виділених з плодів *Ch. thibetica*, який зростає в умовах степової зони. Встановлено, що виділені ізоляти належать до роду *Penicillium* та представлені видами – *P. brevicompactum* Dierckx і *P. viridicatum* Westling. Досліджені ізоляти проявляли достатньо високу

інгібуючу активність відносно трьох фітопатогенних грибів (*F. culmorum*, *F. oxysporum*, *A. alternata*) – 64,4–96,3 % інгібування росту відносно контролю, а по відношенню до *F. oxysporum* проявляли більш високу фунгістатичну активність, ніж відомий антагоніст фітопатогенів *T. viride*. Отже, показано, що ендоефітні гриби з плодів *Ch. thibetica* представляють практичний інтерес як потенційні агенти для біоконтролю фітопатогенів та продуценти біологічно-активних речовин.

Література

1. Antifungal activity of *Bacillus* species against *Fusarium* and analysis of the potential mechanisms used in biocontrol / N. Khan, P. Martínez-Hidalgo, T.A. Ice, M. Maymon, E.A. Humm, N. Nejat, E.R. Sanders, D. Kaplan, A.M. Hirsch. *Frontiers in Microbiology*. 2018. Vol. 9. P. 2363. doi: 10.3389/fmicb.2018.02363
2. Gamalero E., Glick B.R. The use of plant growth-promoting bacteria to prevent nematode damage to plants. *Biology*. 2020. Vol. 9, Is. 11. P. 381. <https://doi.org/10.3390/biology9110381>
3. Rui L. Plant-growth-promoting bacteria (PGPB) against insects and other agricultural pests. *Agronomy*. 2020. Vol. 10, Is. 6. P. 861. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060861>
4. Probiotic endophytes for more sustainable banana production / M.J. Beltran-Garcia, A. Martinez-Rodriguez, I. Olmos-Arriaga, B. Valdez-Salas, Y.Y. Chavez-Castrillon, P. Di Mascio, J.F. White. *Microorganisms*. 2021. Vol. 9. P. 1805. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9091805>
5. Isobenzofuranones and isocoumarins from kiwi endophytic fungus *Paraphaeosphaeria sporulosa* and their antibacterial activity against *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* / Q. Chen, J.J. Yu, J. He, T. Feng, J.K. Liu. *Phytochemistry*. 2022. Vol. 195. P. 113050. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2021.113050>
6. *Chaenomeles speciosa* fruit endophytic fungi isolation and characterization of their antimicrobial activity and the secondary metabolites composition / Y.V. Lykholat, N.O. Khromykh, O.O. Didur, O.A. Drehval, T.V. Sklyar, A.O. Anishchenko. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*. 2021. Vol. 10. P. 83. <https://doi.org/10.1186/s43088-021-00171-2>
7. Screening of phytopathogens and phytopathogues on *Chaenomeles* (CHAENOMELES LINDL.) cultivars / Y. Fedulova, A. Kuklina, V. Sorokopudov, O. Sorokopudova, S. Shlapakova, Y. Lukashov, D. Fayzrakhmanov, B. Ziganshin, F. Nezhmetdinova, R. Shaydullin. *BIO Web of Conferences*. 2020. Vol. 17(1–2). P. 00245. doi: 10.1051/bioconf/20201700245
8. Ni H., Kong W.-L., Zhang Q.-Q., Wu X.-Q. First report of leaf spot disease caused by *Colletotrichum gloeosporioides* on *Chaenomeles sinensis* in China. *Plant Disease*. 2021. P. 2731. doi: 10.1094/pdis-11-20-2488-pdn
9. GC-MS analysis of cuticular waxes and evaluation of antioxidant and antimicrobial activity of *Chaenomeles cathayensis* and *Ch. × californica* fruits / Y.V. Lykholat, N.O. Khromykh, O.O. Didur, T.V. Sklyar, T.A. Holubieva, T.Y. Lykholat, K.V. Lavrentieva, O.V. Liashenko. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2021. Vol. 12, Is. 4. P. 718–723. <https://doi.org/10.15421/022199>
10. Primary research on arbuscular mycorrhizal fungi in rhizosphere of *Chaenomeles speciosa* in Xuancheng / X. Zhu, A. Yang, Y. Zheng, X. Wei, J. Wang. *China Journal of Chinese Materia Medica (Zhongguo Zhong Yao Za Zhi)*. 2009. Vol. 34, Is. 7. P. 820–824.
11. Determination and production of antimicrobial compounds by *Aspergillus clavatonanicus* strain MJ31, an endophytic fungus from *Mirabilis jalapa* L. using UPLC-ESI-MS/MS and TD-GC-MS analysis / V.K. Mishra, A.K. Passari, P. Chandra, V.V. Leo, B. Kumar, S. Uthandi, S. Thankappan, V.K. Gupta, B.P. Singh. *PLoS One*. 2017. Vol. 12, Is. 10. e0186234. doi: 10.1371/journal.pone.0186234
12. Frisvad J.C., Samson R.A. Polyphasic taxonomy of *Penicillium* subgenus *Penicillium*. A guide to identification of food and air-borne terverticillate *Penicillia* and their mycotoxins. *Studies in mycology*. 2004. Vol. 49. P. 1–174.
13. Коваль Э.З., Руденко А.В., Волощук Н.М. Пеницилли. Руководство по идентификации 132 видов (редуцентов, деструкторов, патогенов, продуцентов). Киев, 2016. 412 с.

14. Diversity and antimicrobial activity of endophytic fungi isolated from *Securinega suffruticosa* in the Yellow River Delta / W. Du, Z. Yao, J. Li, C. Sun, J. Xia, B. Wang, D. Shi, L. Ren. *PloS one*. 2020. Vol. 15, Is. 3. e0229589. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229589>
15. Diversity and antimicrobial activity of endophytic fungi Isolated from *Chloranthus japonicus* Sieb in Qinling Mountains, China / C. An, S. Ma, X. Shi, W. Xue, C. Liu, H. Ding. *International journal of molecular sciences*. 2020. Vol. 21, Is. 17. P. 5958. <https://doi.org/10.3390/ijms21175958>

УДК 574:630*4(477.42)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.5-44.34>

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ СОСНОВИХ НАСАДЖЕНЬ ЗОНИ БЕЗУМОВНОГО ВІДСЕЛЕННЯ У ВОЛОГИХ СУБОРАХ ЛІСІВ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ

Мельник-Шамрай В.В., Шамрай В.І.

Державний університет «Житомирська політехніка»

вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир

org_vvm@ztu.edu.ua, kgt_shvi@ztu.edu.ua

Проаналізовано розподіл дерев за основними екологічними показниками, що характеризують життєздатність штучних соснових деревостанів, у яких була припинена лісгосподарська діяльність внаслідок значного радіоактивного забруднення, через 30 років з часу аварії на ЧАЕС. На інтенсивно забруднених територіях та контрольних пробних площах у вологих суборах відмічено наступний розподіл дерев за категоріями санітарного стану: здорові дерева сосни (І категорія стану) становлять до 25 % та 58–67 % від загальної кількості дерев відповідно, ослаблені (ІІ категорія) – від 30–36 % та 19–23 %, дуже ослаблені (ІІІ категорія) – 15–19 % та 7–9 %, частка відмираючих і сухостійних дерев (ІV–VІ категорії стану) складає 26–29 % та 7–10 %. Аналізуючи показники загального індексу санітарного стану соснових насаджень у зоні безумовного відселення, можна зазначити, що всі деревостани належать до дуже послаблених (у вологих суборах показник індексу знаходиться в межах від 2,65 до 2,81). На контрольних пробних площах, де своєчасно проводилися лісгосподарські заходи з догляду за деревостанами, даний показник був нижчим на 36–39 %. Необхідно підкреслити, що на радіоактивно забруднених територіях зменшилася частка дерев І–ІІІ категорій, а частка дерев ІV–VІ категорій, навпаки, зросла. При аналізі розподілу пристигаючих та стиглих соснових деревостанів, що зростають в умовах радіоактивного забруднення, за ступенем товщини та зіставленням з рядами розподілу всихаючих дерев і сухою, відмічено нетотожний розподіл дерев порівняно з контролем. Крім того, частка дерев ІV–VІ категорій санітарного стану в 3 рази вища в зоні безумовного відселення у порівнянні з контролем, основна частка яких припадає на дерева середніх ступенів товщини. Дослідивши розподіл дерев за категоріями технічної придатності деревини, можна стверджувати, що на радіоактивно забруднених територіях у досліджуваному типі лісорослинних умов від 67 до 79 % складають дерева, що належать до ІІ та ІІІ категорій придатності, а на контрольних площах частка дерев І категорії коливається від 56 до 64 %. Відзначено, що соснові насадження, де своєчасно та належно проводили лісгосподарські заходи, виявилися більш екологічно стійкими. *Ключові слова:* зона безумовного відселення, сосна звичайна, санітарний стан, тип лісорослинних умов.

Assessment of the environmental state of pine plantations of the zone of unconditional settlement in wet subors of Ukrainian Polissia. Melnyk-Shamrai V., Shamrai V.

The distribution of trees according to the main ecological indicators characterizing the artificial pine tree stands viability in which forestry activity was terminated due to significant radioactive contamination 30 years after the Chernobyl disaster, was analyzed. In intensively contaminated territories and control test areas, the following distribution of trees by category of sanitary state was observed in wet subors: healthy pine trees (category I state) – up to 25 % and 58–67 % of the total number of trees, respectively, weakened (category II) – 36 % and 19–23 %, very weak (III category) – 15–19 % and 7–9 %, the share of dying and dead trees (IV–VI categories state) is 26–29 % and 7–10 %. Analyzing the indexes of the pine plantations general sanitary state in the unconditional resettlement zone, it can be pointed that all tree stands belong to the very weak (in wet subors the index ranges from 2.65 to 2.81). In the control test areas, where timely measures for the forestry activities were conducted, this indicator was lower – 36–39 %. However, it should be specified that the proportion of categories I–III trees decreased in radioactively contaminated territories, and the proportion of categories IV–VI trees, on the contrary, increased. According to the degree of thickness and comparison with the rows of the distribution of drying trees and dryness, a non-identical distribution of trees compared to the control was noted, which is observed when analyzing the distribution of mature and mature pine stands growing under conditions of radioactive contamination. In addition, the share of trees of categories IV–VI of sanitary condition is 3 times higher in the zone of unconditional resettlement compared to the control, the main share of which falls on trees of medium degrees of thickness. Examining the distribution of trees by categories of wood technical suitability, it can be argued that the radioactively contaminated territories in the studied types of forest growth condition are made up of trees belonging to the suitability categories II and III, from 67 % to 79 %, and in control test areas the proportion of the category I trees ranges from 56 % up to 64 %. It was noted that pine plantations, where forestry measures were carried out in a timely and proper manner, turned out to be more environmentally sustainable. *Key words:* unconditional settlement zone *Pine Sylvestris* L., sanitary state, type of forest vegetation.

Постановка проблеми. Внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС інтенсивного радіоактивного забруднення зазнали лісові масиви Українського Полісся. Ліси на цих територіях здебільшого представлені лісовими культурами сосни звичайної. Ріст та продуктивність таких насаджень залежить

від їхнього розвитку та стійкості, що, зі свого боку, пов'язано з проведенням своєчасних та кваліфікованих лісгосподарських заходів. До аварії на ЧАЕС на всій території лісових масивів України проводилися належні лісгосподарські заходи для підтримання оптимального стану лісів та формування

якісних деревостанів. В результаті аварії значна частина лісових земель, яка зазнала радіоактивного забруднення, була виключена зі сфери активної лісогосподарської діяльності. Штучні чисті та змішані сосняки різних вікових груп на тривалий час залишилися без догляду. У зв'язку з цим у них почали простежуватися негативні зміни: створилися сприятливі умови для розвитку шкідників та хвороб, підвищилася пожежна небезпека, знизилася якість деревини, прискорилися процеси самозрідження деревостанів, збільшилося накопичення сухоостою та утворення валижу. У цілому, розпочалися процеси деградації штучних соснових насаджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Після аварії на ЧАЕС, значна увага, українських дослідників, була приділена вивченню особливостей радіоактивного забруднення лісів. Завдяки тогочасним науковим дослідженням було встановлено закономірності перерозподілу радіонуклідів у лісових ґрунтах різних типів лісорослинних умов, встановлено закономірності розподілу радіонуклідів між різними компонентами екосистем, вивчено радіоактивне забруднення дикорослих ягідних видів та лікарської сировини, досліджено радіоактивне забруднення різних деревних порід, виявлено, деякою мірою, радіоактивне забруднення мохового та лишайникового покриву та проведено оцінку санітарного стану насаджень на територіях інтенсивно забруднених радіонуклідами.

Заборона та обмеження лісогосподарської діяльності на радіоактивно забруднених лісових територіях призвели до поступових негативних змін. Дослідження минулих років свідчать, що у зоні радіоактивного забруднення, спостерігається збільшення частки деревостанів із порушеною стійкістю, що проявляється шляхом накопичення в деревостанах всихаючих, сухостійних і валижних дерев [14, 17, 18]. Крім того, дослідники [13] вказують, що погіршення стану насаджень залежить від лісорослинних умов зростання. Так, у свіжих суборах тенденції до погіршення стану насаджень проявлялися більш виразно, ніж в умовах вологого субору, свіжого та вологого сугруду.

В роботі [2] дослідники відмічають, що темпи накопичення відпаду вищі у високоповнотних молодняках і середньовікових культурах. В лісах зони безумовного відселення відмічено зростання густоти соснових насаджень у 1,5 – 2 рази, що спричинене накопиченням сухоостою та збільшенням захищеності насаджень, доріг і просік [17, 21]. Внаслідок накопичення під наметом лісу запасів лісової підстилки, відмерлої хвої, листя, дрібних гілок, кори підвищується пожежна небезпека [7–9]. Значно погіршилася фітосанітарна ситуація, створилися сприятливі умови для розповсюдження шкідників та хвороб [4, 5]. Встановлено, що внаслідок обмеження господарської діяльності в радіоактивно забруднених соснових насадженнях відбулося зни-

ження продуктивності, погіршився санітарний стан, збільшилося число дерев IV – VI категорій стану, зменшилося число дерев I–III категорій [3, 10, 22].

Дослідники [11–12] зробили висновок, що для підвищення продуктивності та покращення санітарного стану забруднених радіонуклідами лісонасаджень необхідна розробка і впровадження наукової системи безпечних лісогосподарських заходів, спрямованих на відновлення, охорону і збереження лісів. Тому вченими були переглянуті діючі на той час «Рекомендації з ведення лісового господарства в умовах радіоактивного забруднення» [15]. У нових рекомендаційних матеріалах було запропоновано новий принцип – підтримки задовільного санітарного стану лісів [12]. Проте, ця система була відображена лише наближено й не мала чіткого плану впровадження.

У роботах [26–27] порівнюються масштаби та наслідки радіоактивного забруднення лісових екосистем після аварій на Чорнобильській АЕС та Фукусімі. В даних роботах зазначається, що після аварії на ЧАЕС відмічено загибель лісів сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.), тоді як на Фукусімі про смертельні пошкодження лісових видів не повідомлялося. У публікаціях різними вченими досліджується зміна стану насаджень внаслідок впливу полігонів твердих побутових відходів [23], описується санітарний стан насаджень, що зростають на заліснених сільськогосподарських землях [25], вивчається санітарний стан, його поліпшення і підвищення біологічної стійкості соснових насаджень на межах річчів Дніпра і Десни [30]. Проте, огляд літератури останніх років свідчить, що відсутня інформація про сучасний санітарний стан соснових насаджень на радіоактивно забруднених територіях. Зустрічаються лише поодинокі публікації щодо оцінки санітарного стану в окремих типах лісорослинних умов [19] та досліджено стан пожежної безпеки на радіоактивно забруднених територіях [24]. Не зважаючи на вагомі наукові результати щодо вивчення продуктивності, стійкості та санітарного стану соснових насаджень на радіоактивно забруднених територіях питання сучасної екологічної оцінки санітарного стану лісів на даних територіях зумовлюють значну актуальність.

Мета дослідження полягає у вивченні сучасного екологічного стану штучних екосистем сосни звичайної в зоні безумовного відселення. Об'єктом досліджень є штучні екосистеми сосни звичайної в зоні безумовного відселення після припинення в них господарської діяльності. Предмет досліджень – радіоекологічні та лісівничі показники стану штучних екосистем сосни звичайної, шляхи оптимізації лісокористування.

Новизна отриманих матеріалів полягає в тому, що оцінено екологічний стан штучних екосистем сосни звичайної та їх продуктивність в зоні безумовного відселення через 30 років після припинення

лісогосподарських заходів. Результати дослідження можуть бути використані державними лісогосподарськими підприємствами Житомирського обласного управління лісового і мисливського господарства для прогнозування зміни стану штучних соснових деревостанів у лісових масивах та плануванню заходів щодо оптимізації лісокористування на радіоактивно забруднених територіях.

Методика досліджень. Дослідження проводилися у соснових насадженнях на постійних пробних площах у 2015–2018 рр., закладених у Народицькому лісництві ДП «Народицьке спеціалізоване лісове господарство», де була повністю припинена лісогосподарська діяльність внаслідок високих рівнів радіоактивного забруднення ґрунту (щільність радіоактивного забруднення ґрунту понад 555 кБк/м²), та в максимально тотожних за характеристиками пробних площах у Малинському лісництві ДП «Малинське лісове господарство», де своєчасно проводилися лісогосподарські заходи з догляду за лісом (контроль). Вивчення екологічного та оцінка санітарного стану соснових насаджень проводилося в найбільш поширених типах лісорослинних умов Українського Полісся в різних вікових групах насаджень: в умовах вологих суборів – пристигаючі (ППП № 1 та ППП № 1 К), стиглі (ППП № 2 та ППП № 2 К). Характеристика постійних пробних площ представлена в табл. 1.

Для оцінки санітарного стану соснових деревостанів на радіоактивно забруднених та контрольних

пробних площах досліджуваних типів лісорослинних умов було визначено фактичні таксаційні показники насаджень за стандартними методиками [1, 16]. Додатково проводили опис насаджень за розподілом дерев однієї популяції за ступенем панування й життєвості та здійснювалася оцінка за класом технічної придатності деревини.

Санітарний стан насаджень оцінювали за індексом стану (I) першого ярусу деревостанів, який обчислювали за методикою Українського науково-дослідного інституту лісового господарства й агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького по 6-бальній шкалі [6]:

$$I = \frac{(i_1 \cdot n_1) + (i_2 \cdot n_2) + (i_3 \cdot n_3) + (i_4 \cdot n_4) + (i_5 \cdot n_5) + (i_6 \cdot n_6)}{N}$$

де: I – індекс стану деревостану,

$i_1 - i_6$ – категорії стану дерев (від I до VI),

n_1 – число дерев однієї категорії стану, особин,

N – загальна кількість оцінених дерев на пробній площі, особин.

Здоровими вважаються деревостани з індексом 1,00–1,50 (пошкодження відсутні); ослабленими – 1,51–2,50 (пошкодження слабе); сильно ослабленими – 2,51–3,50 (пошкодження середнє); такими, що всихають – 3,51–4,50 (пошкодження сильне); мертвими – 4,51–6,00 (пошкодження дуже сильне).

Виклад основного матеріалу. Було проаналізовано розподіл дерев за основними таксаційними показниками, що характеризують життєздатність

Таблиця 1

Характеристика постійних пробних площ

Показники	Таксаційні показники лісових насаджень на ППП			
	№ 1	№ 1К	№ 2	№ 2К
Квартал/виділ	10/7	44/11	10/6	44/13
Щільність радіоактивного забруднення ґрунту, кБк/м ²	339 ^{±12}	4,1 ^{±0,3}	620 ^{±32}	4,4 ^{±0,6}
ТУМ	Вологий субір			
Вік, років	70	75	90	90
Склад насадження	10Сз	10Сз	10Сз	10Сз
Середня висота, м	24	26	27	26
Середній діаметр, см	28	30	36	34
Клас бонітету	1	1	1	1
Підріст	Підріст представлений поодинокими екземплярами сосни звичайної (<i>Pinus sylvestris</i> L.), дуба звичайного (<i>Quercus robur</i> L.) та берези повислої (<i>Betula pendula</i> Roth.)			
Підлісок	Підлісок – чітко виражений ярус, понад 1,5 м заввишки, представлений горобиною звичайною (<i>Sorbus aucuparia</i> L.) та крушиною ламкою (<i>Frangula alnus</i> Mill.).			
Проективне покриття трав'яно-чагарникового ярусу, %	80–85	80–85	85–90	85–90
Проективне покриття мохового ярусу, %	85–90	85–90	80–85	85–90
Ґрунт	дерново-середньопідзолистий піщаний			
Асоціація	сосновий ліс крушиново-чорнично-зеленомоховий.			

соснових деревостанів, так в умовах вологого субору діапазон варіювання питомої ваги окремих категорій дерев був досить широкий. На радіоактивно забруднених територіях, де не проводилися лісогосподарські заходи, здорові дерева (I категорія стану) становили до 25 % від загальної кількості, ослаблені (II категорія) – від 30 до 36 %, дуже ослаблені (III категорія) – 15–19 %, відмираючі (IV категорія) від 9 до 12 %, свіжий сухостій (V категорія) – 7–9 % та старий сухостій (VI категорія стану) від 7 до 11 %. У тих же самих лісорослинних умовах, де рівні радіоактивного забруднення давали змогу проводити лісогосподарські заходи, відмічено значно кращий розподіл соснових дерев за категоріями санітарного стану. Так, частка дерев без ознак ослаблення коливалася від 58 до 67 % від загальної кількості дерев, частка ослаблених дерев варіювала від 19 до 23 %, дуже ослаблених – 7–9 %, відмираючі дерева – 2–4 %, свіжий та старий сухостій мали амплітуду коливання від 1 до 4 % та 4–5 % відповідно.

Розподіл дерев за категоріями санітарного стану в пристигаючих соснових деревостанах, що зростають у вологих суборах, показав, що на ППП № 1 К частка соснових дерев без ознак ослаблення у 2,9 разів більша порівняно з ППП № 1 (рис. 1). При подальшому аналізі розподілу дерев за категоріями, було виявлено, що частка ослаблених дерев та дуже ослаблених на ППП № 1 К у 1,9 та 2,1 рази менша, ніж на ППП № 1 відповідно.

Відмираючих сосен на ППП № 1 було в 6 разів більше, ніж на ППП № 1 К. Порівнюючи відсотковий розподіл дерев, можна зазначити, що свіжого сухостою на ППП № 1 у 3,5 разів більше, ніж на контролі (ППП № 1 К), а старого сухостою – у 2,3 рази. Отже, за отриманими результатами можна стверджувати, що в пристигаючих соснових деревостанах вологого субору Народицького лісництва

значно гірший розподіл дерев за категоріями стану, ніж у Малинському лісництві, де протягом усього періоду розвитку здійснювалися належні лісгосподарські заходи. Достовірність розподілу дерев за категоріями санітарного стану підтверджується однофакторним дисперсійним аналізом на 95 %-ти довірчому рівні – $F_{\text{факт.}} = 29,8 > F_{(1;199;0,95)} = 3,9$.

Подібний аналіз розподілу дерев за категоріями санітарного стану було проведено у стиглих соснових деревостанів вологого субору (рис. 2). Було встановлено, що на контрольній пробній площі (ППП № 2 К) частка соснових дерев без ознак ослаблення у 2,6 разів вища порівняно з насадженнями, що зростали на ППП № 2. Частка дерев II категорії на ППП № 2 у 1,3 рази більша, ніж на ППП № 2 К.

Кількість дуже ослаблених та відмираючих дерев у соснових деревостанах на ППП № 2 К у 2,1 та 2,3 рази менша порівняно з ППП № 2 відповідно. На ППП № 2 частка дерев V та VI категорії санітарного стану перевищує відповідні показники на ППП № 2 К у 4,5 та 2,8 разів відповідно. Достовірність різниці між розподілом дерев у стиглих соснових деревостанах за категоріями санітарного стану підтверджується критерієм Фішера – $F_{\text{факт.}} = 25,3 > F_{(1;199;0,95)} = 3,9$.

Розподіл дерев у соснових деревостанах усіх досліджуваних вікових груп, що зростають в умовах радіоактивного забруднення, свідчить, що питома вага здорових екземплярів нижча, а ослаблених і дуже ослаблених – набагато вища, ніж на контрольних пробних площах. Отже, після припинення лісгосподарської діяльності в зоні безумовного відселення індекс санітарного стану значно погіршився (рис. 3).

Так, у Народицькому лісництві, де після аварії на ЧАЕС лісгосподарська діяльність була заборонена, загальний індекс стану дерев у пристигаючих дере-

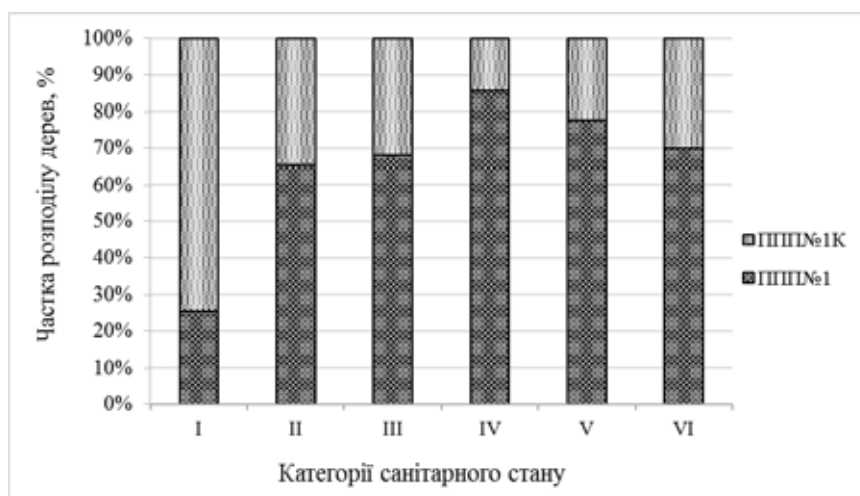


Рис. 1. Розподіл дерев у пристигаючих соснових деревостанах за категоріями санітарного стану в умовах вологого субору

Джерело: Власні дослідження

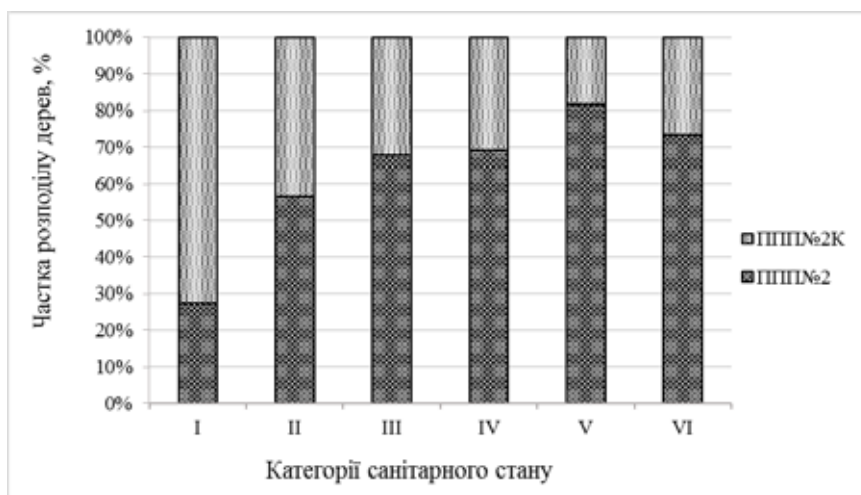


Рис. 2. Розподіл дерев у стиглих соснових деревостанах за категоріями санітарного стану в умовах вологого субору

Джерело: Власні дослідження

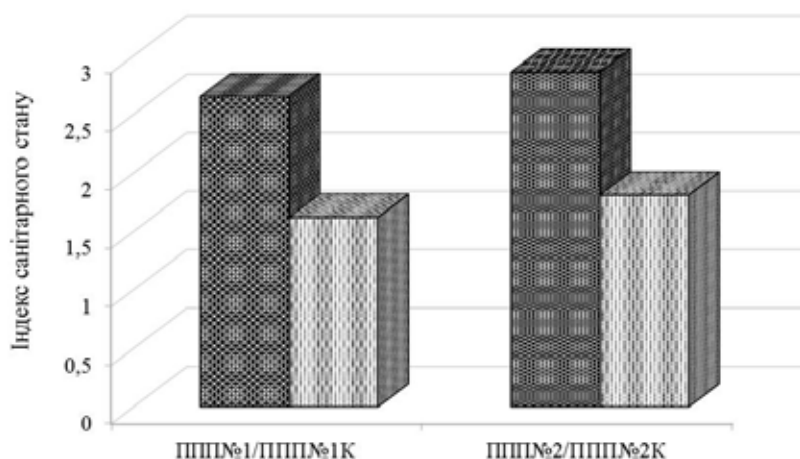


Рис. 3. Індекс санітарного стану соснових деревостанів на пробних площах вологого субору

Джерело: Власні дослідження

востанах становить 2,65, а в стиглих – 2,81, тоді як у Малинському лісництві, де своєчасно проводилася лісгосподарська діяльність, даний показник був на 36–39 % нижчий (ППП № 1 К – 1,62; ППП № 2 К – 1,81). Варто зазначити, що в стиглих соснових деревостанах індекс санітарного стану гірший (як на дослідній пробній площі, так і на контролі) порівняно з пристигаючими сосновими деревостанами. Отже, деревостани обох вікових груп контрольних пробних площ належать до ослаблених, незважаючи на проведення належних лісгосподарських заходів, а соснові деревостани зони безумовного відселення – до дуже послаблених.

Розробка адекватних програм лісгосподарських заходів з метою попередження подальшого погір-

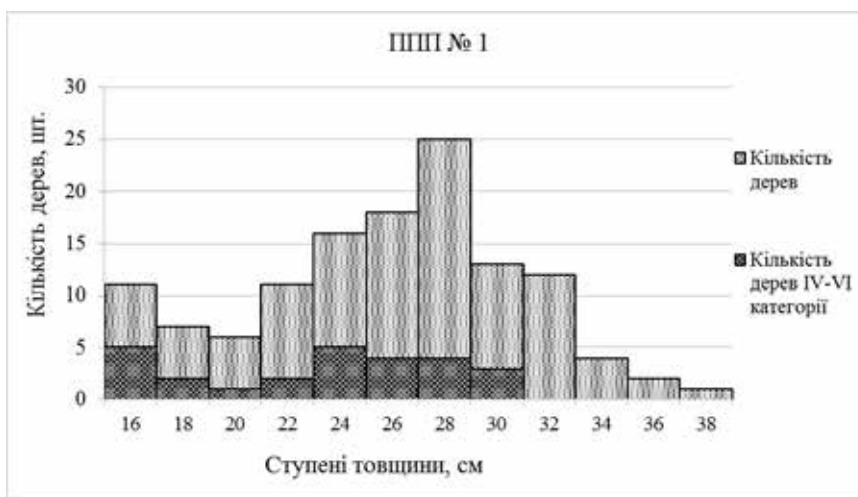
шення стану насаджень на перспективу потребує попереднього прогнозування динаміки й моделювання процесу відпаду. Для розрахунків втрат продуктивності соснових насаджень у зоні безумовного відселення внаслідок погіршення їх санітарного стану важливо вивчити, за рахунок якої частини деревостану формується відпад. Природний процес від початку всихання дерев до повного їх розкладення займає період у декілька десятиріч. Різні його стадії – всихання дерев, перехід їх у сухостій, випадіння сухостою у валіж, розкладення валіжу проходять із різною інтенсивністю залежно від природних і антропогенних чинників. Для цього розглянуті й узагальнені ряди загального розподілу дерев за діаметрами на пробних площах, а потім зіставлені

з рядами розподілу всихаючих дерев і сухостою. Результати досліджень ходу росту насаджень за ступенем товщини (по діаметру) служать основою для визначення продуктивності деревостанів. Оскільки після заборони господарської діяльності в зоні безумовного відселення пройшло 30 років, на даних пробних площах можна відмітити стадії процесу відмирання деревостанів. Нами проведено порівняльний аналіз розподілу дерев за ступенями товщини і стану в пристигаючих та стиглих деревостанах сосни в умовах вологого субору, які розташовані в лісових масивах зони безумовного відселення та поза нею.

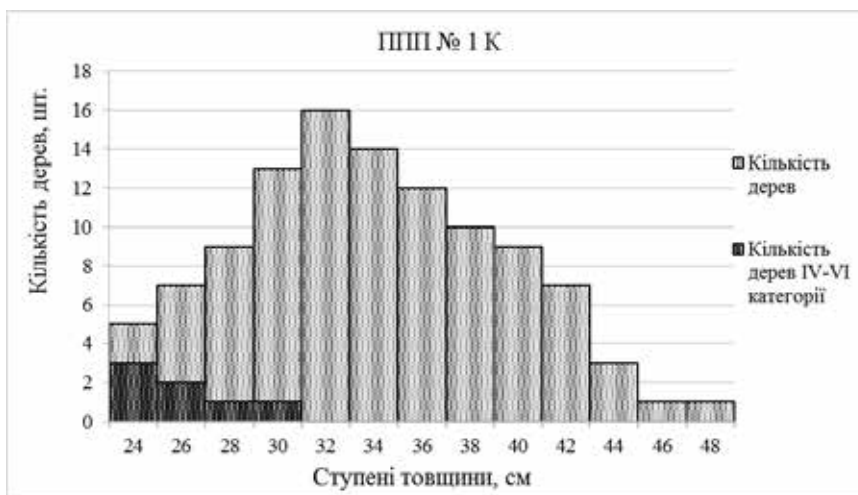
Аналізуючи розподіл дерев пристигаючих соснових деревостанів (рис. 4) за ступенем товщини у вологих суборах (ППП № 1 К), було встановлено,

що основна частка дерев припадає на 30–40 см ступені товщини і становить 73 %, на 24–28 см та 42–48 см припадає 15 % та 12 % відповідно [20]. Дерев на ППП № 1 характеризуються меншими ступенями товщини, так їх частка з товщиною від 16 до 24 см становить – 24 %, 26–36 см – 68 % та 33–44 см – 7 %. З даного розподілу можна зауважити, що на ППП № 1 середній діаметр сосни звичайної становить 26,5 см, тоді як на ППП № 1 К у 1,3 рази більше. Достовірність отриманих результатів підтверджуються однофакторним дисперсійним аналізом – $F_{\text{факт.}} = 120,2 > F_{(1;199;0,95)} = 3,9$.

Співставлення загального розподілу дерев показує, що в пристигаючих деревостанах зони безумовного відселення спостерігається інший розподіл порівняно з тими, де своєчасно проводилися



а



б

Рис. 4. Розподіл дерев за ступенями товщини й санітарним станом IV–VI категорій на пробних площах в умовах вологого субору в пристигаючих сосняках (а – дослідна ділянка; б – контроль)

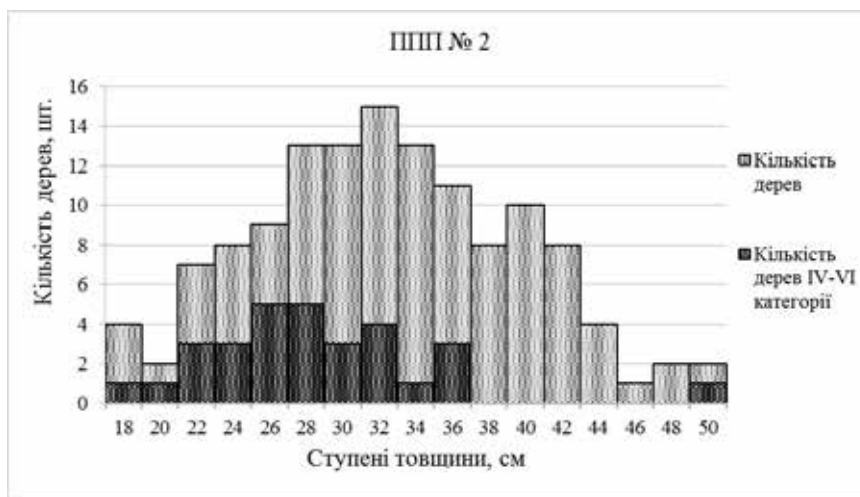
Джерело: Власні дослідження

лісогосподарські заходи з догляду за лісом. Так, на контрольних пробних площах відсутні дерева зі ступенем товщини від 16 % до 24 %, тоді як присутні максимальні ступені товщини (40–48 см). Варто зауважити, що частка дерев IV–VI категорій санітарного стану на контролі складає лише 7 % і це в основному менші ступені товщини, тоді як на ППП № 1 – це дерева майже середнього діаметру по пробній площі і становлять 26 %.

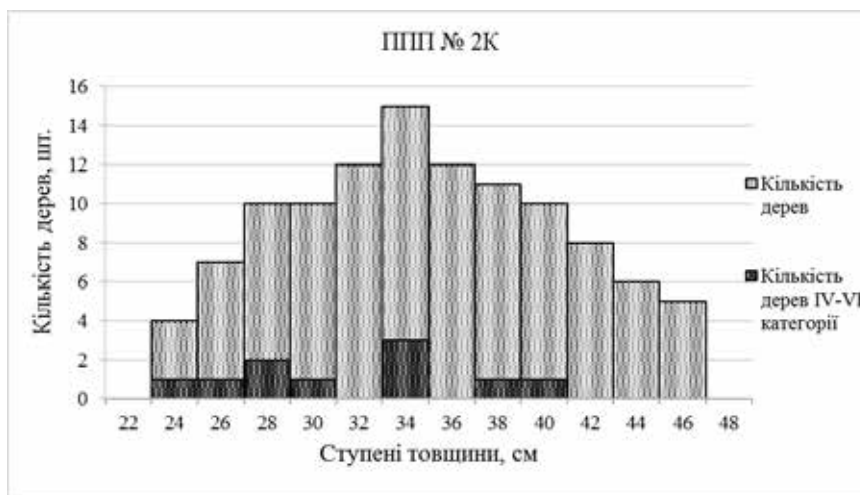
Під час аналізу стиглих соснових деревостанів (рис. 5) було відмічено, що на ППП № 2 за ступенем товщини дерева мають значну варіабельність, яка представлена в наступному вигляді: на 18–26 см припадає 17 % дерев, на 28–42 см – 75 % та на 42–50 см – 8 %.

Для контрольної пробної площі відмічено вищі ступені товщини дерев, які характеризуються

наступним розподілом: від 24 до 30 см становлять 26 %, від 32 до 40 см – 55 % та 42–46 см – 16 %. Середній розрахунковий діаметр дерев на радіоактивно забруднених територіях, де заборонені будь-які лісогосподарські роботи, становить 33,8 см, на контрольних площах він несуттєво більший (у 1,1 рази) – результати однофакторного дисперсійного аналізу свідчать, що між даними показниками відсутня достовірна різниця середніх значень – $F_{\text{факт}} = 3,1 < F_{(1;199;0,95)} = 3,9$. Можна зазначити, що у стиглих соснових деревостанах, що зростають в умовах радіоактивного забруднення, відмічено нетотожний розподіл дерев порівняно з контролем. Крім того, частка дерев IV–VI категорій санітарного стану в 3 рази вища в зоні безумовного відселення, а це в основному дерева середніх ступенів товщини.



а



б

Рис. 5. Розподіл дерев за ступенем товщини й санітарним станом IV–VI категорій на пробних площах в умовах вологого субору в стиглих сосняках (а – дослідна ділянка; б – контроль)

Джерело: Власні дослідження

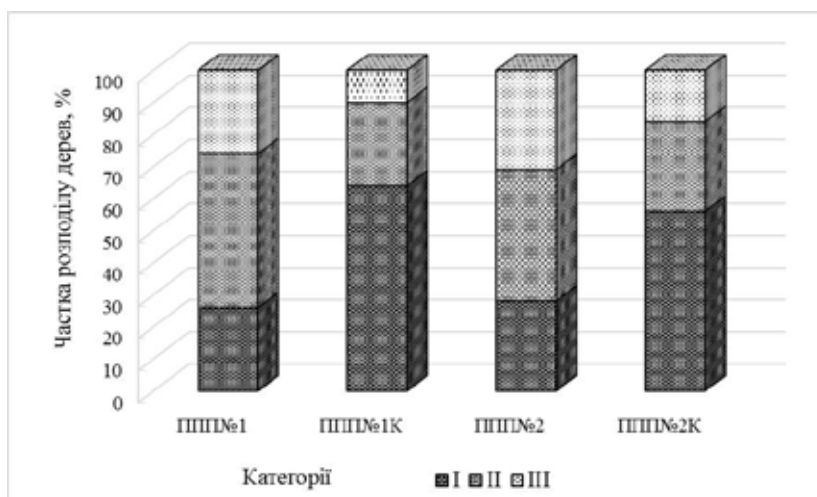


Рис. 6. Розподіл соснових дерев за категоріями технічної придатності деревини у вологих суборах (I – ділова деревина, II – напівділова, III – дров'яна)

Джерело: Власні дослідження

Під час проведення суцільного переліку дерев за ступенями товщини та оцінкою санітарного стану здійснювали аналіз розподілу дерев за категоріями технічної придатності (I категорія – ділова деревина, II – напівділова, III – дров'яна). Даний показник характеризує товарну цінність деревного запасу. При порівнянні матеріалів поділу соснових дерев у вологих суборах за категоріями технічної придатності на радіоактивно забруднених територіях та контролі було відмічено певні особливості розподілу за віковими групами (рис. 6). Так, у пристигаючих деревостанах на ППП № 1 частка дерев I категорії у 2,5 разів менша порівняно з ППП № 1 К. Розподіл дерев за іншими категоріями придатності деревини свідчить, що частка дерев II та III категорій на ППП № 1 у 1,8 та 2,6 разів більша, ніж на ППП № 1 К відповідно. Достовірність різниці отриманих результатів підтверджується однофакторним дисперсійним аналізом на 95-ти % довірчому рівні – $F_{\text{факт.}} = 29,8 > F_{(1;199;0,95)} = 3,9$.

Під час порівняння розподілу деревостанів за категоріями придатності було відмічено, що на ППП № 2К частка дерев I категорії у 2 рази більше порівняно з ППП № 2, а дерев II та III категорій – в 1,5 та 1,9 разів менше відповідно. Отримані результати підтверджуються критерієм Фішера – $F_{\text{факт.}} = 15,9 > F_{(1;199;0,95)} = 3,9$.

Отже, на радіоактивно забруднених територіях, що зростають у вологих суборах, частка соснових дерев II та III категорій становить понад 70 %, тоді як на контрольних пробних площах таке коливання від 36 % до 44 %. Розподіл дерев за категоріями технічної придатності деревини залежить від якості та своєчасності проведення в них лісгосподарських заходів.

Головні висновки. В результаті проведених досліджень було отримано наступні результати:

1. У вологих суборах зони безумовного відселення, де лісгосподарські заходи не проводилися

впродовж 30 років, відмічено такий розподіл дерев за категоріями санітарного стану: здорові дерева становили 25 %, ослаблені – 30–36 %, дуже ослаблені – 15–19 %, відмираючі – 9–12 %, свіжий сухостій – 7–9 % та старий сухостій 7–11 % від загальної кількості дерев. На контрольних площах відмічено достовірно кращий розподіл соснових дерев за категоріями санітарного стану відповідно у вологих суборах: I категорія стану – 58–67 %, II категорія – 19–23 %, III категорія – 7–9 %, IV категорія – 2–4 %, V категорія – 2 %, VI категорія стану – 3–4 % від загальної кількості дерев.

2. Індекс санітарного стану штучних соснових деревостанів на радіоактивно забруднених територіях у вологих суборах знаходився в межах від 2,65 до 2,86, що свідчить про дуже послаблений стан. На контролі коливання даного показника у вологих суборах – від 1,62 до 1,81, що характеризує стан деревостанів, як послаблені.

3. При аналізі пристигаючих та стиглих соснових деревостанів, що зростають в умовах радіоактивного забруднення, відмічено нетотожний розподіл дерев порівняно з контролем. Крім того, частка дерев IV–VI категорій санітарного стану в 3 рази вища в зоні безумовного відселення, основна частка яких припадає на дерева середніх ступенів товщини.

4. Результати досліджень розподілу дерев за категоріями технічної придатності деревини, на радіоактивно забруднених територіях в умовах вологих суборів свідчать, що ділова деревина становила 26–28 %, напівділова деревина – 41–48 %, а дров'яна деревина – 26–31 % від загальної кількості дерев. На контрольних площах відмічено достовірно кращий розподіл соснових деревостанів за даним показником: I категорія 56–64 %, II категорія – 26–28 %, III категорія – 10–16 % від загальної кількості дерев.

Література

1. Ануцин Н. П. Лесная таксация. М. : Лесная промышленность, 1982. 552 с.
2. Бузун В. О., Ірклієнко С. П., Турчак Ф. М. Відпад в соснових культурах зони безумовного відселення. *Проблеми екології лісу і лісокористування на Поліссі України*. 2000. Вип. 1 (7). С. 88–95.
3. Бузун В. О., Приступа Г. К. Деякі особливості самозрідження і стан соснових насаджень в зоні безумовного відселення. *Проблеми екології лісів і лісокористування на Поліссі України. Наукові праці Поліської ЛНДС*. Житомир : Волинь, 1999. Вип. 6. С. 108–113.
4. Бунтова О. Г., Бідна С. М., Зленко М. Г. та ін. Чорнобильські ліси: минуле, сучасне, майбутнє. *Проблеми Чорнобиля*. 1999. Вип. 5. С. 349–355.
5. Бунтова О. Г., Кучма М. Д. Фітопатологічні обстеження та екологічний стан лісів зони відчуження через 25 років після аварії на ЧАЕС. *Бюлетень екологічного стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення*. 2011. № 1 (37). С. 73–78.
6. Ворон В. П., Лавров В. В., Бондарук М. А. та ін. Моніторинг та підвищення стійкості антропогенно порушених лісів: Збірник рекомендацій УкрНДЛГА. Харків: Нове слово, 2011. 304 с.
7. Зібцев С. В. Аналіз особливостей лісопожежної обстановки та стану протипожежної охорони лісу в зонах радіаційного забруднення. *Наукові доповіді НАУ*. 2006. № 4 (5) URL: <http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/nd/2006-4/06zsvcbr.pdf>.
8. Зібцев С. В. Лісотипологічні аспекти радіоекологічного моніторингу лісів. *Науковий вісник Національного аграрного університету*. К. : НАК, 2008. С. 93–101.
9. Зібцев С. В. Оцінка ризику катастрофічних радіаційних лісових пожеж у зоні відчуження та зоні безумовного відселення. *Наук. вісн. НАУ*. 2007. Вип. 113. С. 140–150.
10. Ірклієнко С. П., Бузун В. О., Дмитренко О. Г. Лісівничо-екологічне вивчення стійкості і продуктивності радіоактивно забруднених насаджень залежно від лісорослинних умов. Концепція розвитку лісової типології в Україні і контексті освіти і підвищення продуктивності лісових насаджень : тези доп. Міжнародної конференції 15–19.05.2000. Харків : ХДАУ. 231 с.
11. Ірклієнко С. П., Бузун В. О., Дмитренко О. Г., Турчак Ф. М. Функціонування лісових екосистем та ведення лісового господарства в зонах безумовного відселення. *Ядерна фізика та енергетика*. 2001. Вип. 2 (4). С. 127–132.
12. Калетник М. М., Краснов В. П., Савущик М. П. Рекомендації з ведення лісового господарства в умовах радіоактивного забруднення. К. : Держкомлісгосп, 1998. 80 с.
13. Краснов В. П., Бузун В. О., Приступа Г. К. Стан і продуктивність соснових насаджень свіжого субору на території зони безумовного відселення. *Проблеми екології лісів і лісокористування на Поліссі України*. Житомир : Волинь, 1998. Вип. 5. С. 5–13.
14. Краснов В. П., Ірклієнко С. П., Бузун В. О., Дмитренко О. Г. Процеси деградації сосняків у зоні безумовного відселення. *Лісівництво і агролісоомеліорація*. Харків, 2000. Вип. 98. С. 26–35.
15. Краснов В. П., Орлов А. А., Ірклієнко С. П. і др. Рекомендації по веденню лісного господарства в умовах радіоактивного забруднення. Київ : Аграрна наука, 1995. 64 с.
16. Краснов В. П. Ткачук В. І., Орлов О. О. Довідник спеціаліста лісового господарства : довідкове видання. Житомир, Новоград-Волинський : НОВОград, 2013. 436 с.
17. Кучма М. Д., Зібцев С. В., Митроченко В. В. та ін. Лісові екосистеми. *Бюлетень екологічного стану зони відчуження*. 1996. № 2. С. 36–53.
18. Кучма М. Д., Федотов І. С., Архіпов М. П., Пастернак П. С. Еколого-лісівничі наслідки радіоактивного забруднення лісових масивів зони відчуження ЧАЕС. *Лісові екосистеми. Бюлетень екологічного стану зони відчуження*. 1996. № 2. С. 12–18.
19. Мельник В.В. Оцінювання санітарного стану соснових насаджень зони безумовного відселення у свіжих борах лісів Українського Полісся. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. Т. 29, № 3. С. 39–43.
20. Мельник В.В., Курбет Т.В. Порівняння показників стану соснових насаджень на «чистих» у радіаційному відношенні та інтенсивно забруднених радіонуклідами територіях. Тези Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції», 7 листопада 2019 року. Житомир: «Житомирська політехніка», 2019. С. 106–108.
21. Савицкий Э. А. Состояние культур сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) в условиях радиоактивного загрязнения Киевского Полесья : автореф. диссертации на соискание ученой степени канд. с.-х. наук: 06.03.01. Киев : УСХА, 1992. 26 с.
22. Степанчик В. В., Усанова Е. Н., Савлук С. В. Индекс санитарного состояния насаждений, как показатель их устойчивости к воздействию аэротехногенного загрязнения. *Лесная наука на рубеже XXI века. Науч. труды Ин-та леса НАН Беларуси*. Гомель : ИЛ НАН Беларуси, 1997. Вип. 40. С. 390–394.
23. Korbut M., Malovanyu M., Davydova I., Grechanik R., Tymchuk I., Popovych O. Assessment of the Condition of Pine Plantations in the Area of Influence of Municipal Waste Landfills on the Example of the Zhytomyr Landfill, Ukraine. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2021. Vol. 22, iss. 5. P. 40–46.
24. Martynenko V. Ecological and fire characteristics of forest ecosystems of the “Drevlyansky” nature reserve. *Scientific horizons*. 2021. 24(1). P. 85–92. DOI: 10.48077/scihor.24(1).2021.85-92.
25. Miežite O., Dubrovskis E., Ruba J. Tree stem quality and sanitary condition of *Pinus Sylvestris* L., *Picea Abies* (L.) H. Karst. and *Betula Pendula* Roth on afforested agricultural areas. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference*. (2017). Том 17. DOI:10.5593/sgem2017/32
26. Yoschenko V., Kashparov V., Ohkubo T. Radioactive Contamination in Forest by the Accident of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant: Comparison with Chernobyl. *Radiocesium Dynamics in a Japanese Forest Ecosystem*. 2019. PP. 3–22.
27. Yoschenko V., Ohkubo T., Kashparov V. Radioactive contaminated forests in Fukushima and Chernobyl. *Journal of Forest Research*. 2018. Vol. 23, Is. 1. P. 3–14.
28. Yukhnovskiy V., Urliuk Yu., Khryk V., Levandovska S. Sanitary state of water-protection pine plantations in the interfluvium of Dnieper and Desna. *Агробіологія*. 2019. Вип. 2. С. 88–95. DOI: 10.33245/2310-9270-2019-153-2-88-95

НЕОРГАНІЗОВАНИЙ ЕКОТУРИЗМ КАРПАТ: ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ

Роман Л.Ю.

Державний вищий навчальний заклад «Ужгородський національний університет»
вул. Підгірна, 46, 88000, м. Ужгород
liudmyla.roman@uzhnu.edu.ua

Проаналізовано основні чинники погіршення екологічного стану природного середовища Українських Карпат під час неорганізованого екотуризму. Екологічний туризм найбільше із всіх видів туристичної діяльності безпосередньо спрямований на використання природних ресурсів та має пряму кореляційну залежність від якості об'єктів довкілля. Відмічено, що в умовах глибокої екологічної кризи сьогодення, зростання масштабів засмічення, забруднення і вичерпання природних ресурсів, очевидними є її наслідки, зокрема інтенсифікація деструктивних процесів у навколишньому середовищі. Остання, у свою чергу, призводить до погіршення екологічного стану об'єктів довкілля чи їх руйнування, зменшення видової різноманітності флори та фауни.

Відмічено зростання популярності екотуризму в умовах економічної кризи в країні. За рахунок зменшення фінансових доходів для деяких українців неорганізований екологічний туризм став чи не єдиним видом відпочинку. Гірські масиви Карпат поточного року стали і притулком для багатьох переселенців з, окупованих російськими солдатами, територій України. Перенаселеність та перевантаженість рекреаційних зон Українських Карпат може призвести до забруднення природних об'єктів даного регіону, який у свою чергу є осередком збереження та відтворення біорізноманіття країни (показник заповідності регіону в Закарпатській області становить 15,5%).

Відмічено, що саме неорганізований туризм не дозволяє контролювати потік рекреантів та провести належну оцінку шкоди, нанесеної довкіллю. Виявлено, що екологічні проблеми під час неорганізованого екотуризму часто є наслідками самовільного розміщення баз відпочинку, самовільне розпалювання багаття, пошкодження або знищення деревостанів, незаконне збирання дикорослих трав, ягід чи рослин, занесених до Червоної книги України, лікарських рослин, грибів, колекціонування різних ботанічних чи зоологічних видів, забруднення повітря викидами автомобільних транспортів. Встановлено, що найкращим шляхом запобігання деструктивних змін екологічних систем Карпатського регіону, спричиненого неорганізованим екотуризмом, є еколого-просвітницька робота з усіма верствами населення, адмінвідповідальність за екологічні правопорушення та раціональне природокористування. *Ключові слова:* неорганізований туризм, екологічний туризм, Українські Карпати, екологічні загрози, екологічні проблеми.

Unorganized ecotourism of the Carpathians: environmental problems. Roman L.

The main factors of the ecological state's deterioration of the natural environment in Ukrainian Carpathians during unorg the most of all types of tourist activity anized ecotourism were analyzed. Ecological tourism, is directly aimed at the use of natural resources and has a direct correlative dependence on the quality of environmental objects the most of all types of tourist activity. It is noted that in the conditions of today's deep ecological crisis, the growing scale of clogging, pollution and depletion of natural resources, its consequences are obvious, in particular, the intensification of destructive processes in the environment. The latter, in turn, leads to the deterioration of the ecological condition of environmental objects or their destruction, a decrease in the species diversity of flora and fauna.

The growing popularity of ecotourism in the conditions of the economic crisis in the country was noted. Due to the decrease in financial income for some Ukrainians, unorganized ecological tourism has become almost the only type of recreation. This year, the Carpathian massifs became a refuge for many immigrants from the Ukrainian tteritorie that are occupied by russian soldiers. Overpopulation and overloading of recreational areas of the Ukrainian Carpathians can lead to pollution of natural objects of this region, which, in turn, is a center of preservation and reproduction of the country's biodiversity (the indicator of the region's protection in the Transcarpathia is 15.5%).

It was noted that it is unorganized tourism that does not allow controlling the flow of vacationers and conducting a proper assessment of the damage caused to the environment. It was found that environmental problems during unorganized ecotourism are often the consequences of arbitrary placement of recreation bases, arbitrary lighting of bonfires, damage or destruction of tree stands, illegal collection of wild herbs, berries or plants listed in the Red Book of Ukraine, medicinal plants, mushrooms, collection of various botanical or zoological species, air pollution by vehicle emissions. It has been established that the best way to prevent destructive changes in the ecological systems of the Carpathian region caused by unorganized ecotourism is ecological and educational work with all layers of the population and administrative responsibility for environmental offenses and rational nature use. *Key words:* unorganized tourism, ecological tourism, Ukrainian Carpathians, ecological threats, ecological problems.

Постановка проблеми. Новим напрямком відпочинку, популярність якого за останні десятиліття значно зросла є екотуризм. Цей вид так званого «зеленого» туризму наразі є світовим трендом та дуже поширений в Україні.

Загальновідомо, що погане екологічне середовище, яке має місце у великих містах та необхідність розв'язання повсякденних проблем у роботі і побуті призводить до стресів чи нервового напруження. Саме з цих міркувань все більша кількість людей

відмовляється від звичних курортів з пасивним проведенням часу на пляжі або біля басейну. Натомість жителі урбанізованих територій все частіше обирають активний вид відпочинку ближче до недоторканих людиною природних екосистем. Чимала кількість туристів вже давно обирає для відпочинку гуляти гірськими масивами Українських Карпат, збирати дикорослі трави та ягоди, вдихати чисте повітря, пити джерельну воду та харчуватися лісовими ягодами.

Очевидно, що популярність екологічного туризму у недоторканих людиною куточках природи та природно-заповідних територіях може призвести і до зворотного ефекту – надмірного антропогенного навантаження на вказані ділянки, що у свою чергу може призвести до погіршення якості об'єктів навколишнього середовища. Особливо гострою постає дана проблема під час неорганізованого туризму, коли неможливим є як контроль потоку рекреантів, так і дотримання ними норм екологічного права та раціонального природокористування.

Актуальність дослідження. Українські Карпати є одними із основних природних систем для розвитку екотуризму. Можна сміливо зауважити, що гірські масиви на заході країни є унікальним регіоном для повноцінного відпочинку в умовах чистої природи та надає можливість отримати душевну рівновагу, гармонію та баланс.

Чималий потік рекреантів щорічно фіксується на територіях Українських Карпат, у мальовничих ландшафтах яких для любителів «зеленого» чи сільського туризму пропонується багато організованих місць для відпочинку. Найвідомішими серед них є комплекси для відпочинку «Буковель», «Драгобрат», «Синяк», «Воеводино», «Пилипець», «Плай», «Горгани», «Дернівська Купіль» та інші. Відвідування організованих місць відпочинку дає можливість контролювати потік рекреантів та уникнути надмірного антропогенного впливу на природні території.

Особливу екологічну загрозу становить неорганізований екотуризм, у результаті якого неконтрольованими є чисельність рекреантів, їх дії та вплив на об'єкти довкілля. Тому дослідження екологічних проблем, які мають місце під час неорганізованого екологічного туризму Українськими Карпатами є актуальним завданням.

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

Проведені дослідження дозволять науковцям і здобувачам вищої освіти застосовувати системний підхід в емпіричних дослідженнях екологічних природних систем задля надання практичних рекомендацій щодо шляхів охорони об'єктів навколишнього середовища та способів розвитку екотуризму в межах територій Українських Карпат.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На даний час дослідженням основних видів екотуризму та оцінці їх екологічно-економічного потенціалу в Україні присвячено багато робіт [1-13]. Проблеми якісного та стабільного розвитку екотуризму сьогодні перебувають у центрі уваги багатьох вітчизняних [1-4] та зарубіжних науковців [5, 7, 14]. Екологічні аспекти розвитку туристичної сфери у більшості наукових публікацій проаналізовано фахівцями у контексті сталого розвитку туризму [3, 6, 9-11]. Наукові праці останніх років здебільшого присвячені питанням збалансованого розвитку туризму та окремих аспектів забезпечення збалансованого розвитку екотуристичних регіонів [9, 13]. У ряді публікацій визначено складові сталого розвитку організованого туризму, проаналізовано екологічні проблеми, пов'язані з розширенням туристичної діяльності та ефективним способом формування екосвідомості сучасної молоді через призму екологізації туризму [15].

Доволі ґрунтовно у сучасних наукових працях описано напрямки впливу організованого туризму та готельної індустрії на довкілля [14], висвітлено проблеми відходів туристичних дестинацій та поведінки з ними [3, 10, 11].

Менш дослідженими є питання екологічних проблем, які можуть виникнути під час неорганізованого екотуризму.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Аналіз основних екологічних загроз, які мають місце під час неорганізованого екотуризму гірськими масивами Українських Карпат та природно-заповідними територіями краю. Мета роботи: вивчити основні екологічні проблеми, які виникають або можуть виникнути під час неорганізованого екотуризму в Українських Карпатах та запропонувати шляхи їх вирішення.

Новизна. Досліджено порушення екологічної безпеки деяких територій та об'єктів природно-заповідного фонду Українських Карпат під час неорганізованого екотуризму. Виявлено наявні екологічні загрози забруднення окремих об'єктів навколишнього середовища: порушення гідрологічного режиму малих гірських річок, засмічення окремих заповідних ділянок, пошкодження трав'яного покриву та деревостанів внаслідок самовільного розпалювання багаття.

Методологічне або загальнонаукове значення. Результати досліджень мають методологічне значення, яке полягає у формуванні уваги до міжпредметних зв'язків дисциплін екологічного, еконо-

мічного та географічного спрямування. Проведені дослідження сприяють підвищенню раціонального природокористування, екологічної свідомості громадян та збереження належного екологічного стану. Моніторинг екологічних проблем, виникаючих під час неорганізованого туризму, визначення кількісних та якісних показників про території та об'єкти туристичних та рекреаційних зон Українських Карпат проведено на основі загальнонаукових методів дослідження (аналітико-синтетичні та системні підходи, порівняльна оцінка).

Викладення основного матеріалу. Ключовими цінностями Карпат є неповторність природних систем, унікальне біорізноманіття як тваринного так і рослинного світів, чисте повітря та густа гідрологічна сітка.

Оскільки екотуристична діяльність безпосередньо спрямована на використання природних об'єктів, вона має тісний кореляційний зв'язок з якістю довкілля. Згадуючи умови глибокої екологічної кризи сьогодення, серед яких основними є зростання масштабів забруднення, засмічення, вичерпання природних ресурсів очевидними є їх два основних наслідки: погіршення екологічного стану об'єктів довкілля та зменшення біорізноманіття.

Варто зауважити, що багаторічна економічна криза в країні та воєнні дії на її території обумовили зменшення фінансового доходу українців, внаслідок чого неорганізований туризм наразі став найпопулярнішим і чи не єдиним можливим видом відпочинку та рекреації українського народу.

Щорічно розвиток туристичної діяльності краю призводить до освоєння нових природних зон та ресурсів і, як наслідок, створює низку особливих природно-соціальних ландшафтів. Очевидно, що перенаселеність та перевантаженість основних рекреаційних зон Українських Карпат, викликане чисельним потоком відвідувачів, може призвести до забруднення природних об'єктів регіону. Особливу загрозу в цьому відношенні становить неорганізо-

ваний туризм. Саме останній не дозволяє контролювати потік рекреантів та провести оцінку шкоди, нанесеної довкіллю. Екологічні проблеми під час неорганізованого екотуризму часто є наслідками самовільного розміщення баз відпочинку, самовільне розпалювання багаття, незаконне збирання дикорослих трав, ягід чи рослин, занесених до Червоної книги України, лікарських рослин, грибів, колекціонування різних ботанічних чи зоологічних видів. Виснаження природних ресурсів під час неорганізованого екотуризму виявляється через порушення поверхні ґрунту, що сприяє розвитку ерозійних процесів; пошкодження або знищення деревостанів; забруднення повітря викидами автомобільних транспортів.

Особливо гострою постала проблема неорганізованого екотуризму мережами природно-заповідного фонду Карпатського регіону, в якому представлено 1274 об'єкти з особливим статусом охорони, найбільшими з яких є Карпатський біосферний заповідник та 11 національних природних парків. Показник заповідності в Українських Карпатах найвищий серед регіонів країни та становить 15,5% [16-19]. Зауважимо, що із чотирьох адміністративно-територіальних одиниць досліджуваного природно-географічного регіону структуру ПЗФ оптимальніше сформовано в межах Закарпатської та Івано-Франківської областей (Рис. 1)

Аналізуючи рис. 1. очевидно є неабияка зацікавленість туристів до незайманої природи саме цих областей України та прямолінійний зв'язок численого потоку рекреантів на їх екологічні системи.

Найпопулярнішими об'єктами для неорганізованого туризму є пішохідні прогулянки до основних височин Карпат, окремі з яких знаходяться під особливим статусом охорони з обмеженою антропогенною діяльністю (табл. 1).

Серед дієвих шляхів запобігання порушення екологічного стану природних об'єктів Карпатського регіону під час неорганізованого туризму можна

ступінь заповідності, %

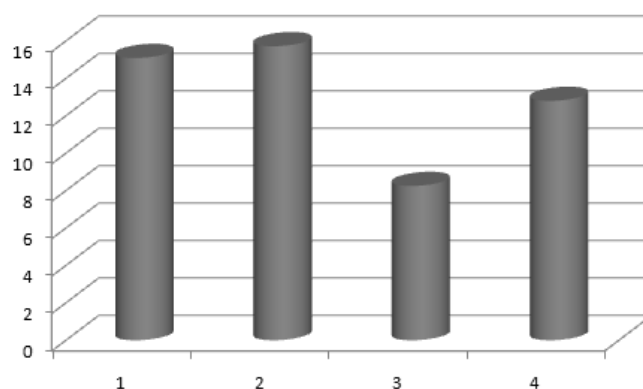


Рис. 1. Ступінь заповідності областей Карпатського регіону: 1 – Закарпатська обл., 2 – Івано-Франківська обл., 3 – Львівська обл., 4 – Чернівецька обл.

Таблиця 1

**Популярні об'єкти заповідних територій неорганізованого екотуризму Карпат
та можливі екологічні загрози**

Об'єкти екотуризму Карпат	Заповідна територія	Екологічні загрози
Гора Говерла, висотою 2061м	Карпатський біосферний заповідник, Карпатський національний природний парк (НПП).	Зменшення біорізноманіття Карпатського регіону; порушення ґрунтового покриву, руйнування рослинних груп (включаючи червонокнижні види) та відлякування диких тварин внаслідок джипінгу (автоперегонів на позашляховиках); засмічення території під час самовільного розкладу багаття чи наметів, тощо.
Озеро Бребенескул	Карпатський біосферний заповідник.	Значне засмічення території озера та його околиць (наявні стихійні звалища), що призводить до забруднення вод самої водойми та накопичення політантів у пониженні до річки Бребенескул. Відмічено вирубку туристами сланку гірську сосну.
Букові праліси Карпат	Карпатський біосферний заповідник, НПП «Зачарований край», Ужанський НПП.	Порушення деревостанів; засмічення територій, що призводить до забруднення вод гідрологічної мережі заповідних територій.
Озеро Синевир	НПП «Синевир»	Пошкодження соснових деревостанів, засмічення територій поблизу озера, забруднення води в озері, що може призвести до негативних гідрологічних змін та евтрофікації водойми.
Водоспад Шипіт	Гідрологічна пам'ятка, Закарпатська обл.	Порушення ґрунтового покриву, відлякування тварин внаслідок шуму та руху автотранспорту; засмічення території.
Гора Парашка та водоспад Гуркало	НПП «Сколівські Бескиди»	Порушення ґрунтового покриву, зменшення рослинних червонокнижних угруповань, засмічення території, що може призвести до зміни якісного та кількісного складу наближених річок регіону (Велика Річка, Опір, Стрий).

виділити як розширення природно-заповідних територій, так і встановлення постів пропуску на них, які допоможуть контролювати потік рекреантів та кількість автотранспорту, обмеження в'їзду транспортних засобів на територію рекреаційних зон Карпат, встановлення лімітів використання природних ресурсів, притягнення винних до адміністративної чи кримінальної відповідальності за екологічні правопорушення, тощо. Але основним фактором є розвиток ефективного організованого екотуризму.

Головні висновки. В Українських Карпатах крім організованого, має місце неорганізований екотуризм. Від надмірного потоку рекреантів страждають ландшафтні, земельні, водні та біологічні ресурси

даного регіону. Ефективними заходами вирішення і запобігання екологічних проблем природних зон Карпат під час неорганізованого туризму є еколого-просвітницька робота, адміністративна чи кримінальна відповідальність за екологічні правопорушення та раціональне природокористування.

Перспективи використання результатів дослідження. Здобуті результати досліджень можуть бути використані для моніторингових досліджень екологічних проблем Карпат та заповідних територій України, під час планування та розвитку сільського і зеленого туризму, у процесі моделювання комплексних підходів до охорони об'єктів навколишнього середовища.

Література

1. Литвин І.В., Нек М.А. Проблеми та перспективи розвитку сільського зеленого туризму в регіоні. *Регіональна економіка*. 2013. № 2. С. 1 – 88.
2. Шульгіна Л.М., Бондар А.І. Аналіз еко-орієнтовних видів туризму: їх відмінні та спільні риси. *Маркетинг і менеджмент інновацій*. 2010. № 1. С. 161 – 168.
3. Коробейнікова Я.С. Екологічні проблеми туристично-рекреаційної діяльності. *Науково-технічний журнал*. 2021. № 1 (23). С. 124 – 134. DOI: 10.31471/2415-3184-2021-1(23)-124-134
4. Голод А.П., Новосад З. П. Екологічна безпека туризму в регіоні: суть та шляхи забезпечення. *Науковий вісник НЛТУ*. 2012. № 3 (22). С. 84 – 88.
5. Murava J. The analysis of the waste problem in tourist destination on the example of Carpathian region in Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. 2016. V.17, I. 2. P.43 – 52.
6. Цимбалюк С.Я., Морозова І.В. Сільський туризм як перспективний напрям розвитку внутрішнього туризму. *Екологічні науки*. 2019. № 1 (24). С. 41 – 45. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716-2019-1-24-1-6>
7. Holden A. *Environment and Tourism*. New York: *Routledge*, 2016. – 302 p.

8. Стренковська А.Ю., Євдокімова О.М. Проблеми та перспективи розвитку зеленого туризму в Україні. *Причорноморські економічні студії*. 2019. № 2 (38). С. 41 – 44.
9. Волкова А.О. Проблеми та перспективи розвитку зеленого туризму як пріоритетної складової туристичної галузі України у XXI столітті. *Ефективна економіка*. 2013. № 10, С. 65-71.
10. Ткаченко Т.І. Сталій розвиток туризму: теорія, методологія, реалії бізнесу: монографія. 2 вид. випр. допов. – К.: КНТУ, 2009. – 463 с.
11. Папп В.В. Сільський зелений туризм як пріоритетний напрям розвитку сільських територій України. *Агросвіт*. 2015. № 18. С. 17 – 22.
12. Посохов І.С., Сагайдачна А.В. Перспективи розвитку екологічного туризму в Україні. *Вісник ХНУ ім.В.Н. Каразіна. Серія «Міжнародні відносини. Економіка. Країнознавство. Туризм»*. 2019. № 9. С. 203 – 212.
13. Качала С.В., Іваночко Б.Р. Шляхи раціонального зростання рекреаційно-туристичних комплексів ОТГ Івано-Франківської області. *Науково-технічний журнал*. 2020. № 1 (21). С. 91 – 100. DOI: 10.31471/2415-3184-2020-1(21)- 91-100
14. Ghulman Rabbany Md., Afrin S., Rahman A., Islam F., Hoque F. Environmental Effects of Tourism. *American Journal of Environment, Energy and Power Research*. 2013. V.1. No.7. P. 117-130.
15. Боруцька Ю.З., Дудяк Р.П., Бугіль С.Я. Формування екосвідомості студентської молоді крізь призму екологізації туризму. *Екологічні науки*. 2020. № 6 (33). С. 138 -144. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.6-33.21>
16. Екологічний паспорт Закарпатської області за 2019 рік. Ужгород: 2020, 186с.
17. Екологічний паспорт Івано-Франківської області за 2019 рік. І.-Франківськ: 2020, 167 с.
18. Екологічний паспорт Львівської області за 2019 рік. Львів: 2020, 265 с.
19. Екологічний паспорт Чернівецької області за 2019 рік. Чернівці: 2020, 118 с.

УДК 504

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.5-44.36>

ПРИРОДНА ТА АНТРОПОГЕННА ДИНАМІКА УГРУПОВАНЬ АСОЦІАЦІЇ GERANIO-TRIFOLIETUM ALPESTRIS НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ

Хом'як І.В., Онищук І.П., Василенко О.М., Гарбар Д.А., Коцюба І.Ю.

Житомирський державний університет імені Івана Франка

вул. Велика Бердичівська 40, 10005, Житомир

ecosystem_lab@ukr.net

Охарактеризовано закономірності динамічних процесів, які відбуваються в угрупованнях асоціації *Geranio-Trifolietum alpestris* (клас *Trifolio-geranietea*) в природних умовах та під антропогенним тиском різної сили. Виявлено сильну зворотну лінійну залежність між показниками природної динаміки та антропогенної трансформації. Коефіцієнт кореляції цієї залежності становить 0,64. Встановлено, що за показниками динаміки асоціація *Geranio-Trifolietum alpestris* знаходиться посередині між трав'яною стадією автогенної сукцесії та стадією похідних лісів. Дослідження перевірило вплив антропогенної трансформації в цих рослинних угрупованнях. Рослинність асоціації *Geranio-Trifolietum alpestris* є мезогемеробною. Тому, діяльність людини є важливим фактором, що впливає на динамічні межі рослинних угруповань. Асоціація знаходиться в зоні біфуркації векторів динаміки, при переході від трав'яно-рудеральної рослинності до лісової та чагарникової. Це перехід від класів рослинних угруповань *Molinio-Arrhenatheretea* та *Artemisietea vulgaris* до класів рослинних угруповань *Epilobietea angustifolii*, *Quercus-Fagetea*, *Quercetea roboret-petrea*, *Vaccinio-Piceetea* та *Robinietea*. У результаті ми дійшли висновку, що такі рослинні угруповання є багатовимірними екотонами. Тут встановлюються всі майбутні етапи аутогенного ряду сукцесії. Зовнішні фактори та умови середовища визначають майбутнє цих рослинних угруповань. Такі дослідження дуже важливі для розвитку теорії екосистем і для практичних цілей. Наприклад, це може стати частиною алгоритму прогнозування змін у заповідних територіях. Охорона та збереження лише окремих видів, що знаходяться під загрозою зникнення, недостатньо. Також, необхідно зберегти середовище їх проживання. Кожен вид може перебувати лише на певній стадії сукцесії. Зміна режиму функціонування території змінює напрямки динаміки екосистеми. Треба передбачити, чи не загрожують такі зміни середовищам існування раритетів. Це також стосується зменшення або збільшення там активності людини. **Ключові слова:** автогенна сукцесія, антропогенна трансформація, узлісні угруповання, екотон.

Natural and anthropogenic dynamics association plant communities *Geranio-Trifolietum alpestris* on the territory of the Ukrainian Polissya. Khomiak I., Onyshchuk I., Vasylenko O., Harbar D., Kotsiuba I.

We characterize the regularities of the processes of dynamics that occur under natural conditions and under anthropogenic pressure of varying strength in plant communities association *Geranio-Trifolietum alpestris* (class *Trifolio-Geranietea*). We found strong inverse linear dependence between the indicators of natural dynamics and anthropogenic transformation. The correlation coefficient of this dependence is 0.64. It is established that according to dynamics indicators the association *Geranio-Trifolietum alpestris* is in the middle between the grassland stage of autogenic succession and the stage of the derivative forests. The study tested the influence of anthropogenic transformation in these plant communities. Vegetation of the association *Geranio-Trifolietum alpestris* is mesohemeroby. Therefore, human activity is an important factor influencing the dynamic edges of plant communities. The association is in the bifurcation zone of the dynamics vectors, during the transition from grass and ruderal vegetation to forest and shrub vegetation. This is a transition from classes of the plant communities *Molinio-Arrhenatheretea* and *Artemisietea vulgaris* to classes of the plant communities *Epilobietea angustifolii*, *Quercus-Fagetea*, *Quercetea roboret-petrea*, *Vaccinio-Piceetea*, and *Robinietea*. As a result, we came to the conclusion that such plant communities are multidimensional ecotones. All future stages of the autogenic succession series are established here. External factors and environmental conditions determine the future of these plant communities. Such research is very important for the development of ecosystems theory and for practical purposes. For example, it may become part of an algorithm to predict changes in protected areas. The protection and conservation of only certain endangered species are not enough. It is also necessary to preserve their habitat. Each species can only be at a certain stage of succession. Changing the mode of operation of the territory changes the direction of the ecosystem dynamics. We must predict whether such changes do not pose a threat to rarities habitat. This also applies to the reduction or increase of human activity there. **Key words:** autogenic succession, anthropogenic transformation, communities of outskirts, ecotone.

Вступ

Вивчення екотону одна із ключових задач екосистемології та фітоценології [4]. Вона включає в себе комплекс проблем пов'язаних із континуумом рослинності. З одного боку сучасна фітоценологія визнає і наводить численні докази того, що рослинний покрив за рідкими винятками безперервний. З іншого боку, якщо розглядати екосистеми як оригінальні упаковки екотонів, то ми можемо виділити

реально існуючі фітоценози із перехідними зонами у вигляді екотону. Дослідження показують, що часто екотонні системи за структурою і функціонуванням можуть відрізнятися від тих, з якими межують. Адже екотон це не лише простір, куди проникають елементи із сусідніх територій [6]. Тут часто утворюються особливі умови середовища і біота відрізняється за популяційно-видовими характеристиками. В таких системах ми спостерігаємо окремі оригі-

нальні і неповторні поєднання видів та оригінальні ценопопуляції [5]. Таким чином, екотон є не лише спонтанною сумішшю елементів сусідніх екосистем, а й особливою частиною довкілля, що відрізняється за показниками факторів середовища та популяційно-видовим складом.

Огляд попередніх підходів

Опис та аналіз екотонної рослинності є проблематичним, тому їх часто оминають увагою геоботаніки та фітоценологи. В літературі зустрічається небагато досліджень синтаксонів екотонних ценозів в порівнянні з іншими групами [5]. У той час, коли класифікації екотонних угруповань класу *Trifolio-geranietea* Th.Müll 1962 приділяється постійна увага [3, 5, 7]. Їхня динаміка лишається слабо дослідженою. Вивчення цієї проблеми водночас і важливе, і складне. З одного боку, узлісні угруповання формуються на межі екосистем, що знаходяться на різних стадіях саморозвитку (між лучними, рудеральними чи сегетальними ценозами і лісовими чи чагарниковими). У зв'язку із цим великий вплив має взаємне проникнення видів пов'язаних із вищеназваними стадіями: з лісовими, згідно з принципом формування «конусу наростання», та лучними через змінені умови освітлення на узліссі [12]. З другого боку екотонні угруповання не варто розглядати із позицій лінійної динаміки [10]. Це багатовекторна система, де крім ускладненого взаємопроникнення флори сингенез, відбувається кілька відмінних процесів ендоекогенезу. Сюди слід віднести і зміни в освітленості, едафічних та мікрокліматичних параметрів (вмісту нітрогену, карбонатів, гумусу в ґрунті, зміні його кислотності та коливань зволоження, пониження морозності, континентальності та інтенсивності випаровування). Ці перетворення впливають не лише на флористичний склад та синтаксономічну приналежність рослинності, а й формують біфуркацію векторів майбутніх сукцесійних перетворень [11].

Крім того, в таких екосистемах відбуваються свої динамічні процеси, мало залежні від сусідніх систем чи внутрішніх трансформацій. Мова йде насамперед про важко передбачувані впливи людської діяльності на якісний і кількісний склад елементів угруповань та на їхні динамічні процеси. Людська діяльність в узлісних ценозах дуже різноманітна відносно впливу на їхнє перетворення. Наприклад, автогенна сукцесія може сповільнюватися через винищення тут елементів лісової флори або зниження обсягів фітомаси. Постійна присутність такої діяльності може зупинити саморозвиток, утворивши катастрофічний клімакс [10, 11]. З іншого боку накопичення в районі узлісся мормаси видалених із агроекосистем бур'янів чи органічних побутових відходів призводить до зростання вмісту доступного рослинам нітрогену. Це може змінити напрямок саморозвитку узлісся в бік нітрофільної серії [8].

Таким чином, в узлісних екосистемах ми спо-

стерігаємо усі типи екотону [4]. Тут є типологічний екотон, викликаний проміжним становищем узлісь в сукцесійних серіях між трав'яною та деревною рослинністю. Також просторовий екотон створений спонтанним проникненням елементів флори із сусідніх ценозів. І топологічний екотон, де по особливому поєднуються фактори середовища – велика подібність в едафічних умовах та відмінність в мікрокліматі та антропогенному тиску.

Оскільки формування узлісся це один із найбільш поширених способів переходу екосистем на якісно новий рівень розвитку, то вивчення їхньої динаміки є актуальною задачею. Асоціація *Geranio-Trifolietum alpestris* Passrg 1979 одна із найбільш поширених та найбільше вивчених на території Українського Полісся [3, 7]. Вона зустрічається на стику між лучними або рудеральними і лісовими екосистемами різного типу. Також тут може спостерігатися антропогенний вплив різного типу та інтенсивності. Тому, ця асоціація є добрим модельним об'єктом для досліджень взаємодії процесів природної та антропогенної динаміки в межах узлісних екосистем.

Мета та завдання дослідження:

Мета нашої роботи це аналіз угруповань асоціації *Geranio-Trifolietum alpestris*, як точки біфуркації під час переходу від трав'яної до фанерофітної рослинності. Відповідно до мети було поставлено завдання:

- 1) Визначити показники природної динаміки узлісних екосистем;
- 2) Визначити рівень антропогенної трансформації екосистем;
- 3) Встановити залежність між природною та антропогенною динамікою узлісних екосистем.

Матеріали та методи досліджень

Матеріалами для дослідження є 2029 стандартних геоботанічних описів зібраних на території Українського Полісся з 2004 по 2017 роки та опублікованих іншими авторами в фахових журналах [3]. У польових дослідженнях використано загальноприйняті маршрутні-експедиційні, напівстаціонарні та стаціонарні польові методи.

З вищенаведеного масиву відібрано 42 описи, які відповідають номенклатурному типу асоціації [2, 3]. Описи здійснювали за загальноприйнятою методикою. Площа описової ділянки 4 м². Форма ділянки відповідає візуальній гомогенності рослинного покриву, ґрунтів та рельєфу, частіше прямокутної форми.

Для аналізу описів використано програму Turboveg for Windows [9]. Синфітоіндикацію здійснювали відповідно до принципів закладених Я.П. Дідухом та П.Г. Плютою [1]. за допомогою програми Simargl 1.12 [5]. Основою для синфітоіндикаційного аналізу стала база даних «EcoDBase 5d» лабораторії «Теорії екосистем» Житомирського державного університету ім. І. Франка [3]. Показники антропогенного фактору визначались за гемеробією угруповань [5].

Результати досліджень та їхнє обговорення.

Клас *Trifolio-geranietea* Th.Müll 1962 на території Українського Полісся представлений одним порядком, двома союзами, тринадцятьма асоціаціями та двома безранговими угрупованнями. Він об'єднує екотонні рослинні угруповання термофільних узлісь. Синтаксономічна схема класу для Українського Полісся має вигляд:

Trifolio-geranietea Th.Müll 1962: *Origanetalia* Th.Müll 1962, *Trifolion medii* Th.Müll 1962: *Trifolio-Melampyretum nemorosi* Passrge 1967, *Trifolio-Agrimonetum* Th.Müll 1961, *Agrimonio-Vicetum cassubicae* Passrge 1967, *Vicio cassubicae-Trifolietum* Passrge 1979, *Sedo maxi-Peucedanetum oreoselini* Brzeg 1983 ex Macicka-Pawlik et Wilczyńska 1996, *Lathyro montani-Melampyretum pratensis* Pass. 1967, *Veronico officinalis-Hieracietum murorum* Klauck 1992, *Coronilletum variaae* Fijalkowski 1991, *Artemisio-Peucedanum oreoselini* Passrge 1979, *Cruciato-Melampyretum nemorosi* Passrge 1979, com. *Aegopodium podagraria-Melampyrum nemorosum*, *Vicetum sylvatico-dumetorum* Oberd et Th.Müll 1961, com. *Melampyrum pratense-Hieracium* (Passrge 1967) Th.Müll 1978; *Geranion sanguinei* R.Tx 1961: *Geranio-Trifolietum alpestris* Passrge 1979 var. *typicum*, var. *Vaccinium myrtillus*, var. *Festuca pratensis*, var. *Pteridium aquilinum*, var. *Carex praecox*, *G.-T.a. galietosum aparines* Korneck 1974. *G.-T.a. urticosum dioicae* subass. nova prov., *Vincetoxici hirundinariae-origanetum vulgaris* Kolbek et Peticek 1979, *Geranio-Anemonetum sylvestris* Th.Müll 1961, *Campanulo-Vicetum tenuifoliae* Krausch 1961 em. Korneck 1974.

Найбільш поширеною та найкраще вивченою є асоціація *Geranio-Trifolietum alpestris*. До її складу входять 5 варіантів та дві субасоціації: var. *typicum*, var. *Vaccinium myrtillus*, var. *Festuca pratensis*, var. *Pteridium aquilinum*, var. *Carex praecox*, *G.-T.a. galietosum aparines* Korneck 1974. *G.-T.a. urticosum dioicae* subass. nova prov. На рівні варіантів можна простежити відмінності в їхньому поширенню територією Українського Полісся. Варіанти var. *typicum*, var. *Pteridium aquilinum* та субасоціація *G.-T.a. urticosum dioicae* зустрічаються у всіх геоботанічних округах Поліської підпровінції. Варіант var. *Vaccinium myrtillus* та субасоціація *G.-T.a. galietosum aparines* відомі лише із Чернігівського Полісся, а варіант var. *Carex praecox* з півдня Правобережного Полісся.

Умови середовища, в яких знаходяться угруповання асоціації *Geranio-Trifolietum alpestris*, сформовані впливом факторів пов'язаних із їхнім положенням в сукцесійних серіях. Вони за динамічними характеристиками знаходяться між лучним етапом автогенної сукцесії та стадією похідних лісів, що відповідає коливанню показників від 3,96 до 11,15 балів за середнього значення 8,43 бали (табл. 1). За величиною середнього значення такі динамічні умови найбільш характерні

для чагарників на пізніх етапах саморозвитку або чагарників на ранніх.

Разом з тим, ми спостерігаємо для багатьох випадків надзвичайно низькі показники динаміки (3,96 бала), що більш характерні для типових лук. Це трапляється у всіх варіантах асоціації, незалежно від географічного положення. З одного боку, це може бути викликане проміжним станом угруповань асоціації *Geranio-Trifolietum alpestris* між двома дуже різними за динамічними характеристиками типами рослинності. Отже, екосистеми із участю цього автотрофного блоку дійсно можуть знаходитися на різних стадіях саморозвитку. З другого боку це може бути викликане трактуванням екотону на практиці дослідником, який створює стандартний геоботанічний опис. Включення в опис лісових окраїн підвищує показник природної динаміки, а виведення їх за межі опису знижує цей показник.

Використання великої кількості описів зроблених різними авторами у різний час пом'якшує проблему суб'єктивізму під час вибору меж описового майданчика, тому важливими характеристиками будуть середні значення та амплітуди показників у різних груп нижчого рангу. Оскільки в межах субасоціацій *G.-T.a. urticosum dioicae* та *G.-T.a. galietosum aparines* мінімальні значення 6,91 бала і 10,43 бала, чого не спостерігаємо у окремих варіантів (за винятком var. *Pteridium aquilinum*), то ми можемо припустити, що коливання значень викликані не суб'єктивними факторами (вибір ділянки автором), а реально існуючими відмінностями.

Велика амплітуда коливань (7,19 бала) обумовлена проникненням лісової і лучної рослинності в межі угруповань, та присутністю або відсутністю часткового перебування під лісовим пологом. Можна припустити, що в такому разі темпи автогенної сукцесії (час на перехід до наступної стадії) будуть сильно відрізнятися в залежності від конкретних умов існування угруповань. Отже, лісові угруповання можуть сформуватися в їхніх межах як протягом 2-3 років, так і з більш тривалий час (10-15 років). Слід зазначити, що в узлісній угруповання асоціації проникає флора із сусідніх екосистем, яка належить не лише домінуючим видам едифікаторам, а також їхні характерні та діагностичні види. Представниками від лісо-чагарникової рослинності може бути підріст дерев та молоді кущі, а також ті трав'яні види та чагарнички, екологічні амплітуди яких дозволяють їм тут перебувати. Мова іде насамперед про освітленість та мікроклімат. Без зовнішнього впливу це сприяє розширенню угруповань фанерофітів згідно із принципом конусу заростання. Лучні, пустищні та рудеральні види з свого боку знаходяться тут в режимі очікування ймовірних порушень, в тому числі через прямий або опосередкований людський вплив.

Широка амплітуда коливання показника динаміки характерна для нижчих за асоціацію одиниць

Таблиця 1

**Показники природної динаміки (ST) та антропогенної трансформації (HE)
для асоціації *Geranio-Trifolietum alpestris* на території Українського Полісся.**

Угруповання	Величина	ST	HE
var. <i>Pteridium aquilinum</i>	максимум	10,66	9,37
	середнє	9,12	7,79
	мінімум	6,78	6,89
	амплітуда	3,88	2,48
var. <i>Vaccinium myrtillus</i>	максимум	10,73	7,6
	середнє	9,4	7,09
	мінімум	7,3	6,77
	амплітуда	3,43	0,83
var. <i>typicum</i>	максимум	10,05	9,61
	середнє	8,02	7,81
	мінімум	3,96	7,27
	амплітуда	6,09	2,34
var. <i>Carex praecox</i>	максимум	5,51	8,67
	середнє	5,09	8,09
	мінімум	4,47	7,71
	амплітуда	1,04	0,96
var. <i>Festuca pratensis</i>	максимум	6,26	7,92
	середнє	5,83	7,83
	мінімум	4,47	7,71
	амплітуда	1,79	0,21
G.-T.a. <i>galietosum aparines</i>	максимум	11,15	7,36
	середнє	11,15	6,41
	мінімум	10,43	6,41
		0,72	0,95
G.-T.a. <i>urticosum dioicae</i>	максимум	10,78	8,19
	середнє	9,28	7,49
	мінімум	6,91	6,91
	амплітуда	3,87	1,28
<i>Geranio-Trifolietum alpestris</i>	максимум	11,15	9,61
	середнє	8,43	7,65
	мінімум	3,96	6,41
	амплітуда	7,19	3,2

класифікації рослинності. Вона коливається від 0,72 для субасоціації *G.-T.a. galietosum aparines* до 6,09 у варіанта *Geranio-Trifolietum alpestris* var. *typicum*. У субасоціації *G.-T.a. galietosum aparines* крім низької амплітуди коливань показника динаміки також найвищі його значення – 11,15 бала, що відповідає молодим похідним лісам. Найнижчі показники в *Geranio-Trifolietum alpestris* var. *typicum*. – 3,96, що більш характерно для типових лучних ценозів.

Частина угруповань рангу варіанту чи субасоціації мають максимальні показники природної динаміки, що відповідають стадії чагарників або молодих похідних лісів. Сюди належать варіанти var. *Pteridium aquilinum*, var. *Vaccinium myrtillus*, var. *typicum* та субасоціації *G.-T.a. galietosum aparines*, *G.-T.a. urticosum dioicae*. Для варіантів var. *Carex praecox* та var. *Festuca pratensis* макси-

муми показників знаходяться в діапазоні пізнього розвитку лук або чагарників. Аналогічну ситуацію ми спостерігаємо й щодо мінімальних значень. Для варіантів для var. *Pteridium aquilinum*, var. *Vaccinium myrtillus* і субасоціації *G.-T.a. urticosum dioicae* мінімуми відповідають чагарниковій стадії саморозвитку, для *G.-T.a. galietosum aparines* – стадії чагарників чи молодих похідних лісів, для var. *typicum*, var. *Carex praecox*, var. *Carex praecox*, var. *Festuca pratensis* – лучній стадії. Отже однією із причин диференціації асоціації на рівні варіанту або субасоціації є різниця в належності до певної стадії автогенної сукцесії.

За показниками антропогенної трансформації угруповання асоціації належать до мезогемеробних із середнім значенням – 7,65 бала. Загалом амплітуда коливань показника антропогенної трансфор-

мації покриває угруповання від мезогемеробних (6,41 бала) до еугемеробних (9,61 бала). Це вказує на те, що узлісні ценози цієї асоціації є антропогенно зміненими вторинними угрупованнями. На їхнє формування прямо чи опосередковано впливає або впливала діяльність людини. Виходячи із амплітуди показника антропогенного фактора, людський вплив проявляється в різній мірі, що й підтверджується наявністю по сусідству як лучних так і рудеральних угруповань. Саме тому ми спостерігаємо у флорі асоціації наявність лучних чи рудеральних елементів або їхніх комбінацій.

Середні значення показника антропогенної трансформації для нижчих одиниць класифікації коливаються від 6,41 бала для *G.-T.a. urticosum dioicae* до 8,09 для *Geranio-Trifolietum alpestris* var. *Carex praecox*. Найвищою є амплітуда в межах варіанту *Geranio-Trifolietum alpestris* var. *Pteridium aquilinum* (2,48 бала), найнижчою для var. *Festuca pratensis* (0,2 бала). Найвищі показники антропогенної трансформації зафіксовані в межах варіанту var. *Pteridium aquilinum* (9,37-6,89 бала) та var. *typicum*

(9,61-7,27 бала). Це означає, що вони знаходяться під постійним антропогенним тиском. Найнижчі показники у варіанту var. *Vaccinium myrtillus* (7,6-6,77 бала) та субасоціації *G.-T.a. galietosum aparines* (7,36-6,41 бала).

Висновки

Асоціація *Geranio-Trifolietum alpestris* за показниками динаміки займає проміжне становище між лучною стадією та стадією похідних лісів, що відповідає коливанню показників природної динаміки від 3,96 до 11,15 бала за середнього значення 8,43 бала.

За показниками антропогенної трансформації угруповання асоціації належать до мезогемеробних ценозів із середнім значенням – 7,65 бала. За амплітудою коливань цього показника до угруповань асоціації належать мезогемеробні ценози з показниками вище 6,41 бала та еугемеробні з показником нижче 9,61 бала.

Між показником природної динаміки та силою антропогенного тиску спостерігається чітко виражена обернена лінійна залежність із коефіцієнтом кореляції 0,64.

Література

1. Дідух Я.П., Плюта П.Г. Фітоіндикація екологічних факторів Київ: Наукова думка, 1994. 280 с.
2. Дубина, Д. В., Дзюба, Т. П., Ємельянова, С. М. та ін. Прогноз рослинності України. Київ: Наукова думка, 2019. 784 с.
3. Лукаш О.В., Якушенко Д.М. Асоціація *Geranio -Trifolietum alpestris* Th. Muller 1962 на Східному Поліссі. *Український ботанічний журнал*. 2008. № 3. С. 336-350.
4. Хом'як І.В. Проблема екотону в класифікації екосистем. *Наукові записки НаУКМА*. 2011. Т. 119. С. 70-72.
5. Хом'як І.В., Демчук Н.С., Василенко О.М. Фітоіндикація антропогенної трансформації екосистем на прикладі Українського Полісся. *Екологічні науки*. 2018. Вип. 3(22). С. 113-118.
6. Brownstein, G., Johns, C., Fletcher, A., Pritchard, D., and Erskine, P. D. (). Ecotones as indicators: Boundary properties in wetland-woodland transition zones. *Community Ecology*. 2015. 16 (2), P. 235-43.
7. Carni, A. *Trifolio-Geranietae* vegetations in south and southeast Europe. *Acta Botanica Galica*, 2005. 152 (4), P. 483-496.
8. Harbar Oleksandr, Khomiak Ivan, Kotsiuba Iryna, Demchuk Nataliia and Onyshchuk Iryna. Anthropogenic and natural dynamics of landscape ecosystems of the Slovechansko-Ovruchsky ridge (Ukraine). *Socijalna ekologija*. 2021. № 3. P. 347-367.
9. Hennekens, S.M., Schaminée, J.H.J. Turboveg, a comprehensive database management system for vegetation data *J. Veg. Sci.* 2001. № 12. 589-591.
10. Keith R. Skene (). The energetics of ecological succession: A logistic model of entropic output. *Ecological Modelling*. 2013. 250 (10) P. 287-293.
11. Khomiak Ivan, Harbar Oleksandr, Demchuk Nataliia, Kotsiuba Iryna, and Onyshchuk Iryna. Above-ground phytomas dynamics in autogenic succession of an ecosystem. *Forestry ideas*. 2019. № 1. P. 136-146.
12. Loidi, J. Herrera, M. Garcia-Mijangos, I. Biurrun, I. Mucina, L. Forest edge herbaceous vegetation (*Trifolio-Geranietae*) of northern Spain. *South African Journal of Botany*. 2004. 70(2). P. 284-297.

ЗНАХІДКИ ЧУЖОРІДНИХ РОСЛИН У ЗАХІДНОМУ І ПІВНІЧНОМУ РЕГІОНАХ УКРАЇНИ

Шиндер О.І.

Національний ботанічний сад імені М.М. Гришка Національної академії наук України
вул. Тімірязєвська, 1, 01014; м. Київ
shinderoleksandr@gmail.com

За результатами польових досліджень у Житомирській, Закарпатській, Київській, Львівській, Рівненській і Чернігівській областях були виявлені нові місцезнаходження адвентивних рослин. Загалом наведено відомості про спонтанні і суб-спонтанні місцезнаходження 46 чужорідних таксонів. Характер виявлених знахідок продовжує уже відомі тенденції адвентизації флори України. Заноси деяких ксенофітів пов'язані із залізницями (*Erucastrum gallicum*, *Polygonum calcatum*, *Senecio viscosus*) та перевезеннями автомобільними дорогами (*Achillea pannonica*, *Androsace septentrionale*, *Atriplex oblongifolia*). Кілька ксенофітів досить широко розповсюджені по території України, але їх поширення у північних та західних регіонах перебуває на початковому етапі (*Phragmites altissimus*, *Sisymbrium volgense*). Великою групою є ергазіофіти на всіх етапах натуралізації, зокрема як деревні (види родів *Cornus*, *Philadelphus*, *Tilia* та інші), так і ще більш чисельні трав'яні (*Oenothera glazioviana*, *Reynoutria sachalinensis*, види родів *Sedum*, *Symphyotrichum* та інші). У деяких видів зафіксовано самосів (*Cercis canadensis*, *Laburnum anagyroides*, *Thuja plicata* та інші). Відмічено нові локалітети ряду інвазійно-активних таксонів, зокрема: *Clematis vitalba*, *Cornus sanguinea* subsp. *australis*, видів роду *Symphyotrichum*, *Vitis riparia* та інших. Розповсюдження таких видів викликає занепокоєння. За географічним розподілом серед наведених таксонів 15 мають північноамериканське походження, 11 – субсередземноморське, 7 – європейське, а 6 – східноазійське. Наведені відомості будуть цінними при узагальненні таксономічного складу адвентивних фракцій флор. Актуальним завданням на майбутнє є підготовка таксономічних флористичних переліків на рівні адміністративних областей України. **Ключові слова:** адвентивна флора, нові місцезнаходження, фітоінвазії.

Findings of alien plants in the western and northern regions of Ukraine. Shnyder O.

According to the results of field research in Zhytomyr, Zakarpattia, Kyiv, Lviv, Rivne and Chernihiv regions, new locations of alien plants were discovered. In general, information on spontaneous and sub-spontaneous locations of 46 alien taxa is given. The nature of the discovered finds continues the already known trends of adventitization of the flora of Ukraine. Introduction of some xenophytes is associated with railways (*Erucastrum gallicum*, *Polygonum calcatum*, *Senecio viscosus*) and road transport (*Achillea pannonica*, *Androsace septentrionale*, *Atriplex oblongifolia*). Several xenophytes are quite widely distributed on the territory of Ukraine, but their distribution in the northern and western regions is at the initial stage (*Phragmites altissimus*, *Sisymbrium volgense*). A large group are ergasiophytes at all stages of naturalization, in particular both woody (species of the genera *Cornus*, *Philadelphus*, *Tilia*, and others), and even more numerous herbaceous plant (*Oenothera glazioviana*, *Reynoutria sachalinensis*, species of the genera *Sedum*, *Symphyotrichum*, and others). Self-seeding has been recorded in some ergasiophytes (*Cercis canadensis*, *Laburnum anagyroides*, *Thuja plicata* and others). New localities of a number of invasive plants were noted, in particular: *Clematis vitalba*, *Cornus sanguinea* subsp. *australis*, species of the genus *Symphyotrichum*, *Vitis riparia* and others. The distribution of such species is a cause for concern. According to the geographical distribution, among the given taxa, 15 are of North American origin, 11 are of sub-Mediterranean origin, 7 are of European origin, and 6 are of East Asian origin. The given information will be valuable when summarizing the taxonomic composition of alien flora fractions. An urgent task for the future is the preparation of taxonomic floristic lists at the level of administrative regions of Ukraine. **Key words:** alien flora, new locations, phytointvasions.

Постановка проблеми. Нині актуальною проблемою біологічних досліджень є вивчення процесів адвентизації флори та синантропізації рослинного покриву [1-3]. У зв'язку із цим важливими є факти фіксації нових спонтанних місцезнаходжень чужорідних рослин і повідомлення про це науковій спільноті [4-7].

Актуальність дослідження. За результатами нерегулярних польових досліджень у західній і північній частинах України нам траплялися цікаві, а подекуди нові для окремих регіонів знахідки нових спонтанних і суб-спонтанних місцезнаходжень чужорідних рослин. У зв'язку з інтенсивними процесами адвентизації флори і регулярної появи нових адвентивних рослин [3, 7, 8] перелік таких знахідок становить інтерес для дослідників адвентивної флори і фітоінвазій.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Проведена робота пов'язана із моніторингом чужорідної флори України на регіональному рівні, але не є частиною конкретних наукових програм.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При складанні переліку актуальних знахідок чужорідних рослин ми керувалися останніми публікаціями і флористичними зведеннями на тему дослідження, зокрема, по флорах Карпат [6, 9-11], Західного Лісостепу [12-14] і Полісся [15-18]. Принагідно використовували базу даних «iNaturalist» (<https://www.inaturalist.org>) та інші доступні джерела.

Новизна. Висвітлені дані доповнюють склад адвентивної флори і хорологію чужорідних видів рослин у Житомирській, Закарпатській, Київській, Львівській, Рівненській та Чернігівській облас-

тях, а також відомості про натуралізацію окремих ергазіофітів.

Методика. Вказівки наведені із територій Житомирської, Закарпатської, Київської, Львівської, Рівненської та Чернігівської областей, а здійснені вони упродовж 2010-2021 рр. Частина знахідок підтверджена гербарними матеріалами, а їх більшість висвітлені на ресурсі «iNaturalist». Назви таксонів (видів і підвидів) узгоджені із чеклістом «Plants of the World Online» (<https://powo.science.kew.org/>), але в деяких випадках таксони наведено у вузькому розумінні (s. str.).

До переліку внесено види, які є чужорідними у відповідному регіоні, наприклад: *Achillea pannonica*, *Atriplex oblongifolia*, *Tilia platyphyllos* та ін., – які є аборигенними в інших регіонах України. До списку включено і деякі культивовані рослини з ознаками натуралізації, які проявляється самосівом у місцях культивування. Для таксонів наведено деякі їх основні характеристики як елементу флори. Імміграційні елементи: «**ксенофіт**» – випадково занесена рослина, «**ергазіофіт**» – культивована рослина (у складі культурної флори), «**ергазіофігофіт**» – попередньо культивована рослина, яка спонтанно проникла на певну віддаль за межі ділянки культивування («втїкач із культури») [2, 19-21]. Розгляд натуралізованих ергазіофітів на межі виходу із культури здійснено у ряді публікацій [19, 22, 23]. Для таксонів наведено первинний ареал («**п. ареал**»), або зазначено, що таксон має антропогенне походження. Для частини локалітетів наведено оригінальні координати, отримані *in situ*. Частина визначених зразків рослин передані до гербаріїв KW та KWHN.

В тексті використано деякі скорочення: «Жт.» – Житомирська, «Зк.» – Закарпатська, «Лв.» – Львівська, «Кв.» – Київська, «Рв.» – Рівненська, «Чрг.» – Чернігівська області; «залізн.» – залізничний, «окол.» – околиці, «*!» – місцезнаходження в місці первинної культури натуралізованих ергазіофітів. Всі знахідки виконані автором.

Викладення основного матеріалу.

Achillea pannonica Scheele: ксенофіт; п. ареал: Ц. Європа і Лісостеп Сх. Європи. – Чрг., смт Гончарівське, пн-зх. окол., розсіяно на полігоні, 21.09.2019.

Amaranthus powellii S. Watson: ксенофіт; п. ареал: Пн. Америка. – Лв., м. Дрогобич, залізн. вокзал, між коліями, 49.35499°, 23.544017°, 9.10.2019; м. Стрий, залізн. вокзал, вздовж колії, рясно, 49.2597°, 23.8415°, 9.10.2019 (KWHN). – Note. Місцезнаходження *A. powellii* у ряді міст Львівської області були наведені раніше у публікації [14].

Androsace septentrionalis L.: ксенофіт?; п. ареал: Голарктика. – Рв., Костопільський р-н, сх. окол. с. Нова Любомирка, піщанисті луки на полігоні, 30.04.2015 (KWHN).

Artemisia verlotiorum Lamotte: ксенофіт?; п. ареал: Пд. Європа. – Лв., м. Трускавець: навпроти в'їзду

в санаторій «Перлина Прикарпаття», лінійна колонія вздовж дороги, довжиною біля 30 м, 49.2707°, 23.5079°, 8.10.2019 (KWHN). – Note. Раніше *A. verlotiorum* була виявлена у Львівській області із м. Броди, але наведена як *A. umbrosa* (Turcz. ex Besser) Turcz. ex Verlot. (26.07.2018, leg. Р.Ю. Юречко, В.М. Баточенко (sub *A. umbrosa*), det. 21.02.2019, О.І. Шиндер (sub *A. verlotiorum*) (KWHN)) [12]. Актуальні хорологічні відомості про *A. verlotiorum* розкриті у публікації [24].

Aster amellus L. subsp. *amellus*: ергазіофігофіт; п. ареал: Лісостепова смуга Євразії. – Лв., Сколівський р-н: с. Урич, на обочині вулиці, здичавіло, в кількох місцях, 29.09.2019 (KWHN).

Atriplex oblongifolia Waldst. & Kit.: ксенофіт; п. ареал: Субсередземномор'я. – Лв., м. Трускавець: біля ринку, на обочині дороги, 7.10.2019 (KWHN).

Catalpa cf. *bignonioides* Walter: ергазіофігофіт; п. ареал: Пн. Америка. – Лв., м. Трускавець, навколо санаторію «Кристал», самосів на відстані понад 100-150 м від дорослих дерев, 1.10.2019. – Note. Рослини зібрано у вегетативному стані, вони частково можуть належати до *C. × erubescens* Carrière (= *C. bignonioides* × *C. ovata* G. Don.).

Catalpa speciosa Teas: ергазіофіт; п. ареал: Пн. Америка. – *! Лв., м. Трускавець, біля санаторію «Кристал», самосів, 7.10.2019 (KWHN); самосів у інших місцях по місту, часто, 10.2019.

Celastrus orbiculatus Thunb. (= *C. strigillosus* Nakai): ергазіофіт; п. ареал: Пд-Сх. Азія. – *! Лв., м. Трускавець, пд. край, біля ставка на паркані (посаджено) і розсівається навколо, 7.10.2019 (KWHN). – Note. Спонтанне зростання *C. orbiculatus* у м. Сокаль Львівської області вказане у [14].

Cercis canadensis L.: ергазіофіт; п. ареал: Пн. Америка. – *! Лв., м. Трускавець, санаторій «Кришталевий палац», дендропарк, самосів біля дорослих дерев, 14.10.2019 (KWHN).

Clematis vitalba L.: ергазіофігофіт; п. ареал: Субсередземномор'я. – Лв., м. Стрий: територія залізн. вокзалу, поміж колій, 9.10.2019.

Corispermum pallasii Steven subsp. *membranaceum* (Bisch. ex Shnittpalm) Tzvelev var. *leptopterum* Asch. (= *C. leptopterum* (Asch.) Pjlin): ксенофіт; п. ареал: Пн. Європа. – Чрг., смт Гончарівське, зх. окол., вздовж дороги на піску, 22.09.2019 (KWHN).

Cornus alba L.: ергазіофігофіт; п. ареал: Сх. Азія. – Лв., м. Трускавець – зх. окол., спонтанно на обочині окружної дороги, 1.10.2019.

Cornus sanguinea L. subsp. *australis* (C.A. Mey.) Jáv.: ергазіофігофіт; п. ареал: Сх. Субсередземномор'я. – Зк., м. Ужгород, часто на узбіччях доріг, 29.10.2021. – Лв., м. Дрогобич, біля залізн. вокзалу, обабіч полотна залізниці, спонтанно, рясно, 9.10.2019 (KWHN); смт Східниця, на узбіччях доріг, спорадично, 29.09.2019; м. Трускавець, пд. край, на узбіччі кільцевої дороги, в насадженнях і спонтанно, часто, 7.10.2019 (KWHN); м. Стрий, біля залізн. вокзалу, по краю

полотна, рясно, 09.10.2019 (КВНА); Сколівський р-н: с. Дубина, пд. окоп., долина р. Кам'янка (права притоки р. Опір), 49.0451°, 23.5447°, спонтанно, 13.10.2019 (КВНА).

Cornus sanguinea subsp. × *hungarica* (Kárpáti) Soó: ергазіофітофіт; п. ареал: Ц. Європа. – Льв., м. Львів: г. Високий Замок, на схилі серед чагарників, спонтанно, 15.10.2019 (КВНА); Дрогобицький р-н: с. Рибник – сх. окоп., на обочині дороги в долині р. Стрий, поміж чагарників, 2.10.2019 (КВНА); пд-зх. окоп. м. Трускавець, вздовж дороги на Орів, розсіяно, разом із *C. australis* але частіше, 49.2613°, 23.4946°, 8.10.2019 (КВНА). – Чрг., смт Гончарівське, насадження вздовж доріг і самосів, рідко, 22.09.2019.

Cornus sericea L.: вегетативно-рухомий ергазіофіт; п. ареал: Пн. Америка. – Льв., м. Трускавець – півд. край, на обочині кільцевої дороги, зарості на місці насаджень, 7.10.2019 (КВНА)

Cotoneaster acutifolius Turcz.: ергазіофітофіт; п. ареал: Пд-Сх. Азія. – Льв., м. Трускавець, міський парк, в насадженнях і самосів, 1.10.2019.

Crataegus cf. *meyeri* Rojark. (= *Crataegus ucrainica* Rojark.): ергазіофітофіт; п. ареал: Сх. Субсередземномор'я. – Чрг., смт Гончарівське, пн-зх. окоп., за 1 км, в бору, вздовж просіки, кілька дерев віком до 25 рр., 22.09.2019 (КВНА). – Note. *C. ucrainica* поширений у рівнинній Україні спорадично [25-27]. За [25] переглянуті зразки рослин із Поділля, Житомирської області та інших локалітетів, які відносилися до цього виду, свідчить, що вони є гібридами. Ми схилиємося до думки, що виявлені нами рослини є спонтанним підростом із насаджень, але видова їх приналежність остаточно ще не встановлена.

Erucastrum gallicum (Willd.) O.E. Schulz: ксенофіт; п. ареал: Ц. Європа. – Льв., м. Трускавець: по залізн. колії, розсіяно, 28.09.2019 (КВНА).

Geranium sibiricum L.: ксенофіт; п. ареал: Сибір. – Льв., м. Дрогобич: район залізн. вокзалу, обабіч полотна залізниці, 9.10.2019; м. Стрий: територія залізн. вокзалу, 9.10.2019.

Laburnum anagyroides Medik. : ергазіофіт; п. ареал: Пд. Європа. – *! Льв., Трускавець, самосів біля санаторію Алмаз, 28.09.2021.

Lepidium virginicum L.: ксенофіт; п. ареал: Пн. Америка. – Льв., м. Стрий, територія залізн. вокзалу, поміж колій на значній площі, 9.10.2019 (КВНА). – Note. Наведене місцезнаходження вперше було виявлено Н.М. Сичак ще у 2008 р. [14]. Наша знахідка свідчить, що у м. Стрий сформувалася стійка колонія *L. virginicum*, приурочена до території залізн. вокзалу. Раніше заносні місцезнаходження цього виду в Україні були відомі із Закарпатської області та Криму і пов'язані із імпортом зерна [28].

Oenothera glazioviana Micheli: ергазіофітофіт; п. ареал: Пн. Америка. – Льв., м. Трускавець, пд-зх. край, смітник, на відходах будівництва як бур'ян, 8.10.2019 (КВНА).

Parthenocissus quinquefolia (L.) Planch.: вегетативно-рухомий ергазіофіт; п. ареал: Пн. Америка. – *! Льв., м. Трускавець, санаторій «Кришталевий палац», насадження із яких розповсюджується по території, 14.10.2019 (КВНА).

Philadelphus coronarius L.: ергазіофітофіт; п. ареал: Кавказ і Анатолія. – Льв., м. Трускавець, буд. майданчик біля санаторію «Алмаз», спонтанно, 1.10.2019 (КВНА); м. Трускавець, біля санаторію «Алмаз», спонтанно у тріщинах фундаменту, 1.10.2019 (КВНА); м. Трускавець, санаторій «Кришталевий палац», дендропарк, у насадженнях і спонтанно, 14.10.2019.

Phragmites altissimus (Benth.) Mabilie: ксенофіт; п. ареал: Субсередземномор'я. – Жт., м. Коростень, молода колонія у р. Уж, 25.12.2021. – Зк., м. Ужгород, береги р. Уж, спорадично, 29.10.2021. – Note. Виявлені нами локалітети *P. altissimus* у лісостеповій частині Житомирської області та короткі хронологічні відомості про цей вид наведені у публікації [29].

Polygonum calcatum Lindm.: ксенофіт; п. ареал: Пн. Євразія. – Льв., м. Львів, на проспекті перед залізн. вокзалом, рясно, 9.10.2019; м. Дрогобич, по тротуару в центрі, 9.10.2019; м. Стрий, біля залізн. вокзалу, по краю тротуарів, часто, 9.10.2019 (КВНА). – Note. Деякі хронологічні особливості цього виду у флорі України наведено у публікації [29].

Polygonum rurivagum Jord. ex Voreau: ксенофіт; п. ареал: Субсередземномор'я. – Льв., м. Трускавець, пд. край, на узбіччі кільцевої дороги, 7.10.2019 (КВНА).

Populus × *canadensis* Moench: ергазіофітофіт; п. ареал: антропогенний. – Льв., м. Трускавець, пд-зх. окоп., обочина дороги на Орів, 8.10.2019.

Prunus persica (L.) Batsch: ергазіофітофіт; п. ареал: Пд-Сх. Азія. – Зк., м. Ужгород, по краю залізн. насипу, неподалік смітника, 31.10.2021.

Reynoutria sachalinensis (F. Schmidt) Nakai: ергазіофітофіт; п. ареал: Сх. Азія. – Льв., Дрогобицький р-н: пд-зх. окоп. м. Трускавець, обочина дороги на Орів, куртина віком кілька років, 49.2606°, 23.4936°, 8.10.2019 (КВНА). – Note. Нині в Україні представлені 3 види роду *Reynoutria*, у т. ч. інвазійно-активний *R. bohemica* Chrtek & Chrtková [30]. Розрізнення цих видів у спонтанних місцезростаннях залишається актуальним.

Sedum album L.: ергазіофітофіт; п. ареал: Ц. Європа. – Кв., Вишгородський р-н: с. Страхолисса, по периметру заасфальтованої площадки, здичавіло, на площі кілька ар, 25.06.2009 (КВНА). – Note. Відомості про спонтанні місцезнаходження *S. album* у Лісостепу наведено у публікаціях [29, 31].

Sedum sarmentosum Bunge: ергазіофітофіт; п. ареал: Пд-Сх. Азія. – Зк., м. Ужгород, по вул. Духновича між тротуарною плиткою, спонтанно, 26.10.2021.

Senecio viscosus L.: ксенофіт; п. ареал: Зх. Європа. – Льв., м. Стрий: територія залізн. вокзалу, 9.10.2019; м. Трускавець, вздовж залізн. полотна

біля залізн. вокзалу, 5.10.2019. – Note. Відомості про знахідки *S. viscosus* у північній частині Львівської області наведені у публікації [12].

Sisymbrium volgense M. Bieb. ex E. Fourn.: ксенофіт; п. ареал: східнопомісний. – Жт, м. Радомишль, на мосту перед замком, розсіяно, 4.09.2020; смт Нові Білокорівці, колонія на узбіччі дороги, 51.12145°, 28.003743°, 13.06.2020.

Solanum nigrum L. subsp. *schultesii* (Opiz) Wessely.: ксенофіт; п. ареал: Пн. Америка. – Чрг, смт Гончарівське, стихійні смітники на узліссі бору, 22.09.2019.

Symphotrichum laeve (L.) Á. Löve & D. Löve: ергазіофіт; п. ареал: Пн. Америка. – Лв., Дрогобицький р-н: між м. Стебник і м. Трускавець, вздовж залізниці, розсіяно, одинично, 5.10.2019 (КВНА).

Symphotrichum lanceolatum (Willd.) G.L. Nesom: ергазіофіт; п. ареал: Пн. Америка. – Лв., м. Трускавець, біля ринку, масово, 30.09.2019 (КВНА). – Note. Хорологічні відомості про *S. lanceolatum* та *S. × versicolor* (Willd.) G.L. Nesom у рівнинній частині Львівської області були висвітлені у [14].

Symphotrichum novae-angliae (L.) G.L. Nesom: ергазіофіт; п. ареал: Пн. Америка. – Лв., Дрогобицький р-н: м. Стебник, пд-зх. край., вздовж залізниці, рідко між інших видів роду, в кількох місцях, спонтанно, 5.10.2019 (КВНА).

Symphotrichum novi-belgii (L.) G.L. Nesom: ергазіофіт; п. ареал: Пн. Америка. – Лв., Дрогобицький р-н: м. Стебник, пд-зх. край., вздовж залізниці, найчастіше з інших видів роду, 5.10.2019 (КВНА); смт Східниця, на обочині дороги, здичавіло, часто, 29.09.2019 (КВНА).

Symphotrichum × salignum (Willd.) G.L. Nesom: ергазіофіт; п. ареал: антропогенний. – Лв., Дрогобицький р-н: м. Стебник, півд-зх. край., вздовж залізниці, часто, 5.10.2019 (КВНА); м. Трускавець, часто вздовж доріг, 10.2019.

Taxus baccata L.: ергазіофіт; п. ареал: Субсередземномор'я. – Лв., м. Трускавець, розсіяний спонтанний підріст у парках та алеях, 8.10.2019.

Thuja plicata Donn ex D. Don: ергазіофіт; п. ареал: Пн. Америка. – *! Лв., м. Трускавець: біля сан. «Алмаз», самосів по узбіччі дороги (сорт 'Zebrina'), 8.10.2019 (КВНА); м. Трускавець, в центрі, самосів по тротуару, 5.10.2019.

Tilia × europaea L.: ергазіофіт; п. ареал: Ц. Європа. – Чрг, смт Гончарівське, розсіяно вздовж доріг і в бору на околицях, спонтанно, молоді віргінільні особини, 22.09.2019.

Tilia platyphyllos Scop.: ергазіофіт; п. ареал: Субсередземномор'я. – Чрг, смт Гончарівське, пн-зх. окол., за 1 км, в бору біля просіки, спонтанно, велике доросле дерево (15 рр.) і кілька віргінільних особин, 22.09.2019 (КВНА).

Vitis riparia Michx.: ергазіофіт; п. ареал: Пн. Америка. – Жт.: Коростенський р-н: пн. окол.

с. Гладковичі, Гладковицьке л-во, біля колишнього лісового розсадника, 9.07.2020 (KW). – Зк., м. Мукачеве, схил Замкової гори, на чагарниках обабіч підйому, 27.10.2021.

Загалом наведено відомості про спонтанні і суб-спонтанні місцезнаходження 46 чужорідних таксонів, у т. ч. 3 таксонів на території Житомирської області, 5 – у Закарпатській, 1 – у Київській, 33 – у Львівській, 1 – у Рівненській та 7 – у Чернігівській.

Серед наведених спонтанних місцезнаходжень виділяються кілька груп таксонів за їх імміграційними шляхами. До залізниць приурочені: *Erucastrum gallicum*, *Lepidium virginicum*, *Senecio viscosus* та ще деякі види. Із автомобільними дорогами пов'язані заноси *Achillea pannonica*, *Androsace septentrionale*, *Atriplex oblongifolia* та деяких інших. Кілька ксенофітів субсередземноморського та степового походження уже широко розповсюджені по Україні, але їх поширення на заході та півночі країни перебуває на початковому етапі, як у *Phragmites altissimus* і *Sisymbrium volgense*.

Великою групою є дичавіючі ергазіофіти, серед яких представлені рослини на всіх етапах натуралізації та виходу за межі культури. Значна частина декоративно-паркових деревних рослин є характерним елементом спонтанного підросту у паркових ценозах, зокрема, види родів *Cornus*, *Philadelphus*, *Tilia* та ін. Ще більш активними є декоративні трав'яні ергазіофіти, які натуралізуються у великій кількості [8, 15, 18, 32, 33]. Деякі ергазіофіти менше схильні до натуралізації, але випадки їх самосіву важливі для подальшого моніторингу, зокрема, мова йде про *Cercis canadensis*, *Laburnum anagyroides*, *Thuja plicata* та ін.

Найбільш загрозливими є інвазійно-активні чужорідні рослини, серед яких виділяються ергазіофіти, зокрема: *Clematis vitalba*, *Cornus sanguinea* subsp. *australis*, види роду *Symphotrichum*, *Vitis riparia* та інші. Розповсюдження та наявність колоній таких видів потребують запровадження спеціальних заходів по стримуванню. Але важливими є і їх вчасне виявлення та ідентифікація, адже на початкових етапах вторгнення у місцеві екосистеми інвазійні види часто не привертають уваги. Крім того, фітоінвазії можуть супроводжуватися одночасним вторгненням комплексів близьких таксонів і їх гібридів, які важко розрізнити. Прикладами таких груп є *Cornus*, *Crataegus* [25, 29], *Philadelphus* [34], *Polygonum*, *Populus*, *Reynoutria* [30], *Symphotrichum* [35], *Tilia* та інші.

За географічним розподілом серед наведених таксонів 15 мають північноамериканське походження, а 11 – субсередземноморське. Висока частка таких видів у географічних спектрах адвентивних флор уже багаторазово підкреслювалася іншими дослідниками [16, 36, 37]. Помітними є частки чужорідних таксонів європейського (7) і східноазійського (6) походження. Звертає увагу, що серед представлених чужорідних рослин принаймні 4 є гібридами.

Головні висновки. Таким чином, представлені відомості суттєво доповнюють хорологію чужорідних видів у флорах західного та північного регіонів України. Наведені у публікації таксони за шляхами занесення та іншими характеристиками умовно поділяються на кілька усталених груп в межах адвентивної фракції, насамперед – ксенофіти та ергазиофіти. Серед нових і малопоширених чужорідних рослин деякі мають високий інвазійний потенціал, а за географічним розподілом серед них переважають таксони північноамериканського та субсередземноморського походження.

Перспективи використання результатів дослідження. Представлені відомості будуть цінними при узагальненні таксономічного складу адвентивних фракцій флор у західному та північному регіонах України, а також при вивченні хорології окремих таксонів. Крім того, в ході дослідження була очевидною незручна відсутність сучасних (або будь-яких) таксономічних списків багатьох регіональних флор і на наше переконання підготовка таких на рівні адміністративних областей України є надзвичайно актуальним завданням.

Література

1. Протопопова В.В., Мосякін С.Л., Шевера М.В. Фітоінвазії в Україні як загроза біорізноманіттю: сучасний стан і завдання на майбутнє. Київ, 2002. 32 с.
2. Протопопова В.В., Шевера М.В. Эргазиофиты – потенциальный резерв адвентивной фракции флоры. *Нетрадиционные, новые и забытые виды растений: теоретические и практические аспекты культивирования*: материалы 1 междунауч. конф. (Київ, 10-12.09.2013 г.). Київ, 2013. С. 99-101.
3. Чужорідні види флори України: роки і автори. Вип. 8 / упоряд. Р.І. Бурда, В.В. Протопопова, М.В. Шевера, О.О. Кучер, С.М. Конякін. Київ, 2021. 178 с.
4. Зав'ялова Л. Огляд методів дослідження адвентивних рослин. *GEO&BIO*. 2019. Vol. 18. P. 64–76. <https://doi.org/10.15407/gb1806>
5. Кодекс поведінки ботанічних садів та дендропарків України щодо інвазійних чужорідних видів / уклад. Р.І. Бурда, С.А. Приходько, А.А. Куземко, Н.О. Багрікова. Київ; Донецьк, 2014. 20 с.
6. Сичак Н.М. Нові локалітети деяких адвентивних видів рослин у Івано-Франківській області. *Наукові основи збереження біотичної різноманітності*. 2012. Т. 3 (10), № 1. С. 111-122.
7. Mosyakin S.L., Mosyakin A.S. Lockdown botany 2020: some noteworthy records of alien plants in Kyiv City and Kyiv Region. *Український ботанічний журнал*. 2021. Т. 78, № 2. С. 96–111. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj78.02.096>
8. Чорна Г.А., Коструба Т.М. Аматорське квітникарство та фітоінвазії. *Синантропізація рослинного покриву України*: матеріали III всеукр. наук. конф. (Київ, 26-27.09.2019 р.). Київ, 2019. С. 175-179.
9. Ткачик В.П. Флора Прикарпаття. Львів, 2000. 254 с.
10. Чопик В.І., Федорончук М.М. Флора Українських Карпат. Тернопіль, 2015. 712 с.
11. Шевера М.В., Протопопова В.В., Томенчук Д.С., Андрик Є.Й., Кіш Р.Я. Перший в Україні офіційний регіональний список інвазійних видів рослин Закарпаття. *Вісник НАН України*. 2017. № 10. С. 53–61.
12. Баточенко В.М., Юречко Р.Ю. Заносні види рослин на заході Поділля. *Вісті Біосферного заповідника «Асканія-Нова»*. 2019. Т. 21. С. 423-425.
13. Кузярін О.Т. Нові адвентивні види судинних рослин для Львівської області. *Наукові записки Державного природознавчого музею*. Львів, 2012. Вип. 28. С. 143-144.
14. Сичак Н.М., Кагало О.О. Доповнення до флори Львівської області (рівнинна частина). *Наукові основи збереження біотичної різноманітності*. 2010. Т. 1 (8), № 1. С. 173-196.
15. Баранський А.Р., Дубовик Д.В., Зав'ялова Л.В., Орлов А.А., Панченко С.М., Савчук С.С. Адвентивний компонент флори Полесья: Black List фітоінвазій. *Проблеми раціонального використання природних ресурсів і устойчивое развитие Полесья*: сборник докл. междунауч. конф. (Минск, 14–17.09.2016). Минск, 2016. Т. 2. С. 188–192.
16. Зав'ялова Л.В. Урбанові флора Чернігова: дис. ... канд. біол. наук: 03.00.05. Київ, 2011. 289 с.
17. Лукаш О.В. Флора судинних рослин Східного Полісся: історія дослідження, конспект. Київ: Фітосоціоцентр, 2008. 436 с.
18. Орлов О.О. Сучасні тренди адвентивізації флори Житомирського Полісся. *Синантропізація рослинного покриву України*: матеріали 3 всеукр. наук. конф. (Київ, 26-27.09.2019 р.). Київ, 2019. С. 123-127.
19. Шиндер О.І., Дойко Н.М., Глухова С.А., Михайлик С.М., Неграш Ю.М. Нові відомості про флору інтродукційних установ міст Києва і Білої Церкви (Київська область). *Чорноморський ботанічний журнал*. 2022. Т. 18, № 1. С. 25–51. <https://doi.org/10.32999/ksu1990-553X/2022-18-1-2>
20. Pyšek P., Richardson D.M., Rejmánek M., Webster G.L., Williamson M., Kirschner J. Alien plants in checklists and floras: towards better communication between taxonomists and ecologists. *Taxon*. 2004. Vol. 53, N 1. P. 131-143. <https://doi.org/10.2307/4135498>
21. Thellung A. Zur Terminologie der Adventiv- und Ruderalfloristik. *Allgemeine botanische Zeitschrift für Systematik, Floristik, Pflanzengeographie etc. Karlsruhe*. 1922. Issue 24/25, Jahrgang 1918/19(issue 9–12). P. 36–42.
22. Чорна Г.А., Шиндер О.І., Коструба Т.М. Доповнення до переліку видів спонтанної флори Національного дендрологічного парку «Софіївка» (м. Умань). *Чорноморський ботанічний журнал*. 2021. Т. 17, № 4. С. 302-315. <https://doi.org/10.32999/ksu1990-553X/2021-17-4-1>
23. Шиндер О.І. Спонтанна флора Національного ботанічного саду імені М.М. Гришка НАН України (м. Київ). Повідомлення 2. Методологічні проблеми і критерії виділення адвентивних ергазиофітів в умовах інтродукційного осередку. *Інтродукція рослин*. 2019. № 2. С. 3–16. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3240995>
24. Mosyakin S.L., Boiko G.V., Glukhova S.A. *Artemisia verlotiorum* (Asteraceae) in the continental part of Ukraine: now in Kyiv. *Український ботанічний журнал*. 2019. Т. 76, № 1. С. 3–8. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj76.01.003>

25. Нікітчук О.В. Особливості поширення *Crataegus ucrainica* (Rosaceae) в Україні. *Рідкісні рослини і гриби України та прилеглих територій: реалізація природоохоронних стратегій: матеріали 4 міжнар. конф.* (Київ, 16-20.05.2016 р.). Київ, 2016. С. 107-108.
26. Шевчик В.Л., Нікітчук О.В., Шевчик Т.В., Соломаха В.А. Нове місцезнаходження *Crataegus ucrainica* (Rosaceae) в дельті р. Рось. *Український ботанічний журнал*. 2016. Т. 73, № 2. С. 158–162. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj73.02.158>
27. Шиндер О.І., Шевчик В.Л. Доповнення до флори Ржищівської МОТГ. *Наукові праці Екологічної дослідницької станції «Глибокі Балики». Біорізноманіття Ржищівської міської територіальної громади*. Вип. 2. Чернівці, 2022. С. 22-44.
28. Протопопова В.В., Мосякін С.Л., Шевера М.В. *Lepidium virginicum* L. – новий адвентивний вид флори України. *Український ботанічний журнал*. 1994. Т. 51, № 2-3. С. 225-227.
29. Орлов О.О., Шиндер О.І., Воробйов Є.О., Гриб О.В. Нові флористичні знахідки у лісостеповій частині Житомирської області. *Український ботанічний журнал*. 2022. Т. 79, № 1. С. 6–26. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj79.01.006>
30. Шевера М.В. *Reynoutria × bohemica* (Polygonaceae) – потенційно інвазійний вид у флорі України. *Український ботанічний журнал*. 2017. Т. 74, № 6. С. 548-555. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj74.06.548>
31. Давидов Д.А. Доповнення до списку видів судинних рослин спонтанної флори Лівобережного Лісостепу України. *Український ботанічний журнал*. 2021. Т. 78, № 1. С. 23–31. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj78.01.023>
32. Коструба Т.М., Чорна Г.А. Потенційно інвазійні декоративні види Asteraceae в Україні. *Збереження рослин у зв'язку зі змінами клімату та біологічними інвазіями: матеріали міжнар. наук. конф.* (31.03.2021 р.). Біла Церква, 2021. С. 205-208.
33. Чорна Г.А. Інвазія квітково-декоративних інтродуцентів в долини річок лісостепу України. *Биологический вестник*. Харьков, 2006. Т. 10, № 2. С. 49-51.
34. Hořka P. Taxonomic composition of the genus *Philadelphus* sp. in the Mlyňany Arboretum SAS and its presentation. *Thaiszia*. 2011. Issue 21. P. 131-139.
35. Зав'ялова Л., Корнієнко О. Про видовий склад родів *Solidago* L. і *Symphotrichum* Nees (Asteraceae) у флорі України. *Materials of the International sciences conference «Natural resources of boarder areas under a changing climate»* (Chernihiv, September 27–29, 2017). Desna, 2017. P. 36–37.
36. Бурда Р.І., Тохтарь В.К. Загроза біологічного забруднення довкілля України північноамериканськими видами. *Український ботанічний журнал*. 1998. Т. 55, № 2. С. 127-132.
37. Protopopova V. The Mediterranean element of the alien flora of Ukraine. *Anthropization and environment of rural settlements. Flora and Vegetation: V International Conference* (Uzhgorod & Kostryno, Ukraine, May 16–18, 2002). Kyiv, 2006. P. 190-203.

ЗМІНА КЛІМАТУ

УДК 631.175: 551.584

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.5-44.38>

АГРОКЛІМАТИЧНІ АСПЕКТИ ПРОДУКТИВНОСТІ СОНЯШНИКА ОДЕЩИНИ В УМОВАХ ПОТЕПЛІННЯ КЛІМАТУ

Польовий А.М., Божко Л.Ю., Барсукова О.А.

Одеський державний екологічний університет

вул. Львівська 15, 65016, м. Одеса

apolevoy@te.net.ua, bozko@i.ua, lena5933@ukr.net

Виконана оцінка зміни агрокліматичних умов вирощування соняшника на Одещині в умовах потепління клімату. Оцінка виконувалась шляхом порівняння середніх багаторічних агрокліматичних показників за період 1986-2005рр. з такими показниками за період 2000-2021рр. по агрокліматичних районах Одеської області. Встановлено, що 1 – що для усіх агрокліматичних районів Одещини характерна позитивна тенденція динаміки врожайності. Хоча в окремі роки під дією агрометеорологічних факторів спостерігались велика мінливість врожайності соняшника. Інтервал коливання врожаю по агрокліматичних зонах становить відповідно 2,2, 1,8 та 1,3 т/га. Встановлено, що незважаючи на рівень культури землеробства, залежність врожаю соняшнику від кліматичних умов залишається досить значною. Порівняння агрокліматичних показників за період 1985-2005рр. з показниками за період з 2000 року по 2021 рр. показало, що тривалість періоду з температурою повітря вище 10 °C суттєво не змінилась, а суми температур відчутно зросли тільки в третьому агрокліматичному районі. Зате відчутно зменшилась сума опадів в усіх районах майже на 17%, що призвело до зменшення коефіцієнту зволоження ГТК Селянінова на 0.1-0.2 відн. од., що свідчить про підвищення посушливості території області, отже зросла і імовірність суворої атмосферної засухи. Протягом вегетаційного періоду соняшника на території області спостерігаються від 14 до 20 днів з суховіями різної інтенсивності, а в окремі роки кількість днів із сухими досягала 40-43. В Одеській області найбільший вплив на врожайність соняшника мають сонячна радіація, температура повітря та суми опадів не тільки впродовж вегетаційного періоду, а і між фазний період «утворення суцвіть – цвітіння». Найтісніший зв'язок урожаїв соняшника спостерігається з $\sum T_a$ у III-й агрокліматичній зоні. Спостерігається тенденція збільшення врожаю зі збільшенням кількості опадів протягом між фазного періоду «утворення суцвіть-цвітіння». Також існує тісний зв'язок урожаю соняшника з волого споживанням за вегетаційний період.

Виконана оцінка формування агроекологічних рівнів врожаїв соняшнику і розраховані коефіцієнти сприятливості клімату (K_c) та ефективності його використання (K_e) для вирощування соняшника в Одеській області. Сприятливість клімату знижується в напрямку з півночі на південь області, а K_c становить 0,6 і 0,4. Коефіцієнт використання природних ресурсів зменшується у цьому ж напрямку. Це свідчить про те, що в агрокліматичних умовах Одеської області можливе зростання рівня врожаїв соняшника за умови впровадження новітніх технологій вирощування, раціонального розміщення сортів різної скоростиглості з урахуванням агрокліматичного районування. *Ключові слова:* агрометеорологічні фактори, потепління клімату, мінливість врожаю, соняшник.

Agroclimatic aspects of sunflower productivity in odesa region in conditions of climate warming. Polevoy A., Bozhko L., Barsukova E.

This study provides assessment of changes in the agroclimatic conditions of sunflower cultivation in Odesa region under conditions of climate warming. The assessment was carried out by comparing the average multi-year agroclimatic indicators for the period 1986-2005 with respective indicators for the period 2000-2021 in the agro-climatic districts of the Odesa region. It was established that all agro-climatic regions of Odesa are characterized by a positive trend in yield dynamics. Although in some years, under the influence of agrometeorological factors, a large variability of sunflower yield was observed. The interval of yield fluctuation by agro-climatic zones is 2.2, 1.8 and 1.3 t/ha, respectively. It was established that despite the level of agricultural culture, the influence of climatic conditions on the sunflower harvest remains quite significant. Comparison of agroclimatic indicators for the period 1985-2005 with indicators for the period from 2000 to 2021 showed that the duration of the period with an air temperature above 10 °C did not change significantly, and the total temperatures increased significantly only in the third agro-climatic district. However, the amount of precipitation in all areas decreased significantly by almost 17%, which led to a decrease in the moisture coefficient of the Selyaninov HTC by 0.1-0.2 relative. units, which indicates an increase in the aridity of the region's territory, so the probability of a severe atmospheric drought has also increased. During the sunflower growing season in the region, 14 to 20 dry days of varying intensity are observed, and in some years the number of dry days reached 40-43. In the Odesa region solar radiation, air temperature, and precipitation have the greatest influence on sunflower yield not only during the growing season, but also during the interphase period of "formation of inflorescences – flowering." The closest connection of sunflower crops is observed with $\sum T_a$ in the III agro-climatic zone. A tendency was observed to increase the yield with an increase in the amount of precipitation during the interphase period of "formation of inflorescences-flowering". There is also a close relationship between sunflower yield and wet consumption during the growing season.

The assessment of the formation of agroecological levels of sunflower crops was carried out and the coefficients of climate favorability (K_b) and the efficiency of its use (K_e) for sunflower cultivation in the Odesa region were calculated. Climate favorability decreases in the direction from north to south in the region, and K_b is 0.6 and 0.4. The coefficient of use of natural resources decreases in the same

direction. This indicates that in the agro-climatic conditions of the Odesa region, it is possible to increase the level of sunflower yields, provided that the latest cultivation technologies are implemented, and the rational placement of varieties of different precociousness, that takes into account the agro-climatic zoning. *Key words*: agrometeorological factors, climate warming, crop variability, sunflower.

Постановка проблеми. Серед польових олійних культур соняшник є однією з найбільш економічно вигідних для вирощування в Степовій зоні України культур. Соняшник є провідною олійною культурою в Україні. Насіння сучасних високо олійних сортів містить 50-55% олії (на абсолютно суху масу насіння) і біля 20% білка. На сьогоднішній день Україна є одним із лідерів у виробництві та експорті соняшникової олії у світі. Зростаючий попит на соняшкову олію провокує до збільшення кількості посівних площ під цю культуру. За два роки площа посівів соняшника збільшилася майже у два рази [1, 2]. Одещина входить до переліку областей, де вирощується соняшник на великих площах. Незважаючи на великі площі посівів соняшнику в Одеській області його господарські врожаї залишаються значно нижчими біологічних можливостей сучасних сортів. Це пояснюється недотримання технологій вирощування, недостатнім або несвочасним внесенням добрив, впливом в окремі роки екстремальних значень лімітуючих факторів клімату, недостатнім вивченням впливу агрокліматичних факторів на продуктивність культури [4, 5]. Середня врожайність насіння соняшника в Україні за останні роки становить 16-18 ц/га. В господарствах де соняшник вирощують за прогресивними технологіями отримують по 30 центнерів і більше з гектара, а при умовах зрошення 38.7- 40 ц/га [6, 9].

Мета та методи дослідження. Мета дослідження полягає в оцінці мінливості врожаїв соняшника по території Одеської області, кількісній оцінці динаміки урожаїв у господарствах в різних районах області, виявленню географічних особливостей розподілу основних показників росту рослин і формування врожайності в умовах потепління клімату. Для дослідження використані багаторічні дані спостережень метеорологічних станцій Одеської області за метеорологічними елементами та агрометеорологічними спостереженнями за розвитком і продуктивністю соняшників за період з 2000 по 2021 рік, матеріали Агрокліматичного довідника Одеської області за період 1986 – 2005 роки [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найбільш фундаментальними роботами що до дослідження біологічних особливостей соняшника, його вимог до навколишнього середовища, агротехніки вирощування і селекції сортів є роботи Пустовойта В.С., виконані наприкінці минулого сторіччя. Подальші дослідження присвячувались виведенню нових сортів соняшника з більшим вмістом олії в насінні [10, 11, 12]. Виведено численні сорти, що відрізняються один від одного розміром суцвіт'я-кошиків та вмістом олії в насінні. Наприкінці минулого століття та на початку поточного розвивалися дослі-

дження формування врожайності насіння та накопичення олії в ньому [13, 14]. Особливою метою дослідників стало підвищення стійкості рослин соняшника до хвороб та створення нових характеристик які розроблялись для ринків кондитерських виробів або олійних культур [15, 16]. В останні роки пошук все більш різноманітної кількості цільових характеристик став причиною розробки різних технологій вирощування соняшника. Так підвищилось використання геноміки, для ідентифікації генних маркерів для бажаних ознак. Хоча генетична структура соняшнику досить складна в порівнянні з ріпаком і рисом, відбір за допомогою маркера починає виявляти гени-кандидати для поліпшення культури соняшника [11, 14].

Дослідниками встановлено, що підвищення продуктивності соняшника показує, як селекціонери продовжували гібридизувати сучасне рослина протягом останніх трьох десятиліть. І як врожайність покращилася, незважаючи на появу нових важливих факторів, які вплинули на те, які характеристики стали головними [17, 18, 19]. Чимало досліджень присвячено освітленню геліотропних особливостей соняшника та характеристики формування лікарських властивостей рослин [22, 23, 24, 25].

Проблеми зміни клімату також переорієнтували селекційні зусилля на вирощування рослин, які краще працюють в умовах посухи. Наприклад, були обрані змінні форми кошиків для боротьби з сонячними опіками, ушкодженнями птахів і хворобами, були створені гібриди з більш високим врожаєм і олійністю, підвищеною стійкістю до таких хвороб, як несправжня борошниста роса, підвищеною посухостійкістю [20, 21, 26].

Виклад основного матеріалу. Провідною умовою для збільшення виробництва рослинної продукції та підвищення ефективності культури землеробства є не лише застосування сучасних технологій, а також активне використання інформації про кліматичні та агрокліматичні ресурси на території їх вирощування. Така інформація необхідна для забезпечення правильного вибору сортів, що забезпечуватимуть найвищі врожаї за даних кліматичних умов, для планомірного проведення польових робіт, для оцінки умов та розвитку сільськогосподарських культур та прогнозування обсягів виробництва.

За даними спостережень за 1986 – 2005 роки на території Одеської області за агрокліматичними показниками виділено три агрокліматичні райони [3]. Для вияву впливу потепління на агрокліматичні показники була проведена порівняльна агрокліматична оцінка цих показників з показниками за період з 2000 по 2021 рр. (табл. 1).

Як видно із табл. 1 в період з 2000 року по 2021 рік тривалість періоду з сумами температур

Таблиця 1

Середні значення агрокліматичних показників в Одеській області за два календарні періоди: 1 -1986-2005рр.; 2 – 2000 – 2021рр.

Агрокліматичні райони	Арокліматичні показники за період з температурою повітря вище 10 °С							
	тривалість періоду (дні)		суми температур, °С		кількість опадів (мм)		ГТК (відн. од)	
	1	2	1	2	1	2	1	2
I. Помірного тепло-за-безпечення, недостатнього зволоження	≤185	≤179-181	≤3200	3200-3250	≥360	≤300	1,0	0,9
II. Високого рівня теплозабезпечення, посушливий	185-195	187-195	3231-3500	3250-3500	331-360	297-300	0,8-0,9	0,72-0,76
III. Високого рівня тепло забезпечення, дуже посушливий	≥195	≥198	≥3500	3600	≤330	256-297	≤0,8	0,70-0,69

Таблиця 2

Врожаї насіння соняшника по агрокліматичних зонах Одеської області, (т/ га)

Роки	Агрокліматична зона			Роки	Агрокліматична зона		
	I	II	III		I	II	III
2001	0,65	0,70	1,20	2013	2,70	0,88	2,10
2002	1,26	0,85	1,17	2014	2,73	1,33	1,90
2003	1,40	1,10	1,10	2015	2,50	1,05	1,34
2004	0,50	0,85	1,00	2016	1,20	0,80	1,26
2005	0,87	1,26	1,60	2017	1,80	1,75	1,96
2006	1,27	1,34	1,90	2018	2,19	1,74	1,52
2007	0,72	0,80	0,80	2019	1,50	1,63	1,60
2008	2,05	1,32	1,86	2020	1,80	2,10	1,70
2009	2,70	0,88	2,10	Середній	1,48	1,21	1,40
2010	2,73	1,33	1,90	Найменший	0,50	0,60	0,80
2011	2,50	1,05	1,34	Найбільший	2,70	2,40	2,10
2012	1,20	0,80	1,26				

вище 10 °С суттєво не змінилась, а суми температур відчутно зросли тільки в третьому агрокліматичному районі. Зате відчутно зменшилась сума опадів в усіх районах майже на 50-60 мм (17%), що призвело до зменшення коефіцієнта зволоження ГТК Г.Т. Селянінова, тобто посушливість території області зросла, зросла і імовірність суворості атмосферної засухи, яка часто поєднуються з ґрунтовою, під час активної вегетації сільськогосподарських культур. Протягом вегетаційного періоду на території області спостерігаються від 14 до 20 днів із суховіями різної інтенсивності, а в окремі роки кількість днів із сухими досягала 40-43.

Підвищення посушливості клімату і підвищення температури повітря змінює агрокліматичні умови формування врожаїв соняшника. Як видно із табл. 2, щорічні врожаї соняшника по агрокліматичних районах Одещини неоднакові і коливаються в значних межах. Дослідження динаміки врожайності по районах (табл. 2) і ліній трендів дозволили зробити висно-

вок, що для I-ї агрокліматичної зони рівень врожаю змінювався від 0,5 до 2,7 т/га; для другої та третьої екстремальні значення врожайності становлять 0,6-2,4 та 0,8-2,1 відповідно. Інтервал зміни врожаю становить 2,2, 1,8 та 1,3 т/га відповідно для I-ї, II-ї та III-ї агрокліматичної зони Одеської області.

Слід зазначити, що простежується різке зниження врожайності соняшника в 2004, 2007, 2012 роках, та підвищення у 2006, 2008-2010, 2013 роках і у 2018 роках. Збіг тенденцій врожайності по всіх кліматичних зонах в даних роках свідчить про особливі метеорологічні умови цих років. Крім того, у переважній більшості років в третій агрокліматичній зоні врожаї дещо вищі, ніж у першій та другій.

До основних метеорологічних елементів, що мають безпосередній вплив на формування врожаю соняшника відносяться сонячна радіація, волога, тепло. Були виконані розрахунки радіаційно – теплових ресурсів I, II, та III агрокліматичної зони Одеської області (табл. 3). З таблиці 3 видно, що сума серед-

ньодобових температур повітря вище 10°C, як і тривалість теплового періоду при $T > 10^\circ\text{C}$ збільшуються з першого до третього агрокліматичного району.

Для визначення ступеня забезпеченості соняшника радіаційними ресурсами були розраховані біологічні суми сумарної і фотосинтетичної активної радіації за період активної вегетації соняшнику від сівби додати повної стиглості.

Порівняння кліматичних сум ФАР теплового періоду з біологічними значеннями цього показника дає можливість стверджувати, що в Одеській області можливе отримання врожаїв як ранньостиглих, так і пізньостиглих сортів соняшника (табл. 4).

Аналіз статистичних залежностей врожаїв соняшника з різними агрокліматичними показниками по агрокліматичних районах Одеської області показав, що залежність врожаю насіння соняшника від температури збільшується з півночі на південь. Так коефіцієнт кореляції в першій агрокліматичній зоні становить 0,24, 2-й – 0,42, а у 3-й – він збільшується до 0,62. Це пов'язано з комплексним впливом інших складових урожаю на формування продуктивності соняшника.

Слід зазначити, що оптимальна температура для соняшника під час цвітіння становить 20-22°C, а для періоду наливу насіння – 23-25°C. Температура повітря вище 28°C пригнічує ріст рослини, а більше 30°C згубно діє на пилок. Зважаючи на те, що під час проходження фази розвитку цвітіння-дозрівання різко зменшується середньостатистична кількість опадів негативний вплив температури підвищується, особливо в III-й агрокліматичній зоні.

Згідно з дослідженнями Л.В. Фадєєва [14] температура вище 28°C пригнічує ріст соняшника. Впродовж вегетаційного періоду соняшника в Одеській області така температура повітря спостерігається часто. Однак ступінь впливу високих температур значною мірою залежить також від режиму зволоження території.

За даними досліджень [1, 4, 6] впродовж вегетаційного періоду соняшника спостерігається два критичних періоди по відношенню до вологи: 1 – сівба – сходи, 2 – утворення суцвіть цвітіння. Однак слід зазначити, що зволоженість періоду від сівби до сходів залежить більшою мірою від накопичення вологи за осінньо-зимово – весняний період. Тому зіставлення врожаїв соняшника з кількістю опадів, що випали у фазу «сівба-сходи» не підтвердило тісного кореляційного зв'язку з врожаєм. Коефіцієнт кореляції варіюється від 0,2 до 0,3.

Наступним критичним періодом в формуванні врожаю соняшника є фаза утворення суцвіття-цвітіння. Статистична залежність урожаїв соняшника від сум опадів за цей період характеризується значимими величинами коефіцієнтів кореляції, числове значення яких зростає від 0,43 в першому агрокліматичному районі до 0,81 в третьому агрокліматичному районі.

За даними [20] врожай соняшника в посушливих районах значною мірою залежить від загальної суми опадів за поза вегетаційний період, сум опадів вегетаційного періоду і сум температур за вегетаційний період. Тобто від сумарного водоспоживання за вегетаційний період. Статистична залежність врожаю соняшника від сумарного водоспоживання (E_{ϕ}) в Одеській області описується рівнянням $Y = 2,62 + 0,049 E_{\phi}$ і характеризується коефіцієнтом кореляції $0,78 \pm 0,01$.

Таким чином, узагальнюючи все сказане вище, можна зробити висновок, що в усіх агрокліматичних районах Одеської області урожаї соняшника є функцією по перше біологічних особливостей, по друге – агротехніки вирощування і по-третє – умов тепло і волого забезпечення території. За термічними умовами найсприятливіший для формування високих врожаїв є третій агрокліматичний район, за умовами зволоження – перший.

Аналіз річної мінливості врожаїв соняшника в Одеській області свідчить про те, що їх рівень

Таблиця 3

Радіаційно-теплові ресурси за період з $T > 10^\circ\text{C}$ в різних агрокліматичних районах Одеської області

Агрокліматичний район	ΣQ , МДж/м ²	ΣQ_{ϕ} , МДж/м ²	ΣS_c , години	ΣT_c , °C	$N_{\text{тп}}$, дні
I	3120	1560	1370	2920	179
II	3290	1645	1530	3200	187
III	3522	1765	1718	3600	198

Примітка: ΣQ , МДж/м² – сумарна сонячна радіація; ΣQ_{ϕ} , МДж/м² – фотосинтетична радіація; ΣS_c , години – тривалість сонячного саява, ΣT_c , °C – сума температур вище 10 °C; $N_{\text{тп}}$, дні – тривалість періоду з температурою повітря вище 10 °C.

Таблиця 4

Забезпеченість соняшника радіаційними ресурсами протягом вегетаційного періоду

Агрокліматичний район	За $N_{\text{тп}}$ з $T_c > 10^\circ\text{C}$					За $N_{\text{вп}}$ з $T_c > 10^\circ\text{C}$				
	D_v	D_o	$N_{\text{тп}}$	ΣQ	ΣQ_{ϕ}	$D_{\text{сів}}$	$D_{\text{стигл}}$	$N_{\text{вп}}$	ΣQ_6	$\Sigma Q_{\phi 6}$
I	17.IV	13.X	179	3120	1560	21.IV	16.VIII	119	2476	1250
II	13.IV	17.X	187	3290	1645	19.IV	12.VIII	113	2530	1277
III	09.IV	24.X	198	3522	1765	17.IV	11.VIII	112	2630	1328

значно нижче біологічних можливостей сучасних сортів. Для визначення недобору врожаїв соняшника використовувалось фізико-статистична модель «клімат-урожай» Х.Г. Тоомінга [21]. За моделлю розраховувались два агроекологічні рівні врожаю – потенційний врожай і дійсно можливий.

За результатами розрахунків стало можливим дати кількісну оцінку і потенційним та дійсно можливим врожаєм соняшника в трьох агрокліматичних районах Одеської області за різними значеннями коефіцієнта використання ФАР (табл. 5).

Як видно із табл. 5 величина потенційного врожаю соняшника зростає в усіх агрокліматичних зонах в 3 рази із збільшенням ККД використання ФАР від 1% до 3% (у першій агрокліматичній зоні від 45 до 134 ц/га, а в третій від 48 до 143 ц/га). Величина дійсно можливого врожаю соняшника ($Y_{\text{дм}}$) при просуванні на південь зменшується через зростання посушливості клімату. При ККД використання ФАР рівному 1% і 2% на півночі (в першій агрокліматичній зоні) $Y_{\text{дм}}$ становить 25 і 50 ц/га, а на півдні (в 3 агрокліматичній зоні) – до 20 і 40 ц/га.

Розрахунки потенційного, дійсно можливого врожаю соняшника та їх порівняння з урожаєм у виробництві дало можливість розрахувати коефіцієнти сприятливості клімату ($K_{\text{к}} = Y_{\text{пм}} - Y_{\text{дм}}$), та коефіцієнт ефективності використання кліматичних ресурсів ($K_{\text{е}} = Y_{\text{дм}} - Y_{\text{в}}$). Розрахунки показників виконанні для всіх агрокліматичних районів області при η рівному 1, 2, 3% (табл. 6). З табл. 6 видно, що при вирощуванні соняшника в посушливих умовах недобір врожаю ($Y_{\text{пм}} - Y_{\text{дм}}$) становить при η 1, 2% відповідно 20 і 27 ц/га, 40 і 55 ц/га.

Коефіцієнт ефективності використання ресурсів клімату ($K_{\text{е}}$) зменшується від I-ї агрокліматичної зони до третьої і при η рівному 1, 2% становить в першому та другому агрокліматичних районах 0,6-0,3, а в третьому 0,7-0,2.

Порівняння теоретичних врожаїв з виробничими ($Y_{\text{в}}$) показали, що в даний час при вирощуванні соняшника в межах Одеської області ККД використання ФАР знаходиться на рівні 0,6-0,7%. Таким чином є досить значний резерв для отримання більш високих врожаїв насіння соняшника відповідно до біологічного потенціалу досліджуваної території.

За даних умов цілком можливе підвищення ККД використання посівами до двох-трьох відсотків за рахунок введення посухостійких і більш урожайних сортів та раціонального їх розміщення з урахуванням місцевих особливостей клімату, вдосконалення технології обробітку, а в південних районах – і зрощення сільськогосподарських полів.

Головні висновки. За результатами дослідження можна зробити такі висновки: 1 – що для усіх агрокліматичних районів Одещини характерна позитивна тенденція динаміки врожайності. Хоча в окремі роки під дією агрометеорологічних факторів спостерігались велика мінливість врожайності соняшника. Інтервал коливання врожаю по агрокліматичних зонах становить відповідно 2,2, 1,8 та 1,3 т/га. Встановлено, що незважаючи на рівень культури землеробства, залежність врожаю соняшнику від кліматичних умов залишається досить значною. Порівняння агрокліматичних показників за період 1985-2005 рр. з показниками за період з 2000 року по 2021 рр. показало, що тривалість періоду з температурою повітря вище 10 °C суттєво не змінилась, а суми температур відчутно зросли тільки в третьому агрокліматичному районі. Зате відчутно зменшилась сума опадів в усіх районах майже на 17% що призвело до зменшення коефіцієнту зволоження ГТК Селянінова на 0.1-0.2 відн. од., що свідчить про підвищення посушливості території області, отже зросла і імовірність суворої атмосферної засухи. Протягом вегетаційного періоду соняшника на території області спостерігаються від 14 до 20 днів з сухо-

Таблиця 5

Агрокліматична оцінка агроекологічних категорій врожаїв соняшнику (ц/га) в Одеській області

Агроклімат. район	$\Sigma Q_{\text{фб}}$, МДж/м ²	$Y_{\text{пм}}$ при η , %				$E_{\text{ф}}/E_{\text{о}}$	$Y_{\text{дм}}$ при η , %			
		0,5	1,0	2,0	3,0		0,5	1,0	2,0	3,0
I	1250	22	45	90	134	0,55	12	25	50	74
II	1277	23	46	91	137	0,45	11	21	41	62
III	1328	24	48	95	143	0,43	10	20	40	61

Примітка. $\Sigma Q_{\text{фб}}$, МДж/м²- надходження ФАР; η , % – коефіцієнт використання ФАР; $E_{\text{ф}}/E_{\text{о}}$ - вологозабезпеченість посівів, відн. од.

Таблиця 6

Оцінка ступеня сприятливості клімату та ефективності його використання в Одеській області

Агрокліматичний район	$Y_{\text{в}}$	$(Y_{\text{пм}} - Y_{\text{дм}})$ при η , %			$(Y_{\text{дм}} - Y_{\text{в}})$, при η , %			$K_{\text{е}}$ при η , %			$K_{\text{е}}$ при η , %
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
I	14,8	20	40	60	5	25	45	0,6	0,3	0,2	0,6
II	12,1	25	50	75	13	38	63	0,6	0,3	0,2	0,5
III	14	27	55	82	13	41	68	0,7	0,4	0,2	0,4

віями різної інтенсивності, а в окремі роки кількість днів із сухими досягала 40-43.

2 – встановлено, що найбільший вплив на врожайність соняшника мають сонячна радіація, температура повітря та суми опадів не тільки впродовж вегетаційного періоду, а і між фазний період «утворення суцвіть – цвітіння». Найтісніший зв'язок урожаїв соняшника спостерігається з $\sum T_a$ у III-й агрокліматичній зоні. Спостерігається тенденція збільшення врожаю зі збільшенням кількості опадів протягом між фазного періоду «утворення суцвіть-цвітіння». Також існує тісний зв'язок урожаю соняшника з волого споживанням за вегетаційний період.

3 – виконана оцінка формування агроєкологічних рівнів врожаїв соняшнику і розраховані коефіцієнти сприятливості клімату (K_c) та ефективності його використання (K_e) для вирощування соняшника

в Одеській області. Сприятливість клімату знижується в напрямку з півночі на південь області, а K_e становить 0,6 і 0,4. Коефіцієнт використання природних ресурсів зменшується у цьому ж напрямку. Це свідчить про те, що в агрокліматичних умовах Одеської області можливе зростання рівня врожаїв соняшника за умови впровадження новітніх технологій вирощування, раціонального розміщення сортів різної скоростиглості з урахуванням агрокліматичного районування.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження можуть бути використані при вирощуванні соняшника в умовах зрошення. Крім того, отримані статистичні залежності врожаїв від різних показників можуть використовуватись при розробці методів прогнозування очікуваних врожаїв соняшника з різною завчасністю.

Література

1. Ткалич І.Д., Ткалич Ю.І., Рычик С.Г. Цветок солнца (основы биологии и агротехники подсолнечника) : монография. Днепропетровск, 2011. 172 с.
2. Соняшник однорічний / Лікарські рослини : енциклопедичний довідник; за ред. А. М. Гродзінського. Київ : Видавництво «Українська Енциклопедія» ім. М. П. Бажана, Український виробничо-комерційний центр «Олімп», 1992. 411 с.
3. Агрокліматичний довідник по Одеській області (1986-2005 рр.) / М-во надзвичайних ситуацій України; Гідрометеорологічний центр Чорного та Азовського морів; за ред. В.М. Ситова, Т.І. Адаменко. Одеса : Астропрінт, 2011. 204 с.
4. Олейнікова О. М. Соняшник. Садові декоративні рослини. Харків : «Веста», 2010. 77 с.
5. Соняшник / Універсальний словник-енциклопедія. 4-те вид. Київ : Тека, 2006. 236 с.
6. Зинченко А. И., Салатенко В. Н., Билоножко Н. А., Растениеводство. Київ : Аграрное образование. 2003. 432 с.
7. Борисов М.И. Лекарственные свойства сельскохозяйственных растений. Мінськ, 1974. 174 с.
8. Все о лекарственных растениях на ваших грядках / Ред. Раделова С. Ю. СПб. : ТОВ «СЗКЕО», 2010. 184 с. ISBN 978-5-9603
9. Рослинництво : підручник / В.Г. Влох, С.В. Дубковецький, Г.С. Кияк, Д.М. Онищук; за ред. В.Г. Влоха. Київ : Вища школа. 2005. 382 с.
10. Рослинництво / Каленська О.Я., Шевчук М.Я., Дмитришак О.М., Козяр Г.І.; за ред. О.Я. Шевчука. Київ : НАУ, 2005. 502 с.
11. Основи наукових досліджень в агрономії : підручник / В.О. Єщенко, П.Г. Копитко, В.П. Опришко, П.В. Костогриз; за ред. В.О. Єщенко. Київ : Дія, 2005. 288 с.
12. Технологія вирощування соняшника. http://agrosp.kiev.ua/tehnologiya_vyiraschivaniya_podsolnechnika.html.
13. Лихочвор В.В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур. 2-е видання, виправлене. Київ : Центр Навчальної літератури, 2004. 808 с.
14. Фадеев Л. В. Подсолнечник Украины сегодня и завтра. Agro.imperija.com.
15. Шпаар Д., Адам Л., Гинапп Х. и др.; Яровые масличные культуры / под общ. ред. В.А. Щербакова. Минск : ФУА информ, 1999. 288 с.
16. Щербаков В.А. Технология выращивания подсолнечника. Яровые масличные культуры. Agromage.com.
17. Мищенко З.А., Кирнасовская Н.В. Региональная агроклиматическая оценка продуктивности подсолнечника на основе моделирования в Украине. Метеорологія, кліматологія і гідрологія. 2002. Вып. 46. С. 179-190.
18. Кирнасівська Н.В. Землеробство та рослинництво : конспект лекцій. Одеса : „Екологія”, 2008. 283 с.
19. Польовий А.М. Сільськогосподарська метеорологія : підручник. Одеса. ТЕС, 2012. 612 с.
20. Польовий А.М., Божко Л.Ю., Адаменко Т.І. Агрометеорологічні прогнози : підручник. Харків, 2017. 508 с.
21. Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах змін клімату / за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. Одеса : ТЕС, 2018. 546 с.
22. Тооминг Х.Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. Ленинград : Гидрометеиздат, 1984. 264 с.
23. Helianthus annuus / Словник українських наукових і народних назв судинних рослин / Ю. Кобів. Київ : Наукова думка, 2004. 800 с. (Словники України).
24. Polikarpov, G. G. Sunflower's blooming floscule is a compass. *Nature* 272 : 122. 1978. doi:10.1038/272122c0.
25. Shella G.S.G., Langa A.R.G., Salea P.J.M. Quantitative measures of leaf orientation and heliotropic response in sunflower, bean, pepper and cucumber. *Agricultural Meteorology* 13 (1) : 25–37. 1974. doi:10.1016/0002-1571 (74) 90062-4.
26. Atamian Hagop S., Creux Nicky M., Brown Evan A., Garner Austin G., Blackman Benjamin K., Harmer Stacey L. Circadian regulation of sunflower heliotropism, floral orientation, and pollinator visits. *Science* 353 (6299): 587–590. 2016. doi:10.1126/science.aaf9793..
27. Kaplan Sarah. Watch a sunflower dance in the sun : now scientists know how it's done. August 5, 2016.
28. Klein Joanna. How Sunflowers Follow the Sun, Day After Day *The New York Times*. August 4, 2016.

ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ

УДК 351:628.47:342.9

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.5-44.39>

ДЕРЖАВНИЙ КОНТРОЛЬ У СФЕРІ ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ НА ТЕРИТОРІЇ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Герасимчук Л.О.¹, Валерко Р.А.¹, Ясінський В.В.², Піциль А.О.¹, Соловйова О. О.¹¹Поліський національний університет
бульв. Старий, 7, 10008, м. Житомир²Державна екологічна інспекція Поліського району
вул. Леха Качинського, 12а, 10014, м. Житомир
Gerasim4uk@ukr.net

Розглянуто результати та основні проблеми державного контролю у сфері поводження з відходами на території Житомирської області у 2021 році, що забезпечується Державною екологічною інспекцією Поліського округу. Інформаційною базою досліджень стали матеріали Державної екологічної інспекції Поліського округу щодо здійснення заходів державного нагляду (контролю) за січень-грудень 2021 року. У сфері поводження з відходами і хімічними речовинами проведено 20,4% всіх ресурсних перевірок. Перевірки у галузі були проведені за напрямками поводження з промисловими відходами (62%), побутовими відходами (36,8%) та пестицидами і агрохімікатами (1,2%). Відзначена більша ефективність позапланових перевірок, які склали 42,2% усіх здійснених заходів державного нагляду, щодо виявлених порушень. За результатами здійснених заходів державного нагляду (контролю) у сфері поводження з відходами складено 1127 протоколів (37,9% у галузі поводження з промисловими відходами, 61,5% – з побутовими відходами, 0,6% – з пестицидами та агрохімікатами), до адміністративної відповідальності у вигляді штрафів притягнуто 1126 осіб, накладено 294,814 тис. грн штрафів (з них у сфері поводження з промисловими відходами – 97,716 тис. грн, з побутовими відходами – 195,908 тис. грн, з пестицидами та агрохімікатами – 1,19 тис. грн), стягнуто – 95,7% (у сфері поводження з промисловими відходами – 95,8%, побутовими відходами – 95,7%, пестицидами та агрохімікатами – 100%). Відзначено важливу роль інструменту державного нагляду (контролю) у сприянні оформлення відповідних дозвільних документів та дотримання вимог природоохоронного законодавства у сфері поводження з відходами суб'єктами господарювання. Збільшення фінансування державних інспекторів з охорони навколишнього природного середовища, підвищення штрафних санкцій за порушення вимог природоохоронного законодавства, в тому числі і у сфері поводження з відходами та небезпечними хімічними речовинами, дозволять мінімізувати недоліки у сфері державного нагляду. *Ключові слова:* планові та позапланові заходи державного нагляду (контролю), притягнення до адміністративної відповідальності, адміністративні протоколи, накладені та стягнуті штрафи.

State control in the field of waste management in the territory of Zhytomyr region. Herasymchuk L., Valerko R., Yasinskuy V., Pitsil A., Solovyova O.

The results and main problems of state control in the field of waste management in the territory of Zhytomyr region in 2021, which are provided by the State Environmental Inspection of the Polissky District, are considered. The materials of the State Environmental Inspection of the Polissky District regarding the implementation of state supervision (control) measures for January-December 2021 became the information base of the research. 20.4% of all resource inspections were conducted in the field of waste and chemical management. Inspections in the industry were carried out in the areas of handling industrial waste (62%), household waste (36.8%), and pesticides and agrochemicals (1.2%). The greater effectiveness of unscheduled inspections, which accounted for 42.2% of all implemented state supervision measures, regarding detected violations, was noted. Based on the results of state supervision (control) measures in the field of waste management, 1,127 protocols were drawn up (37.9% in the field of industrial waste management, 61.5% – with household waste, 0.6% – with pesticides and agrochemicals), until 1,126 people were brought to administrative responsibility in the form of fines, 294,814 thousand UAH fines were imposed (of which in the field of industrial waste management – 97,716 thousand UAH, with household waste – 195,908 thousand UAH, with pesticides and agrochemicals – 1.19 thousand UAH), collected – 95.7% (in the field of industrial waste management – 95.8%, household waste – 95.7%, pesticides and agrochemicals – 100%). The important role of the instrument of state supervision (control) in facilitating the issuance of relevant permit documents and compliance with the requirements of environmental legislation in the field of waste management by business entities was noted. Increasing the financing of state environmental protection inspectors, increasing fines for violating the requirements of environmental protection legislation, including in the field of handling waste and hazardous chemicals, will allow to minimize shortcomings in the field of state supervision. *Key words:* planned and unplanned measures of state supervision (control), bringing to administrative responsibility, administrative protocols, imposed and collected fines.

Постановка проблеми. Екологічні проблеми, мінімізація та подолання їх наслідків наразі займають чільне місце при формуванні державної політики. Стан довкілля та його постійно зростаюче

забруднення зумовлюють появу такого важливого інструменту екологічного управління та екологічної безпеки як державний нагляд (контроль) у сфері охорони довкілля.

Актуальність дослідження. Згідно з Постановою Кабінету Міністрів України від 19.04.2017 № 275 «Про затвердження Положення про Державну екологічну інспекцію України» реалізацію державної політики із здійснення державного нагляду (контролю) у сфері охорони довкілля, раціонального використання, відтворення і охорони природних ресурсів забезпечує Державна екологічна інспекція України [9]. Відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України від 06.03.2019 № 182 визначається періодичність проведення планових заходів державного нагляду (контролю) на підставі критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності у сфері охорони навколишнього природного середовища [10]. Реалізацію повноважень Держекоінспекції у межах Житомирської та Рівненської областей забезпечує Державна екологічна інспекція Поліського округу [11].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження виконувалось в рамках науково-дослідної роботи «Еколого-соціальна оцінка стану сільських селітебних територій у контексті сталого розвитку» (№ 0120U104233) та може бути використана органами влади для формування політики у сфері поводження з відходами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання державного нагляду (контролю) у сфері охорони довкілля привертає увагу як вітчизняних, так і зарубіжних вчених. Зокрема, державний екологічний контроль розглядається як у системі екологічної безпеки та управління в цілому [1, 6], так і окремих країн (України [2, 6], Китаю [3-5], Бангладешу [6]) та сфер охорони довкілля (атмосферного повітря [3, 5], морського середовища [2], земельних ресурсів [7], водних біоресурсів [8] тощо).

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття та новизна досліджень. Наявні дослідження недостатньо висвітлюють проблематику державного нагляду (контролю) у сфері поводження з відходами на рівні окремих регіонів України. Виходячи з вище викладеного, метою нашого дослідження є висвітлення та аналіз результатів, а також виявлення основних проблем державного нагляду у сфері поводження з відходами на території Житомирської області у 2021 році.

Методологічне значення. Інформаційною базою досліджень стали матеріали Державною екологічної інспекції Поліського округу щодо здійснення заходів державного нагляду (контролю) за січень-грудень 2021 року.

Виклад основного матеріалу. Протягом минулого 2021 року Державною екологічною інспекцією Поліського округу проведено 3935 ресурсних заходів державного нагляду (контролю). Управлінням державного екологічного нагляду (контролю) у Житомирській області було проведено 1989 ресурсних перевірок, 20,4% з яких були здійснені у сфері поводження з відходами і хімічними речовинами (рис. 1).

З 405 перевірок у сфері поводження з відходами і хімічними речовинами 251 (або 62%) проведених у сфері поводження з промисловими відходами, з яких 137 планово та 114 позапланово; 149 (або 36,8%) – у сфері поводження з побутовими відходами, з яких 82 планово і 67 позапланово; 5 (або 1,2%) – у сфері поводження з пестицидами та агрохімікатами, з яких 2 планово і 3 позапланово (рис. 2).

Відмітимо, що саме в результаті здійснених позапланових перевірок (без попередження суб'єкта господарювання заздалегідь) виявляється більше

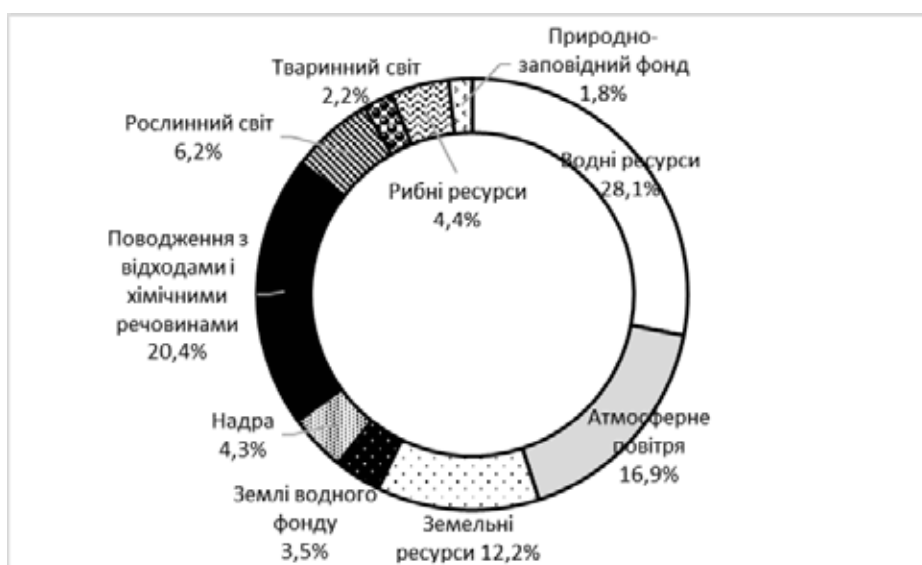


Рис. 1. Розподіл заходів державного нагляду (контролю), здійснених на території Житомирської області Державною екологічною інспекцією Поліського округу за січень – грудень 2021 року в розрізі ресурсних напрямків

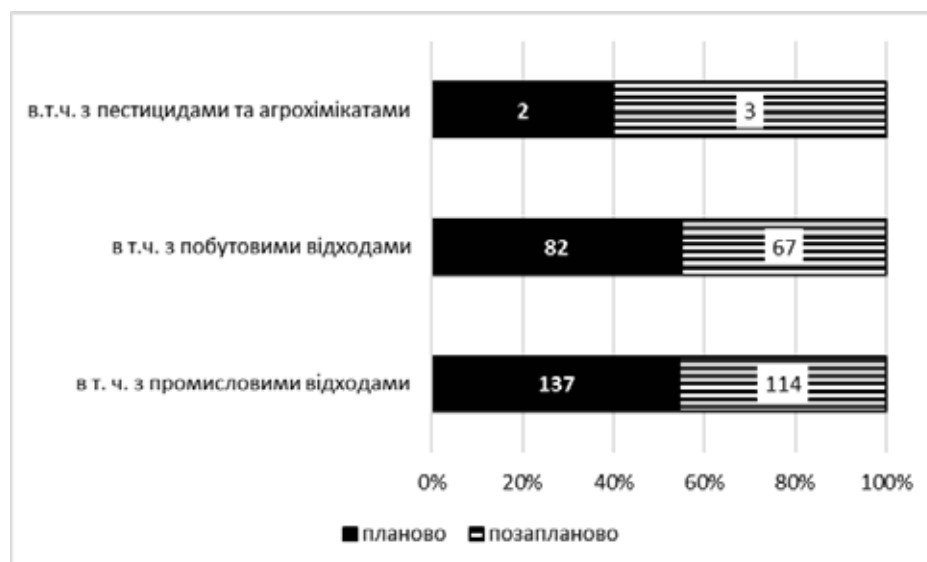


Рис. 2. Здійснення планових і позапланових заходів державного нагляду (контролю) у сфері поводження з відходами та небезпечними хімічними за січень – грудень 2021 року

порушень, адже коли має місце планова перевірка і суб'єкта господарювання попереджають не пізніше як за десять днів до дня здійснення такого заходу, він має шанс усунути всі недоліки, які можуть бути виявлені при перевірці.

В результаті проведених перевірок та рейдів складено 3503 адміністративних протоколів, з яких 61 передано для розгляду в судові органи.

Незважаючи на те, що за кількістю проведених перевірок у 2021 р. лідувала сфера водних ресурсів (28,1% загальної кількості проведених перевірок проти 20,4%), найбільше складених протоколів було саме у сфері поводження з відходами (32,2%). З 1127 протоколів у сфері поводження з відходами, 427 (або 37,9%) було складено у сфері поводження з промисловими відходами, 1 з яких за результатами планової перевірки було передано до розгляду у судові органи; 693 (або 61,5%) – у сфері поводження з побутовими відходами; 7 (або 0,6%) – з пестицидами та агрохімікатами (рис. 3).

Загалом до адміністративної відповідальності у вигляді штрафів притягнуто 3438 осіб, з них 32,8% (або 1126 осіб) саме у сфері поводження з відходами.

Загальна сума накладених у 2021 р. штрафів склала 845,603 тис. грн., стягнуто 812,613 тис. грн. (або 96,1%). У сфері поводження з відходами було накладено та стягнуто найбільше штрафів з усіх ресурсних напрямів державного нагляду Державної екологічної інспекції Поліського округу – 294,814 тис. грн. та 282,254 тис. грн. відповідно. Загалом у сфері поводження з відходами і хімічними речовинами стягнуто 95,7% обсягу накладених штрафів, в т.ч. у сфері поводження з промисловими відходами – 95,8%, побутовими відходами – 95,7%, пестицидами та агрохімікатами – 100%. Також відмітимо, що саме за результатами проведених позапланових заходів дер-

жавного контролю відсоток стягнених штрафів був більшим, порівняно з плановими заходами – 99,6% проти 94,4% (рис. 4).

У 2021 р. загальна сума розрахованих збитків, заподіяних державі внаслідок порушення вимог природоохоронного законодавства становила 68911,074 тис. грн., в т.ч. нанесених невідповідними особами – 33879,245 тис. грн. Пред'явлено до сплати 133 претензій на суму 43124,758 тис. грн., з яких стягнуто 114 на суму 2395,568 тис. грн. У сфері поводження з відходами у 2021 р. не було розраховано збитків та пред'явлених претензій.

Зауважимо, що метою державного нагляду є не нарахування і стягнення грошових коштів для поповнення бюджету (хоча це теж вагома причина перевірок), а сприяння оформленню відповідних дозвільних документів та дотримання вимог природоохоронного законодавства суб'єктами господарювання.

59 матеріалів протягом 2021 р. було передано до правоохоронних органів, з них 3 (або 5,1%) у сфері поводження з відходами. 2 матеріалів у сфері поводження з побутовими відходами за результатами здійснення планових та позапланових заходів державного нагляду були передані до органів прокуратури (до Коростенської місцевої прокуратури передані матеріали, що стосуються фактів порушення експлуатації полігону ТПВ; до Житомирської обласної прокуратури передані матеріали стосовно розірвання договору оренди щодо утримання полігону між Бердичівською міською радою та ТОВ «Полісся Екосфера»); 1 матеріал у сфері поводження з промисловими відходами за результатами здійснення позапланового контролю до органів Національної поліції (до ГУНП в Житомирській області заяву про вчинення злочину, а саме щодо недопуску на

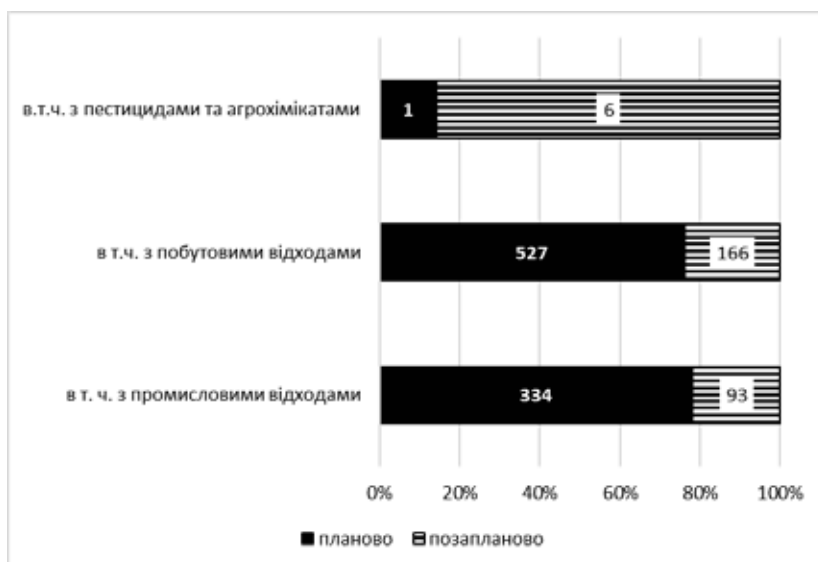


Рис. 3. Кількість складених протоколів за результатами здійснення планових і позапланових заходів державного нагляду (контролю) у сфері поводження з відходами та небезпечними хімічними за січень – грудень 2021 року

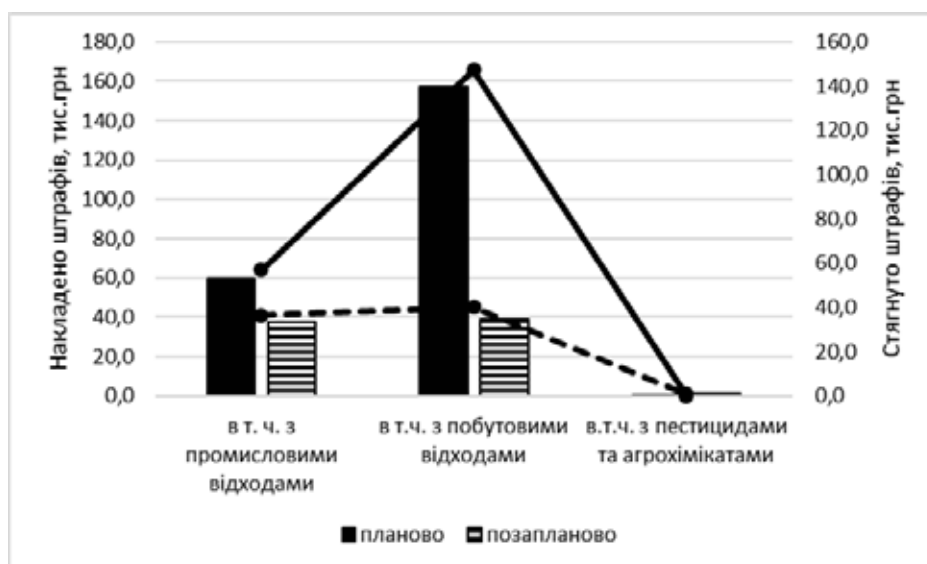


Рис. 4. Сума накладених та стягнутих штрафів за результатами здійснення планових і позапланових заходів державного нагляду (контролю) у сфері поводження з відходами та небезпечними хімічними за січень – грудень 2021 року

ФГ «АГРО 2011» до проведення позапланової перевірки); матеріали з ознаками кримінального правопорушення були відсутні.

У минулому році для винесення рішення про тимчасову заборону (зупинення) господарської діяльності загалом було передано 4 матеріали до судових органів, з них 1 (або 25%) у сфері поводження з відходами за результатами позапланового заходу державного нагляду (контролю) (щодо призупинки експлуатації КВГП полігону твердих побутових відходів в с. Грозине Коростенського району Житомирської області).

Зазначимо, що зазвичай суб'єкти господарювання ігнорують природоохоронне законодавство. Проте завдяки заходам державного нагляду (контролю) у сфері поводження з відходами (а саме: штрафним санкціям, нарахуванням збитків) суб'єкти господарювання та посадові особи починають звертати увагу на чинне законодавство і впровадження природоохоронних заходів. І таких багато випадків саме завдяки діям державних інспекторів.

Отримання відповідних дозволів у сфері поводження з відходами тягне за собою нарахування та сплату екологічного податку, що є суттєвим

для бюджету будь-якої територіальної громади та держави.

Завдяки діям інспекторів було ліквідоване не одне сміттєзвалище, на полігонах встановлюються сортувальні лінії, запроваджується пошарове складування відходів, що максимально сприяє мінімізації впливу на навколишнє середовище.

Серед недоліків у сфері державного нагляду, перш за все, мусимо відмітити низький рівень оплати праці. За мінімальну заробітну плату державні інспектори з охорони навколишнього природного середовища в прямому сенсі ризикують життям, тому що, окрім питань поводження з відходами, охорони водних ресурсів, атмосферного повітря чи земельних ресурсів, до сфер контролю входять мисливство та рибальство. А це зазвичай люди зі зброєю, і, напевно, чи, травма або будь-який негатив у зіткненні з браконьєрам компенсує заробітна плата. Також відмічається й недостатнє забезпечення лабораторним знаряддям та паливно-мастильними матеріалами для транспорту.

На нашу думку, для покращення сфери державного нагляду перш за все необхідно розглянути питання збільшення фінансування інспекторів та підвищити штрафні санкції, які здебільшого є мізерними, адже досить частими є випадки, коли суб'єкт господарювання згоден сплатити штраф, аби не оформляти відповідні дозволи та не впроваджувати природоохоронні технології.

Висновки. Проведений аналіз результатів державного нагляду у сфері поводження з відходами на

території Житомирської області у 2021 році дозволив зробити наступні висновки: п'ята частина ресурсних перевірок здійснені у сфері поводження з відходами і хімічними речовинами, з яких 62% проведені у сфері поводження з промисловими відходами, 36,8% – побутовими відходами, 1,2% – пестицидами та агрохімікатами; серед заходів державного нагляду 57,8% були плановими; встановлена більша ефективність позапланових перевірок щодо виявлених порушень; третина протоколів (які і притягнутих до відповідальності у вигляді штрафів осіб) серед ресурсних напрямів державного нагляду складені у сфері поводження з відходами (37,9% з промисловими відходами, 61,5% – з побутовими відходами, 0,6% – з пестицидами та агрохімікатами); накладено 294,814 тис. грн. штрафів, стягнуто – 95,7%; 3 матеріали були передані до правоохоронних органів.

Державний нагляд має виключно важливу роль у сприянні оформлення відповідних дозвільних документів та дотримання вимог природоохоронного законодавства суб'єктами господарювання. Збільшення фінансування інспекторів, підвищення штрафних санкцій за порушення вимог природоохоронного законодавства дозволять мінімізувати недоліки у сфері державного нагляду.

Перспективами подальших досліджень є висвітлення та аналіз результатів, а також виявлення основних проблем державного нагляду у інших природоохоронних сферах на території Житомирської області.

Література

1. Zhou Y., Shen H. Supervision of environmental enforcement and corporate environmental performance: Evidence of quasi-natural experiment from talks on environmental protection. *Nankai Business Review International*. 2019. Vol. 10, No. 1. P. 42-66. DOI: <https://doi.org/10.1108/NBRI-06-2018-0036>.
2. Serafimov V. Supervision (control) in the sphere of marine environment protection in Ukraine: new institutional transformations. *Lex Portus*. 2020. No. 1. P. 23-36. DOI: <https://doi.org/10.26886/2524-101X.1.2020.2>.
3. Cao Z., Wang L., Wu J. Does the environmental supervision system improve air quality in China? An empirical study using the difference-in-differences mode. *Journal of Resources and Ecology*. 2021. Vol.12, No.5. P. 581-592. DOI: 10.5814/j.issn.1674-764x.2021.05.001.
4. Ren Y. Main problems and future prospects of environmental supervision in Guangdong-Hong Kong-Macau Grand Bay area. *Chinese Studies*. 2020. Vol. 9, No. 2. P. 53-64. DOI: 10.4236/chnstd.2020.92005.
5. Yang R., Chen W. Spatial correlation, influencing factors and environmental supervision on mechanism construction of atmospheric pollution: an empirical study on SO₂ emissions in China. *Sustainability*. 2019. Vol. 11, No. 6. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11061742>.
6. Ohiduzzaman Md. Parliamentary control and oversight: a study on the performance of parliamentary standing committee on Ministry of Environment & Forests on environment related issues (July 18, 2010). URL: <https://ssrn.com/abstract=1645045> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1645045>.
7. Антонова С. Є., Журик М. Є. Державний контроль за використанням і охороною земель: регіональний аспект. *Державне управління: удосконалення та розвиток*. 2021. № 2. DOI: 10.32702/2307-2156-2021.2.32.
8. Герасимчук Л. О., Валерко Р. А., Гребенчук Л. І. Державний контроль за випадками масового замору риби на водоймах Житомирської області. *Водні біоресурси та аквакультура*. 2018. № 2. С. 6–16.
9. Про затвердження Положення про Державну екологічну інспекцію України: Постанова Кабінету Міністрів України; Положення від 19.04.2017 № 275. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/275-2017-п> (дата звернення: 25.09.2022).
10. Про затвердження критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності та визначається періодичність проведення планових заходів державного нагляду (контролю) у сфері охорони навколишнього природного середовища, раціонального використання, відтворення і охорони природних ресурсів Державною екологічною інспекцією: Постанова Кабінету Міністрів України; Критерії, Перелік від 06.03.2019 № 182. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/182-2019-п> (дата звернення: 25.09.2022).
11. Державна екологічна інспекція Поліського округу: офіційний веб-портал. URL: <https://polissyareg.dei.gov.ua/post/26> (дата звернення: 25.09.2022).

РЕАКЦІЯ ПТАХІВ НА ЗМІНИ В ПРИРОДООХОРОННОМУ МЕНЕДЖМЕНТІ ЩОДО ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Дементєєва Я.Ю.

Харківський національний педагогічний університет імені Г.С. Сковороди
вул. Алчевських 29, 61002, м. Харків
dementeeva.y@gmail.com

Накопичення відходів має високі позиції серед глобальних екологічних проблем людства. Території полігонів відходів займають величезні території на усіх континентах. Достеменно відомо про широкий вплив територій, зайнятих відходами (полігонів) на усі природні компоненти екосистем. У відповідь на це вже існують різноманітні практики і концепції для вирішення зазначеного питання. Однак за останні десятиліття на полігонах відходів сформувалися специфічні екосистеми, які включають рослинність та значне видове різноманіття тваринного світу – великі угруповання птахів, ссавців, комах. Для птахів полігони є доступною розповсюдженою кормовою базою, місцем відпочинку та гніздівлі, а деякі види останнім часом значно збільшили популяції завдяки полігонам відходів, як зручному місцю для існування. Полігони відходів наявні повсюдно, подекуди птахи використовують їх на міграційних шляхах. Спираючись на вище згадане, важливим питанням стає реакція орнітофауни на зміни в екологічному менеджменті, закриття полігонів відходів, а отже відсутності доступних кормів та інших умов існування. Чи не призведе це до загибелі птахів, значного скорочення видового різноманіття регіонів, хвороб птахів, тощо? Наразі чине законодавство Європейського союзу та багатьох інших країн спрямовує зусилля на екологічно безпечні шляхи управління побутовими відходами. Прослідкувавши локальні реакції птахів, можна прогнозувати вплив на екосистеми планетарного масштабу, попереджувати негативні явища для біорізноманіття та благополуччя окремих видів. В представлений статті наведені відомості вітчизняних та зарубіжних науковців щодо реакції птахів на закриття полігонів відходів у світі. Актуальність аналізу таких даних висока, адже отримані дані необхідні при плануванні коректних алгоритмів дій по впровадженню нових практик екологічного маркетингу та збереження видового різноманіття регіонів та світових популяцій, в тому числі птахів. У країнах, де вже впроваджено зміни, дослідники підкреслюють, що глобальної проблеми для збереження різноманіття орнітофауни, закриття полігонів та сміттєвих майданчиків немає. Оскільки птахи є дуже пластичними організмами, здатними швидко пристосовуватися до умов середовища. *Ключові слова:* управління відходами, полігони відходів, реакція птахів.

Reaction of birds to changes in the environmental management of waste. Dementieva Ya.

The accumulation of waste has a high position among the global environmental problems of mankind. Territories of waste landfills occupy huge areas on all continents. It is known for sure about the wide influence of territories occupied by waste (landfills) on all natural components of ecosystems. In response to this, there are already various practices and concepts for solving this issue. However, in recent decades, specific ecosystems have formed at waste landfills, which include vegetation and a significant diversity of animal species – large groups of birds, mammals, and insects. For birds, landfills provide an available widespread food base, resting and nesting sites, and some species have recently increased their populations significantly due to landfills as a convenient habitat. Waste landfills are available everywhere, in some places birds use them on migration routes. Based on the above, an important issue is the response of the avifauna to changes in environmental management, the closure of landfills, and therefore the lack of available feed and other living conditions. Will this not lead to the death of birds, a significant reduction in the species diversity of the regions, bird diseases, etc.? Currently, the current legislation of the European Union and many other countries directs efforts to environmentally safe ways of managing household waste. By following the local reactions of birds, it is possible to predict the impact on ecosystems on a planetary scale, to warn of negative phenomena for biodiversity and the well-being of individual species. The presented article contains the information of domestic and foreign scientists regarding the reactions of birds to the closure of landfills in the world. The relevance of the analysis of such data is high, because the obtained data are necessary for planning the correct algorithms of actions for the implementation of new ecological marketing practices and the preservation of the species diversity of regions and world populations, including birds. In countries where changes have already been implemented, researchers emphasize that there is no global problem for preserving the diversity of avifauna, closing landfills and landfills. Because birds are very plastic organisms, able to quickly adapt to environmental conditions. *Key words:* waste management, landfills, reaction of birds.

Постановка проблеми. Сучасна світова спільнота все більше спрямовує економічні здобутки на шлях сталого розвитку. Збільшується число країн, які запроваджують концепцію циркулярної економіки, депозитні схеми для відходів, імплементацію законодавства, blockchain (замкнутий цикл переробки пластиків) та інші практики вирішення проблеми поводження з відходами [1].

Тож, постає питання – які зміни це принесло екосистемам, що були глибоко трансформованими в процесі захоронення відходів, дії фільтратів та

іншого впливу? Яка тепер ситуація з тваринним світом, зокрема птахами, як однією із важливих ланок трансформованих біотопів?

Актуальність дослідження. Збереження біорізноманіття та перехід до концепції сталого розвитку вимагають у людства зважених дій задля попередження ризиків для екосистем та прогнозованої реакції біоти. Реакцію птахів на зміни в екологічному менеджменті можна сприймати як індикаторний фактор, оскільки птахи є домінантною групою фауни полігонів відходів. Саме тому існує актуаль-

ність акумулювання даних щодо реакції птахів на зміни в екологічному менеджменті.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Аналіз даних дослідників різних країн є важливою складовою у вивченні орнітофауни полігонів відходів та формуванні знань щодо ролі таких територій для птахів та розробки рекомендацій по ефективному впровадженню сучасних практик управління відходами підтримуючи інтереси тваринного світу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На шлях екологічних змін більш- або менш успішно стали ряд країн. Європейський Союз прийняв законодавство та інші допоміжні політики в низці сфер, щоб сприяти розвитку циркулярної економіки. Тому в різних країнах існує широке розмаїття способів управління відходами.

Північний регіон Європи (Данія, Швеція, Норвегія та Фінляндія) відомий високими показниками переробки та передовими екологічними стандартами й значною часткою спалювання відходів [2]. В Швейцарії вже у 2000 році були заборонені сміттєві полігони, більш як половина всіх відходів йде на переробку, а решта спалюється [3]. В Німеччині теж активно сортують відходи та піддають переробці або спаленню [4]. Закривають старі полігони або засипають золою, яка залишається від сміттєспалювальних підприємств.

Туреччина закрила декілька полігонів, впроваджуючи роздільний збір та переробку [5]. Китайський Гонконг впровадив участь громадськості, екологічну обізнаність, стандартизацію вторинної продукції, що сприяє переробці та суттєвому зменшенню об'ємів відходів [6].

Одним із флагманів у вирішенні гострої проблеми утворення відходів є Корея, попри високий рівень внутрішнього споживання і натомість утворення відходів, було зафіксовано серйозні покращення в поводженні з ними. Застосовано регуляторні інструменти, щоб впливати та змінювати поведінку домогосподарств і компаній щодо сталого використання. Корейський уряд рішуче сприяє національному дослідженню технологій, пов'язаних з переробкою відходів [7].

Окрім роздільного збору відходів, практики управління проблемою накопичення відходів та їх впливу на екосистеми включають і локальні задачі по облаштуванню закритих сміттєвих майданчиків і у містах. Це сприяє перешкодженню переносу відходів і похідних від них епідеміологічних ризиків, а також унеможливує живлення відходами диких тварин, в тому числі птахами. Такі впровадження є вельми актуальними адже в міських осередках побутових відходів зазвичай спостерігається перебування та кормодобування птахів групи синантропів, серед яких голуб сизий (*Columba livia*), горобець хатній (*Passer domesticus*), горобець польовий (*P. montanus*), ворона сіра (*Corvus cornix*), галка (*C. monedula*), грач (*C. frugilegus*), крук (*C. corax*),

сорока (*Pica pica*). Ці птахи вважаються синантропними, що підтверджується рядом статей, які присвячені видовому складу птахів у містах України [8 – 11], а також визначником [12] і в інших країнах як ближнього зарубіжжя так і далекого [13].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Тому з'являється ще один аспект для спостережень за реакцією птахів на відчуження від звичного ресурсу кормодобування на майданчиках для відходів у містах.

Новизна. Виконаний огляд літературних джерел щодо реакції птахів на зміни в практиках управління відходами у різних країнах.

Методологічне або загальнонаукове значення. У цьому дослідженні автор акумулює наявні дані щодо реакції орнітофауни на відчуження побутових відходів як кормового ресурсу птахів та подає власні спостереження за птахами, які проводилися в польових умовах безпосередньо в місцях скупчення відходів

Виклад основного матеріалу. У ряді країн помітні загальні фактори, де основним важелем змін є жорстке законодавство і екологічна обізнаність населення. Основним важелем для цього є оптимізоване вживання продуктів та товарів. Тому впроваджують ретельне розділення відходів за походженням та переробку. Головною метою є скорочення площ зайнятих відходами і в найближчому майбутньому відмова від цього етапу життєвого циклу продуктів. З цього випливає питання про наслідки таких змін для екосистем і зокрема тваринного світу.

Наука давно оперує тим фактом, що утилізація харчових відходів є основним глобальним джерелом живлення для багатьох організмів, значною часткою яких є і птахи [14].

Так, дослідження білих лелек (*Ciconia ciconia*) в Іберії, показали, що пошук відходів на звалищах є стратегією економії часу та енергії. Хоча птахи можуть витратити на 20% більше енергії для того щоб дістатися полігонів, однак це компенсується легшим кормодобуванням в порівнянні із природними біотопами. Ці відомості на думку дослідників є ключовими для прогнозування того, як види, які покладаються на звалища, можуть постраждати від ініціатив щодо скорочення відходів, запланованих Європейським Союзом [15].

Водночас є дослідження в яких показано на прикладі лелеки білого, як мігруючі птахи можуть змінити звички лише за кілька десятиліть [16]. Що може давати шанси на пластичну реакцію птахів на закриття полігонів. Так, протягом останніх кількох десятиліть змінює свою поведінку у відповідь на спричинені людиною зміни лелека білий. Зимуюча у Португалії популяція вже зросла в десять разів [17]. Було також задокументовано, що все більше особин іспанської субпопуляції використовують свої гнізда протягом року [18], що свідчить про загострення конкуренції. Залежна від щільності внутрішньови-

дова конкуренція та передбачуване закриття сміттєзвалищ може призвести до подальших змін міграції білого лелеки та моделей виживання.

Відомо, що одними із представників орнітофауни, який використовує полігони по всьому світу є мартини. Ці птахи можуть дуже швидко реагувати на нові звалища. Деякі дослідження [19] вже визначали, що закриття сміттєзвалища впливають на виживання мартинів, однак лише молодих птахів мартина жовтоногого (*Larus michahellis*) першого року але не на старших птахів. Отже значний вплив закриття сміттєзвалищ на популяції мартинів мало ймовірний.

Повне закриття кількох сміттєзвалищ і використання систем стримування для запобігання доступу до решти у регіоні на півночі Піренейського півострова також дали можливість оцінити наслідки сміттєзвалищ на трофічну екологію того ж мартина жовтоногого (*Larus michahellis*). Виявилось, що при закритті звалищ, птахи зменшили кормодобування на цих територіях, що супроводжувалося збільшенням живлення влітку наземною здобиччю (переважно дощовими черв'яками). Взимку споживання наземної здобичі замінювалося на морську. Отже, втрата відходів полігонів може успішно компенсуватись здобиччю наземного та морського походження [20].

Не було задокументовано негативних короточасних наслідків закриття звалища й для стерв'ятників (*Neophron percnopterus*) в Туреччині [21]. Не помічено і суттєвих змін як в питанні кормодобування, так і розмноження птахів Палеарктики і Гімалаях [16].

Однак вивчені аспекти є локальними, і не охоплюють загалом питання реакції орнітофауни на закриття полігонів. Особливо помітна відсутність таких спостережень в країнах, які наразі вже впровадили зміни.

Особисті спостереження за змінами в сфері поводження з відходами в Харківській області (Україна) та місті Варшава (Польща) показали певні тенденції реакції птахів на ізоляцію відходів. В Харківській області в ході досліджень орнітофауни полігонів спостереження велися зокрема на території Дергачівського полігону ТПВ, який наразі наближений до нормативних вимог України щодо складування відходів. В травні 2020 року полігон у відповідності до норм було рекультивовано та закладено нову чергу. Птахи досить швидко адаптувалися до нових змін. Так, мартини жовтоногі (*Larus cachinnans*) першими перемістились на нову чергу полігону, одразу почавши процес кормодобування. Натомість голуби (*Columba livia*), показали тривалішу реакцію. Попри те, що птахи даного виду перебувають на полігоні постійно сталою групою близько 200 осіб, освоївши там місця для ночівлі та гніздування, після початку рекультиваційних робіт голуби залишалися у функціональній зоні старого полігону, куди перестали скидати «свіжі» відходи. Птахи продовжували перебувати на старій зоні полігону ще принаймні пів року. Після цього невеликими гру-

пами стали переміщуватися на нову чергу полігону, що вказує на високу організацію груп птахів виду голуб сизий. Цікавим фактом стало те, що на початку переміщення в нову зону полігону птахи поверталися в стару зону для ночівлі та гніздування. Цей процес тривав рік, доки група голубів перемістилась остаточно в нову зону, оселившись на новобудові полігону. Група птахів (крук (*Corvus corax*), сорока (*Pica pica*), синиця велика (*Parus major*), горобець хатний (*Passer domesticus*), горобець польовий (*Passer montanus*), жайворонок чубатий (*Galerida cristata*)), разом з голубами постійно знаходяться на території полігону [22]. Воронові показали більш швидку реакцію при переміщенні на нову чергу полігону. Лише в першу декаду з відкриття нових черг на старому полігоні тривали пошуки кормів групою круків і поодинокі відвідували полігон сороки. Дрібні птахи синиці, горобці, жайворонки перемістилися повністю на новий полігон за 3-4 декади. Птахи, які фіксуються у видовому складі на полігоні лише в певні сезони року одразу прилітали на нову зону полігону.

Реакція птахів на встановлення закритих площадок для відходів у місті Варшава також відбувалась досить динамічно. Птахи ще певний час відвідують місця, де раніше мали кормовий ресурс, однак випадків летальної реакції серед птахів не помічено. Процес кормодобування одразу переміщується в бік парків, де населення і туристи постійно годують диких птахів. Слід зазначити, що в місті Варшава впровадили наступне: в парках, де концентруються як водоплавні так інші птахи встановили контейнери із необробленим зерном, в яких люди можуть набрати порцію корму та погодувати птахів. Позитивні аспекти такі: мотивація до поважливого відношення до світу тварин та вивчення його, і корисні корми для птахів, що замінюють хлібні та інші залишки людей.

Головні висновки. З наведеного вище можна зробити ряд висновків: Світова спільнота на шляху до позитивної і необхідної трансформації ландшафтів, але нам відомо, що будь-які зміни викликають складнощі і процес пристосування у тварин. Для адекватних дій щодо можливих ризиків для світу птахів нам необхідно вивчати питання їх реакції на зникнення побутових відходів, як кормового ресурсу.

У різних країнах, де наразі впроваджено зміни, дослідники підкреслюють, що глобальної проблеми для збереження різноманіття орнітофауни, закриття полігонів та сміттєвих майданчиків немає. Оскільки птахи є дуже пластичними організмами, здатними швидко пристосовуватися до умов середовища. Окрім того птахи, яких зазвичай асоціюють із полігонами і є такими видами, що лише за декілька десятиліть докорінно або частково змінили свої звички живлення, гніздування, міграції та ін. Спостереження за Дергачівським полігоном у місті Харкові дали розуміння про тенденції, які слід очікувати при часткових змінах в екологічному маркетингу регіонів. Приклад

сміттєвих майданчиків у місті Варшава також дав локальні підтвердження цьому.

Однак такі дослідження не достатні і наразі існує висока актуальність вивчення реакції тваринного світу загалом та птахів зокрема в країнах, що вже пройшли цей етап для довгостроково планування та розробки стратегій управління відходами.

Перспективи використання результатів дослідження. Зібрані відомості можна використовувати в процесі розробки документації, яка направлена на виявлення екологічних ризиків та надання рекомендацій по їх запобіганню; у вивченні адаптивних процесів біології видів та видового різноманіття регіонів.

Література

1. Дерій Ж., Бутенко Н., Зосименко Т. Впровадження концепції циркулярної економіки: Проблеми та перспективи Проблеми і перспективи економіки та управління № 1(25). 2021 DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5215-2021-1\(25\)-54-62](https://doi.org/10.25140/2411-5215-2021-1(25)-54-62)
2. Jurate Miliute, Plepiene Anna Frâne Alexandra, Maria Almasi Overview of polyvinyl chloride (PVC) waste management practices in the Nordic countries Cleaner Engineering and Technology Vol. 4, 2021 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100246>
3. Войціховська А., Кравченко О., Мелень-Забрамна О., Панькевич М. Крайці європейські практики управління відходами (посібник). «Компанія “Манускрипт”». Львів, 2019. 64 с.
4. Roh Pin Lee, ManjaTschoepe, Raoul Voss Perception of chemical recycling and its role in the transition towards a circular carbon economy: A case study in Germany Waste Management Vol. 125, 2021 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.02.041>
5. Jakob Katzenberger, Evrim Tabur, Bilgecan Şen, Süreyya İsfendiyaroğlu, İtîr Levent Erkol, Steffen Oppel No short-term effect of closing a rubbish dump on reproductive parameters of an Egyptian Vulture population in Turkey Bird Conservation International Vol. 29 (1) 2017 DOI: <https://doi.org/10.1017/S0959270917000326>
6. Tonni Agustiono Kurniawan, Waihung Lo, Deepak Singh, Mohd Hafiz, Dzarfan Othman, Ram Avtar, Goh Hui Hwang Ahmad, B. Albadarin, Axel Olaf Kern, Saeed Shirazian A societal transition of MSW management in Xiamen (China) toward a circular economy through integrated waste recycling and technological digitization Environmental Pollution Vol 277, 2021 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116741>
7. Marco Mele, Cosimo Magazzino, Nicolas Schneider, Antonia Rosa Gurrieri, Hêriş Golpira Innovation, income, and waste disposal operations in Korea: evidence from a spectral granger causality analysis and artificial neural networks experiments Economia Politica Vol. 39, 2022 DOI : <https://doi.org/10.1007/s40888-022-00261-z>
8. Львівський С.В. Сучасний стан орнітофауни м. Хмельницький Міжвідомчий науковий тематичний збірник «Птахівництво» № 61, URL:<http://avianua.com/archiv/ptahivnictvo/61/9.pdf>
9. Станкевич-Волосянчук О. І. Орнітофауна міста Ужгорода Науковий вісник Ужгородського університету, Серія Біологія, Вип. 43, 2017 URL : <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/20441/1/Станкевич-Волосянчук%20О.І.pdf>
10. Мороз Л.М., Люленко С.О., Подзерей Р.В. Домінуюча орнітофауна околиць міста Умані: видовий склад та чисельність Екологічні науки № 2(35) 2021 DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.2-35.19>
11. Кошелев О.І., Кошелев В.О., Копилова Т.В., Борисов В.В. Моніторинг воронових птахів у місті Мелітополі: Гніздовий і зимовий аспекти Екологічні науки № 2(29). Т. 2. 2020 DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.2-29.2.5>
12. Фесенко Г. В., Бокотей А.А. Птахи фауни України: польовий визначник. К., 2002. С. 416
13. Ludovico Dipineto, Luca Borrelli, Paola Pepe, Alessandro Fioretti, Vincenzo Caputo, Giuseppe Cringoli, Laura Rinaldi Synanthropic Birds and Parasites Avian Diseases Vol 57 (4). 2013 DOI <https://doi.org/10.1637/10602-062713-Reg.1>
14. Каратєєва О. І., Коваль О. А., Гроза В. І. К.21 Технологія переробки побутових відходів та відходів сільського господарства : курс лекцій для здобувачів вищої освіти ступеня «бакалавр» спеціальності 162 Біотехнології та біоінженерія. Миколаїв, 2018. 190 с.
15. Andrea Soriano-Redondo, Aldina M.A. Franco, Marta Acácio, Bruno Herlander Martins, Francisco Moreira, Inês Catry Flying the extra mile pays-off: Foraging on anthropogenic waste as a time and energy-saving strategy in a generalist bird Science of The Total Environment, Vol. 782, 2021 DOI : <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146843>
16. Yachang Cheng, Wolfgang Fiedler, Martin Wikelski, Andrea Flack “Closer-to-home” strategy benefits juvenile survival in a long-distance migratory bird Ecology and Evolution Vol. 9, 2019 DOI : <https://doi.org/10.1002/ece3.5395>
17. Catry, I., Encarnação, V., Pacheco, C., Catry, T., Tenreiro, P., da Silva et al. Recent changes on migratory behaviour of the White stork (Ciconia ciconia) in Portugal: towards the end of migration? Airo 24. 2017. https://docs.wixstatic.com/ugd/e549c7_cbe0b710e9704b81bae3fa409280a288.pdf
18. Gilbert, N. I., Correia, R. A., Silva, J. P., Pacheco, C., Catry, I., Atkinson, P. W., ... Franco, A. M. A. (2016). Are white storks addicted to junk food? Impacts of landfill use on the movement and behavior of resident white storks (Ciconia ciconia) from a partially migratory population. Movement Ecology, 4, 2016 DOI : <https://doi.org/10.1186/s40462-016-0070-0>
19. Sergio Delgado, Alfredo Herrero, Aitor Galarza, Asier Aldalur, Nere Zorrozu, Juan Arizaga Demographic impact of landfill closure on a resident opportunistic gull Population Ecology Vol. 63, 2021 DOI : <https://doi.org/10.1002/1438-390X.12083>
20. Nere Zorrozu, Asier Aldalur, Alfredo Herrero, Beñat Diaz, Sergio Delgado, Carola Sanpera, Lluís Jover, Juan Arizaga Breeding Yellow-legged Gulls increase consumption of terrestrial prey after landfill closure IBIS international journal of avian science 2020 DOI : <https://doi.org/10.1111/ibi.12701>
21. Katzenberger, J., Tabur, E., Şen, B., İsfendiyaroğlu, S., Erkol, I. L., & Oppel, S. No short-term effect of closing a rubbish dump on reproductive parameters of an Egyptian vulture population in Turkey. Bird Conservation International, 29(1). 2017 DOI : <https://doi.org/10.1017/S0959270917000326>
22. Дементєєва Я. Ю. Орнітофауна полігонів твердих побутових відходів міста Харкова Вісник Черкаського університету. 2021. № 1 С. 26-36 DOI:10.31651/2076-5835-2018-1-2021-1-26-36 \

AN ATTEMPT OF CONTAMINATED DRILLING WASTE REMEDIATION BY BIOCOMPOSTING

Zalenska E., Voitenko L., Kopilevich V., One O.-V.

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Geroiv Oborony St., 15, Kyiv, Ukraine 03041

voitenko@nubip.edu.ua

The evaluation of gas drilling sludges utilization using bioconversion technology in the condition of the model experiment was done in the article. The experimental chart included the mixtures consisting of the dry residue of the drilling pulp after the filtering pool of LLC "Eko TecOIL" technology, shredded wheat straw, cattle bedding manure, and high peat in different proportions based on the optimal N:P ratio in composting mass. The microbial active composition "EXTRACON"® was added to a few variants to try accelerating and shorting transformation duration. Composting process was controlled by temperature and humidity regulation. The composition of the studied mixtures and possible variants of the composting process were analyzed. The composition of the prepared composts was assessed by the main nutrient content measuring (N, P, K), the concentration of a few heavy metals (Pb, Cd), and testing their phytotoxicity. It was established that an additive of 20 wt. % of drilling wastes to compost demonstrated moderate phytotoxicity for wheat seeds germinating. In addition, a slight excess of Cadmium permitted level was observed in the three variants of compost composition. But potentially it could be led to its accumulation in root tissues, causing their damage and inhibiting the germinating.

In general, it can be concluded that the presence of unidentified chemical additives in the composition of dry drilling waste had a negative effect on the microbiological transformation of compost mixtures. This effect increased with an increase in the mass of dried drilling sludge in the initial compost composition. Apparently, as a result of this, it was not possible to detect a significant effect of introducing a microbial preparation "EXTRACON"®, since these chemical additives inhibited the activity of its microorganism's community. So, is that it is necessary to continue experimenting by changing the ratio of compost components. It is possible that reducing the mass of introduced waste or adding microbial preparations capable of degrading specific additives to drilling waste will reduce the phytotoxicity of composts. *Key words:* ecologically hazardous waste, drilling sludge wastes, bioconversion, phytotoxicity, composts, biotesting.

Спроба утилізації забруднених відходів буріння шляхом біокomпостування. Заленська Є.А., Войтенко Л.В., Копілевич В.А., Оне О.-В.З.

У статті проведено оцінювання можливості утилізації газових бурових шламів за технологією біоконверсії в умовах модельного експерименту. Схема дослідження включала суміші, що складалися з сухого залишку бурової пульпи після фільтраційної ванни за технологією ТОВ «Еко ТекОІЛ», подрібненої пшеничної соломи, підстилкового гною великої рогатої худоби та сапрінового торфу в різних пропорціях з урахуванням оптимального співвідношення N:P при компостній масі. До кількох варіантів додали мікробну активну композицію «ЕКСТРАКОН»®, щоб спробувати прискорити та скоротити тривалість трансформації. Процес компостування контролювався шляхом регулювання температури та вологості. Виконано аналіз досліджуваних сумішей та можливі варіанти процесу компостування. Склад підготовлених компостів оцінювали шляхом вимірювання вмісту основних поживних речовин (N, P, K), концентрації деяких важких металів (Pb, Cd) і тестували їхню фітотоксичність. Встановлено, що добавка 20 мас. % відходів буріння до компосту продемонструвала помірну фітотоксичність при проростанні зерна пшениці. Крім того, у трьох варіантах складу компосту спостерігалось незначне перевищення допустимої норми кадмію. Проте потенційно це може призвести до його накопичення в тканинах коренів, викликаючи їх пошкодження та перешкоджаючи проростанню.

Загалом можна зробити висновок, що наявність неідентифікованих хімічних добавок у складі сухих відходів буріння негативно вплинула на мікробіологічну трансформацію компостних сумішей. Цей ефект посилювався зі збільшенням маси висушеного бурового шламу у вихідній композиції для компостування. Очевидно, внаслідок цього не вдалося виявити істотного ефекту від введення мікробного препарату «ЕКСТРАКОН»®, оскільки ці хімічні добавки пригнічували життєдіяльність консорціуму його мікроорганізмів. Отже, необхідно продовжувати експерименти, змінюючи співвідношення компонентів компосту. Можливо, зменшення маси внесених відходів або додавання до відходів буріння мікробних препаратів, здатних розкладати специфічні добавки, знизить фітотоксичність компостів. *Ключові слова:* екологічно небезпечні відходи, шламові відходи буріння, біоконверсія, фітотоксичність, компости, біотестування.

Problem Statement. Natural gas extraction is accompanied by the formation of massive volumes of polluted solid and pulp wastes. Drilling fluids and cuttings are classified as high-hazard wastes for the environment [1]. The main pollutants are the drilling fluid chemicals, heavy metals and radionuclides [2, 3].

Methods of such wastes unitization could be classified basing on the action of toxic compound neutralization or separation: physical, physic-chemical, chemical,

or biochemical, or their combinations [4-6]. It seems that nowadays the most popular method of gas drilling waste utilization is solidification. This technology involves mixing the sludge with cement and other fillers. The final solid mass is used for obtaining building materials [1].

Actuality of research. Currently, in Ukraine, the sludge wastes from the gas production industry are implemented in the cheapest, but the most dangerous way for the environment – by the burial on sludge map-

sor under the guise of reclamation of soil areas, i.e., introduction into the topsoil layer [7]. Obviously, such a waste self-purification process will be so slow that it will take decades or even more. The construction project for the processing and utilization of drilling waste for construction materials was developed in 2004-2005 during the active development of the Yabluniv gas field (Poltava region). But it remained at the level of the pilot plant. So, the attempt to accelerate gas drill cuttings neutralization by using environmental-friendly technology of bioconversion is a potentially effective and relatively cheap solution [1].

The goal of the research is (i) to assess the efficiency of gas drilling wastes bioconversion; (ii) the possibility to obtain ecologically safe mineral-organic substrates as a final product of bio-neutralization, and (iii) evaluation of their phytotoxicity. We proceeded from the fact that the project for the utilization of the studied drill sludge involved the use of the biological decomposition of organic compounds to accelerate its neutralization. To do this, it was supposed to introduce phosphogypsum (PG) (in the amount of 2...3 % by weight), straw (1...2 % by weight), and organic substrate (3...5 % by weight) into the sludge pits [8]. Based on the proposed composting composition, we have compiled a matrix for studying of bioconversion process.

Biotesting is the most useful approach for the assessment of natural or artificial substrates [9]. Lettuce, mustard, barley, oat, and wheat plants are considered as the most sensitive objects for phytotoxicity assessment of contaminated soils [10].

2 Materials and methods

2.1 Initial samples and their pre-treatment

Initial samples of drilling wastes were collected from the well near the village Antonovka, Pyryatinsky dis-

trict, Chernigiv Oblast. The research was initiated by the owner of this drill gas well – PoltavaGasVydobuvannya Gas Production Division, the subdivision of Naftogaz Corporation.

According to ecological passport of the object, the estimated mass of drilling waste from one well is about 3,000 tons. The composition of drilling waste, in addition to ecologically safe silicates for the soil (bentonite clay, polygorskite clay), may contain ingredients mainly with III-IV hazard classes according to oriented permissible concentrations (OPC) in soil (Table 1).

In addition, excepting the declared identified inorganic and organic chemicals in the composition, the drilling wasters contain chemically unidentified components of special purpose. They have been presented as Trade mark labels (i.e., PAC-LV, PAC-HV, CMC-LV, CMC-HV, PAG-KM, etc.) or as descriptions of their role in the technological process (for example, lubricant additive for drilling solution). Their safety is guaranteed by the conclusion of the state sanitary and hygienic examination only.

Since we will attempt to utilize the dry residue of the drilling pulp after the filtering pool of LLC “Eko TecOIL” (Fig. 1), its composition according to the following indicators is also important (Table 2). According to TU U 08.9-40371287-002:2018 Mixture of minerals for arranging ECOTEC-GEO+ territories, drilling waste was treated by undefined pH regulating agents, flocculants, and coagulants, but environmentally-friendly and safe. It is known the relative volume ratios of these chemicals and treating wastes.

Based on the previously experience [13], the composition of mixture for the bioconversion of drilling sludge includes shredded wheat straw, cattle bedding manure; sapric peat. The mass ratio of the components was cal-

Table 1
Chemicals in the composition of drilling wastes, according to ecological passport of drill well

Reagent	Hazard class according to DSTU-N B A.3.2-1:2007 [11]	OPC in soil, mg/kg according to GSTU 41-00 032 626-00-007-97 [12]
Graphite C	IV	5000
Sodium carboxymethyl cellulose $[C_6H_7O_2(OH)_{3-x}(OCH_2COOH)_x]_n$	III	3000
Polyacrylamide flocculant $(C_3H_5NO)_n$	IV	400
Oil	III	4000
Potassium chloride KCl	III	560
Sodium chloride NaCl	III	2500
KSSB-2M – condensed sulphite – alcohol the bard	-	2000
Calcined soda of technical grade B (powdery) Na_2CO_3	-	200
Chromium Cr	III	6,0
Slaked lime (calcium hydroxide) $Ca(OH)_2$	IV	8000
Caustic soda (sodium hydroxide) NaOH	II	2000
Barite (Barium sulphate) $BaSO_4$	IV	5000

culated based on the optimal proportion of Nitrogen and Phosphorus (in dry state), which is equal to 1 : 20...25 for the bio-fermentation of the substrate in aerobic conditions [13, 14]. Initialization of the biochemical transformation of compost mass was accelerated by microbial active composition “EXTRACON”®. This activator is a natural soil microbial consortium [15].

2.2 Composition and treatment of the composting mixtures

The composition of the examined mixtures containing drill wastes and additives are presented in Table 3.

Compost mixes prepared by thorough homogenization mechanical mixing of 1,5 kg of total weight were placed in polyethylene containers with a lid with a volume of 10 L. Mixing the components of the composts; their hydration was brought up to 60% by adding the calculated amount of water [13]. The substrates were

mixed once every three days throughout the experiment, maintaining a given level of moisture.

2.3 Control of the composting process parameters

The progress of the composting process was monitored by temperature (measured remotely with a pyrometer) and pH (in a 10:1 aqueous suspension using Ecotest 2000).

2.4 Composition and properties of the final products – composts containing drilling wastes

The composition of the prepared composts was assessed by the main nutrient content measuring (N, P, K), the concentration of a few heavy metals (Pb, Cd), and testing their phytotoxicity. The content of total nitrogen was determined by the Kjeldahl method, Phosphorus – photometric determination as phosphomolybdenum complex, Potassium – using method of flame photometry method [16]. Lead Pb and Cadmium Cd

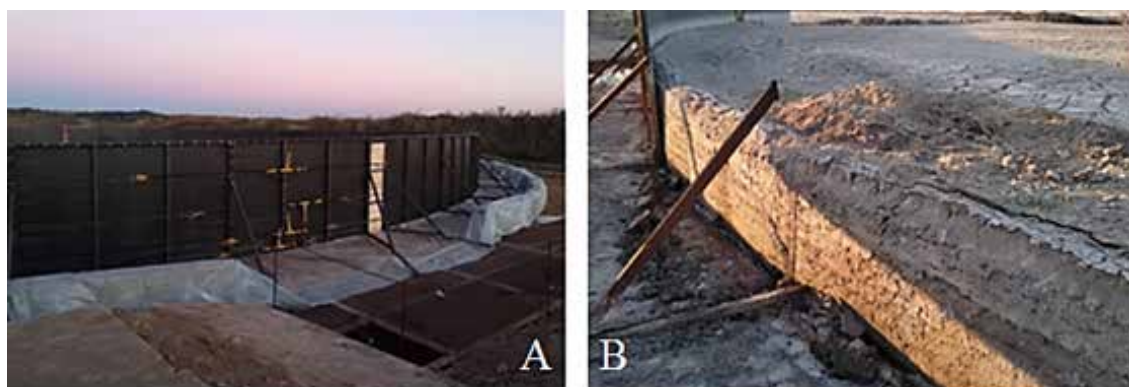


Figure 1. The general view of open air filter pool for drilling wastes filtrating (A) and the dry residue after liquid phase removal (B)

Table 2

Content of heavy metals and generals parameters of drilling waste dried drilling sludge

Parameters	Content				
	Pb	Ni	Cr	Cd	Zn
Trace metals, mg/kg	1,27	0,16	1,59	0,58	12,99
Technological properties/ composition	a pH	Humidity, wt. %	Organic part, wt. %	Mineral part, wt. %	SiO ₂ content, g/kg
	8,83	7,9	8,0	92,0	370

Table 3

he composition of examining compost series containing drill wastes

# of variant	Component contribution, wt. % (at natural humidity)					C:N ratio
	Dried drill waste	Shredded wheat straw	Cattle bedding manure	Sapric peat	“EXTRACON”®	
1 (control)	-	25	50	20	-	1:18
2	10	30	60	-	-	1:17
3	10		60	30	-	1:18
4	20	30	50	-	-	1:18
5	10	30	60	-	+	1:17
6	10		60	30	+	1:17

concentrations were measured by the inversion chronopotentiometry method [17].

The phytotoxicity of the obtained substrates was determined in a laboratory experiment according to the method of contaminated soil phytotoxicity determination [18] using wheat (*Triticum spp.*) as a test object. Ten visually healthy wheat seeds were planted directly on substrate in Petri dishes. The recommended optimal amount of air-dry, and moistened to 33,3% substrate brought to a homogeneous consistency was 20 g. For grain germination, it was not pre-soaked and cultivated in closed Petri dishes in the absence of light in a thermostat at +24 °C. After 14 days, the number of germinated seeds was counted, the length of roots and shoots was measured, and the phytotoxic effect was calculated. The experiment was set in 3 replications.

The phytotoxic effect (FE, %) as the inhibition level of growing processes was expressed as Eq. 1 [19]:

$$FE = \frac{L_0 - L_x}{L_0} \times 100, \% \quad (1)$$

where L_0 – average root length of a plant grown on control medium;

L_x – average root length of a plant grown on examining medium at the action of predicting toxic factor.

Results and Discussion

The process of bioconversion of organic substances at composting can occur both in anaerobic and aerobic conditions. They are accompanied by changes in the temperature and the pH of the reaction mixture. In artificial conditions, aerobic decomposition of the organic substrate by saprophytic aerobic microflora demonstrates the highest efficiency compared with anaerobic ones. At the aerobic decomposition of organic components, the energy output is at least 20 times higher than the exothermic effect of the anaerobic process at the same substrate. The overall thermochemical equations of the specified reactions are as follows [13]:

– In aerobic condition: $C_6H_{12}O_6 + O_2 + H_2O \rightarrow 6CO_2 + 12H_2O + 38ATP$: Energetic output: 1 mol ATP corresponds to 40...60 kJ: so, 38 mol $\times$ 50 KJ/mol (average) = 1900 kJ or 456 kcal;

– In anaerobic condition: $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + 2ATP$: Energetic output: 1 mol ATP corresponds to 40...60 kJ. So, 2 mol ATP $\times$ 50 KJ/mol (average) = 100 kJ or 25 kcal.

The first step of composting starts at environmental temperature (20...25 °C), when wild microbiota presenting in the initial compost mixture (or with added microbial active consortium “EXTRACON”® in two variants) has begun to reproduce actively. After 12-20 days, it was recorded that the temperature increased up +40 °C. This means that the mesophilic stage has been passed. This stage was accompanied by a change in pH value. As a result of the acidification of reacting mixture, the pH has dropped by 0.6...1.5 units in variants the 2^d, 3^d, 4th, and 5th; by 0.3-0.4 pH units – in variants 1st and 6th.

A few days later, the temperature continued to rise to +65 °C. This means the beginning of the thermophilic stage when the mesophilic microorganisms died. After reaching the temperature maximum, a decrease in the number of fungi (cellulose and lignin destructors) was observed.

At this stage of composting, bacillary forms of microorganisms dominate and the fastest decomposition occurs for sugars, starches, fats, proteins, and then more complex compounds. The decomposition process is accompanied by gaseous ammonia, methane and carbon dioxide releases. The substrate medium stabilized at a slightly alkaline level for variants the 2^d, 3^d, 4th, 5th, and 6th and in the control, variant 1st had a pH below 7. This stage lasted about 10 days. In the next stage (decay stage), the temperature is reduced to the ambient level. The pH of the compost mass is also slightly reduced. Fungi and actinomycetes actively decomposed polysaccharides, hemicellulose, and cellulose to monosaccharides. At the final stage (maturation phase), the processes of transformation of lignin and proteins of dead microorganisms took place, the end products of which are humic acids. This stage is the longest. In the described laboratory experiment, it was about 30 days.

It was visually established that the most complete bioconversion of the reaction mixture was observed in the 3^d and 6th variants, which in their composition contain 60 wt. % cattle manure, 30 % wt. peat and 10 % wt. drilling waste. In addition, “EXTRACON”® accelerated composting process in 6th variant. Since these options didn't contain straw, which is a natural complex polymer, decomposition and composting processes were faster and more intensive. Fig. 2 shows the view of the reaction mixtures 60 days after the start of the experiment.



Figure 2. The view of composted mixture series after 60-day bioconversion (numbers are corresponded to variants in Table 3)

The temperature in the reactors stabilized and kept at 25 °C. In some cases, mold fungi began to actively develop on the compost surface due to the presence of nutritive organic substances and sufficient moisture.

Data on the content of nutrients in composts are presented in Fig. 3. It was found that the compost mixtures

of the 2^d, 3^d, 5th, and 6th variants contained Potassium and Phosphorus 1.5...2 times more than the original manure. Apparently, this is due to Potassium influx with drilling waste, and the increase in Phosphorus content is the result of microbiological bioconversion of organic additives.

In the 4th variant, where the content of drilling waste increased to 20 %, a relative decrease in Nitrogen and Potassium content was observed. It could be due to the toxic effect of drilling waste on the microbiota.

Analysis of Lead and Cadmium content in composts (Table 4) shows that the slight excess of Cadmium permitted level was observed in the 4th, 5th, and 6th variants. But potentially it could be led to its accumulation in root tissues, causing their damage and inhibiting the germinating. Lead content in all variants didn't exceed permitted concentrations.

For the evaluation of potential possible toxicity of composts contained drilling wastes, the next stage of this research was the aim to assess their phytotoxicity to seedlings of common wheat *Triticum aestivum* L. Results are presented in Fig. 4 and Table 5.

According to data presented in Table 5, a positive dynamics of germination was observed in the 2d version of the compost mixture only, compared to the control

one. The rest of the compost variants, containing drilling waste, tend to suppress seed germination, which may be evidence of the presence of undefined wheat germination inhibitors in the substrates.

For a more complete understanding of the phytotoxic effect, the length of the root and shoot was measured for each germinated seed. After measuring, the phytotoxic effect was determined according to Eq. 1. The results of the FE calculation are shown in Table 6.

Assessment of phytotoxicity of composts shows the negative impact of drilling waste presented in compost composition. In particular, growth processes of root formation of wheat are inhibited, although in general, the level of toxicity is relatively weak. The second version of the compost substrate, which included manure, straw, and drilling waste, despite low phytotoxicity, may be quite promising for use in agriculture, for example, for fertilization of low-sensitive technical crops.

At the same time, the use of obtained biocomposts as bioinorganic fertilizers is regulated by the content of toxic components, such as heavy metals Pb and Cd. The regulation of the content of heavy metals in fertilizer is based on the maximum allowable concentrations of metals in the soil. Calculation of the theoretically permissible norms of the obtained biocomposts accord-

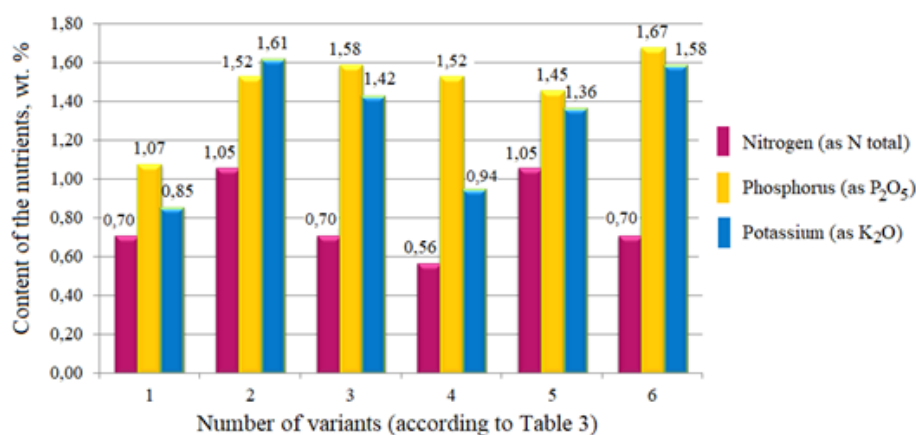


Figure 3. Content of nutrients in composts

Table 4

Content of heavy metals in examined composts

# of variant	Concentration, mg/kg	
	Lead Pb	Cadmium Cd
1 (control)	0,34 ± 0,07	0,24 ± 0,05
2	1,44 ± 0,21	0,24 ± 0,04
3	1,76 ± 0,30	0,51 ± 0,10
4	2,26 ± 0,34	0,75 ± 0,11
5	1,76 ± 0,30	0,90 ± 0,14
6	2,67 ± 0,40	0,83 ± 0,13
The maximum permitted level (MPL) in soils, mg/kg	32 mg/kg (total) 6 mg/kg (exchangeable or moving form) [20] 100 mg/kg [21]	6 mg/kg (total) 0,7 mg/kg (exchangeable or moving form) [20] 34 mg/kg [21, residential area]

ing to the content of Pb and Cd in them is carried out according to Eq. 2 [13]:

$$D_{HM} = \frac{(0,8 \times MPL - B) \times 3000}{C_{HM}} \quad (2)$$

where D_{BM} – theoretically permissible amount of compost, t dry wt. /ha;

MPL – maximum permitted level of heavy metal content in soil, mg/kg of soil (See Table 4);

B – background heavy metal content in soil, mg/kg;

C_{HM} – content of a heavy metal in compost, mg/kg of soil dry wt.;

3000 – the dry weight of the arable soil layer, t/ha.

The results of such calculations for conditional soil with the content of Pb 20 mg/kg and Cd 0.4 mg/kg, where the obtained biocomposts would be applied, are shown in Table 7.

It is known that in order to maintain a deficit-free humus balance in soils, the need for organic fertilizers is 10-18 t/ha [13]. When processing the estimated mass of 3000 tons of drilling waste from one well into biocomposts according to the recipe of the 2^d and 3^d variants, 30,000 tons of compost mass can be obtained. Another factor that may limit the nutrient content of

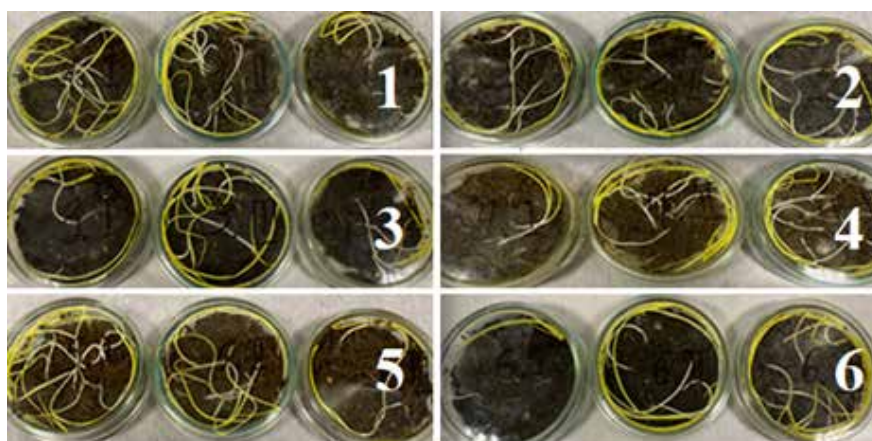


Figure 4. The view of test plants grown on examined composts (the 1st variant – control).
Numbers of variants – as in Table 3

Table 5

The number of germinated grains on the variants of compost mixtures

# of variant	Replication			Average
	The 1 st	The 2 ^d	The 3 ^d	
1 (control)	8	10	3	7,0
2	7	10	7	8,0
3	3	3	5	3,7
4	2	6	8	5,3
5	9	6	3	6,0
6	1	5	9	5,0

Table 6

Variability in seed germination and phytotoxicity assessment of the substrates

# of variant	The average quantity of germinated seeds	The level of the growth process inhibition or phytotoxicity (FE, %)	Phytotoxicity relative assessment (verbal description)
1	7,0	0	Control
2	8,0	12	Weak
3	3,7	32	Moderate
4	5,3	Minus 19	No symptoms; results were better than control – stimulation effect
5	6,0	Minus 11	No symptoms; results were better than control – stimulation effect
6	5,0	6	Weak

Table 7

**Calculation of the theoretically permissible quantity of compost (tons/ha)
based on the content of Pb and Cd**

# of variant	Calculation based on Lead Pb content in compost		Calculation based in Cadmium Cd content in compost	
	Pb, mg/kg of compost	D _{Pb} , tons/ha	Cd, mg/kg of compost	D _{Cd} , tons/ha
Soil (background)	20,0		0,40	
1	0,34	49411	0,24	25000
2	1,44	11666	0,24	25000
3	1,76	9545	0,51	11754
4	2,26	7433	0,75	8000
5	1,76	9545	0,90	6666
6	2,67	6296	0,83	7229

composts is their total nitrogen content. It is not allowed to apply total nitrogen with organic fertilizers over 300 kg/ha, including mineral nitrogen, which exceeds the annual yield of the crop under which the fertilizer is applied [22].

According to this regulation, the biocompost application prepared as in the 2^d and 3^d variants, is limited to 30 and 40 tons per hectare, respectively. From this, it can be calculated that the application of 30000 tons of compost mass on an area of 1000 ha will practically not change the natural background of the soil in terms of the content of Pb and Cd.

Conclusion

Finally, it was shown the principle possibility to convert drilling wastes to environmentally friendly bioinorganic substrates using their microbiological treatment in the bioconversion process in the mixture containing dried drill waste, wheat straw, cattle bedding manure, and sapric peat in different proportions. We tried to accelerate the organic matter transformation in composting mixture by addition of microbiological community "EXTRACON"[®].

It has been established that the most effective formulations for bioconversion processing contain 10 % drill cuttings, and the remaining organic components

(manure, straw, peat as sources of nitrogen and phosphorus). The limiting factors for the duration of the composting process are temperature and humidity. An increase in the content of drill cuttings up to 20 % in the mixture slows down the bioconversion process.

The negative impact of drilling waste in the composition of the tested organo-mineral compositions of biocomposts was revealed by laboratory studies of phytotoxicity for wheat seedlings. The inhibition of growth processes of root formation of wheat was revealed, although in general the level of phytotoxicity is relatively weak. The variant of the compost substrate, including manure, straw, and drilling waste, despite its weak phytotoxicity, can be quite promising for use in agriculture, for example, for fertilizing industrial crops with low demands. The limiting factors for the use of the resulting biocomposts as bioinorganic fertilizers were calculated in terms of the content of toxic components of heavy metals Pb and Cd and the norms of total nitrogen. It can be assumed that the processing of 3,000 tons of drilling waste from one well for 30,000 tons of compost mass and its application as a bioinorganic fertilizer at the rate of 30 tons/ha is not only environmentally friendly, but can also provide a fairly high level of plant nutrition.

References

1. Treatment and novel resource-utilization methods for shale gas oil based drill cuttings – A review / H. Hang Yang et al. *Journal of Environmental Management*. 2022. Vol. 317. Article 115462.
2. Mikos-Szymańska M., Rusek P., Borowik K. Characterization of drilling waste from shale gas exploration in Central and Eastern Poland. *Environ Sci Pollut Res*. 2018. Vol. 25. P. 35990-36001.
3. Laboratory characterization of residual sludge from natural gas extraction by hydraulic fracturing in the Burgos Basin, Mexico / A. Maldonado-Torres et al. *Bioremediation Journal*. 2018. Vol. 22. P. 147-160.
4. Kazamias G., Antonis A., Zorpas A.A. Drill cuttings waste management from oil & gas exploitation industries through end-of-waste criteria in the framework of circular economy strategy. *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 322. Article 129098.
5. Imarhiagbe E.E., Obayagbona N.O. Environmental Evaluation and Biodegradability of Drilling Waste: A Case Study of Drill Cuttings from Ologbo Oilfield Wells at Edo State, Nigeria: in S. Ouadfeul, L. Aliouane (eds.). *Oil and Gas Wells*. 2019. London: IntechOpen. 10.5772/intechopen.88612.
6. The fate of waste drilling fluids from oil & gas industry activities in the exploration and production operations / J. Njuguna et al. *Waste Management*. 2022. Vol. 139. P. 362-380.
7. Mykhailovska O., Zotsenko M., Kulik V. Development of a method of utilization of oil and gas industry waste at Pereshchepyno field (Ukraine). *Technology Audit and Production Reserves*. 2022. Vol. 3 (65). P. 26-30.
8. Тимофеев С.С., Тимофеева С.С., Медведева С.А. Биотехнологическая утилизация нефтешламов и буровых отходов. *Вестник ИргТУ*. 2010. № 1. С. 158-163.

9. Morel P., Guillemain G., Sagah I. Assessment of the Possible Phytotoxicity of a Substrate Using an Easy and Representative Biotest. *Acta Horticulturae*. 2004. Vol. 644. P. 417-423.
10. Biotests for environmental quality assessment of composted sewage sludge / A. Kapanen et al. *Waste Management*. 2013. Vol. 33, no 6. P. 1451-1460.
11. ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007 [Чинний від 01.12.2007]. Система стандартів безпеки праці в будівництві. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. Київ, 2007. 22 с.
12. ГСТУ 41-00 032 626-00-007-97 [Чинний від 01.07.97]. Охорона довкілля. Спорудження розвідувальних і експлуатаційних свердловин на нафту і газ на суші. Правила проведення робіт. Додаток К. Методичні вказівки щодо визначення класу небезпеки відходів буріння. Київ, 1997. 48 с.
13. Біоконверсія органічних відходів: теорія і практика / М. С. Слободяник та ін. Ніжин, видавник Лисенко ПП, 2015. 208 с.
14. Babaei A., Safdari F., Alavi N., Bakhshoodeh R., Motamedi H., Paydary P. Co-composting of oil-based drilling cuttings by bagasse. *Bioprocess and Biosystems Engineering*. 2020. Vol. 43, no 1. P. 1-12.
15. Особливості формування просторово-функціональної структури мікробного біому ґрунту та його активність за трансформації рослинних решток / М. В. Патики та ін. *Мікробіологічний журнал*. 2017. Т. 79, № 5. С. 91-104.
16. Hoskins B. R. Soil testing handbook for professionals in agriculture, horticulture, nutrient and residuals management (the 3d edition). Maine Forestry & Agricultural Experiment Station, University of Maine. 1997. 118 pp.
17. MBV 081/36-0790-11 [Введено 27.12.2011]. Методика виконання вимірювання масової концентрації свинцю, міді, цинку та кадмію у воді методом інверсійної хронопотенціометрії. Розробники: В.А. Копілевич та ін. Київ, 2011. 21 с.
18. The Usage of Plant Test Systems for the Determination of Phytotoxicity of Contaminated with Petroleum Products Soil / L. Cherniak et al. *Journal of Ecological Engineering*. 2021. Vol. 22, Issue 6. P. 66-71.
19. Karaczun Z.M., Obidoska G. Zarska B. Phytotoxicity and phytogenotoxicity of soil and air in the vicinity of a petrochemical plant in Plock (Poland). *Environ Sci Pollut Res*. 2020. Vol. 27. P. 24430-24437.
20. Нормативи гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин у ґрунтах, а також перелік таких речовин [Чинні від 5.12.2021]. Затверджено Постановою Кабінету міністрів України від 05.12.2021 № 1325. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1325-2021-%D0%BF#Text>.
21. Lead; Identification of Dangerous Levels of Lead. A Rule by the Environmental Protection Agency on 01/05/2001.
22. Burton, C.H., Turner, C. Manure Management: Treatment Strategies for Sustainable Agriculture. 2003. Editions Quae. Farm manure Series. P. 129-130.

УДК 504.054

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.5-44.42>

БІОІНДИКАЦІЯ ТЕХНОГЕННИХ ЕДАФОТОПІВ СМІТТЄЗВАЛИЩ ПЕРЕДКАРПАТСЬКОГО ГЕОБОТАНІЧНОГО ОКРУГУ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРЕДСТАВНИКІВ РОДИНИ *BRASSICACEAE*

Король К.А., Шуплат Т.І.

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності
вул. Клепарівська, 35, 79007, м. Львів
katkincheshi@gmail.com

У даній науковій статті розглянуто використання біотестування, як інформаційного методу вивчення забруднення довкілля (едафотопу), різноманітними токсичними речовинами на території малих сміттєзвалищ Львівської області (Броницького, Бориславського та Стрийського).

Мета дослідження полягає у експериментальних визначеннях токсичної дії на неорельєф, що базується на основі ефективності реакції тест-рослин родини *Brassicaceae*. Лабораторні дослідження проводились в науково-дослідній лабораторії екологічної безпеки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. Використано ґрунтознавчий, біоіндикаційний, морфологічний, біометричний і статистичний методи.

Встановлено, що родина *Brassicaceae* показала високі біометричні показники на 10-й день висадження насіння. Найкращими показниками росту характеризуються проби пророслих рослин *Raphanus sativus* var. *radicula* Pers., *Sinapis alba* L., які переважали в кількості від 5 до 9 рослин в кожному зразку. Довжина пагону становила від 5 до 11 см., а кореня від 3 до 5 см. Найнижчі показники проростання продемонстрували проби *Brassica napus* L., де кількість пророслих рослин коливалася від 3 до 7, ріст пагону сягав від 9 до 12 см., а кореня 3-5 см. В наслідок проведених лабораторних досліджень фітоіндикації субстратів Броницького, Бориславського та Стрийського сміттєзвалищ тест-культурами – *Lepidium sativum* L., *Raphanus sativus* var. *radicula* Pers., *Brassica napus* L., *Sinapis alba* L. встановлено, що найбільш толерантним видом до техногенних забруднень є *Lepidium sativum* L. та *Sinapis alba* L., оскільки ці види розвивається на досліджуваних субстратах усіх ділянок сміттєзвалищ. Показники росту тест – культур на едафотопіях сміттєзвалищ свідчать про техногенний пресинг небезпечних чинників цих об'єктів на довкілля в цілому. **Ключові слова:** тест-рослини, біоіндикація, сміттєзвалище, екологічна небезпека.

Bioindication of man-made edaphotopes of landfills of the Pre-Carpathian Geobotanical District using representatives of the brassicaceae family. Korol K., Shuplat T.

This scientific article considers the use of biotesting as an informational method of studying environmental pollution (edaphotope) by various toxic substances on the territory of small landfills in the Lviv region (Bronitsky, Boryslavsky and Stryisky).

The purpose of the study is to experimentally determine the toxic effect on non-relief based on the effectiveness of the reaction of test plants of the Brassicaceae family. Laboratory studies were conducted in the research laboratory of environmental safety of Lviv State University of Life Safety. Soil science, bioindication, morphological, biometric and statistical methods were used.

It was found that the Brassicaceae family showed high biometric indicators on the 10th day of planting seeds. The best growth rates are characterized by samples of germinated plants *Raphanus sativus* var. *radicula* Pers., *Sinapis alba* L., which prevailed in the amount of 5 to 9 plants in each sample. Shoot length ranged from 5 to 11 cm, and root length from 3 to 5 cm. The lowest germination rates were demonstrated by the samples of *Brassica napus* L., where the number of germinated plants ranged from 3 to 7, shoot growth ranged from 9 to 12 cm, and root 3-5 cm. As a result of laboratory studies of phytoindication of substrates of Bronitsky, Boryslav and Stryi landfills with test crops – *Lepidium sativum* L., *Raphanus sativus* var. *radicula* Pers., *Sinapis alba* L. it was found that the most tolerant species to anthropogenic pollution is *Lepidium sativum* L. and *Sinapis alba* L., as these species develops on the studied substrates of all landfill sites. The growth rates of test cultures on edaphotopes of landfills indicate the technogenic pressure of hazardous factors of these objects on the environment as a whole. **Key words:** test plants, bioindication, landfill, environmental hazard.

Вступ та аналіз останніх досліджень та публікацій

Одним із напрямків біоіндикації стану довкілля є використання рослинного матеріалу в якості тест-культур. У таких дослідженнях акцентується увага на використанні груп рослин із вираженими ідентифікаційними до забруднення властивостями.

Науковцями опубліковано значну кількість робіт, присвячених дослідженню особливостей деастованих едафотопів, їх фізико-хімічних властивостей, біологічної активності, забруднення важкими металами тощо. Особливості використання тест-систем

для оцінки токсичності субстрату території висвітлені у багатьох роботах.

У своїй роботі Гринчишин Н.М. та Бабаджанова О.Ф. «Фітотоксичність нафтозабруднених ґрунтів на прикладі крес-салату (*Lepidium sativum* L.)» представили результати власних лабораторних досліджень в умовах яких було вивчено вплив різних концентрацій нафти в бурому і сірому лісовому субстратах на довжину кореня та висоту стебла *Lepidium sativum* L. Досліджено, що забруднення бурого і сірого лісових ґрунтів нафтою інгібує процеси росту довжини кореня та висоти стебла *Lepidium sativum*

Л. Досліджено, що нафтозабруднені субстрати, які відрізняються гранулометричним складом, виявляють різну токсичність на тест-реакції *Lepidium sativum* L.: нафта проявляє більший токсичний ефект на довжину кореня у бурому та на висоту стебла у сірому лісовому субстратах. Встановлено, що найбільш інформативним показником *Lepidium sativum* L., який може бути використаний для визначення фітотоксичності сірого субстрату в межах 15-40% забруднення його нафтою, є біометричні параметри висоти стебла [3].

Валерко Р.А. у своїй роботі «Особливості біотестування антропогенно забруднених субстратів з метою їх екотоксичної оцінки» показує, що методи біотестування ґрунтуються на вивченні особливостей зворотної реакції тест-організмів на дію комплексу негативних факторів і дозволяють визначити рівень екологічної безпеки. Біотестування, як метод біологічного контролю дозволяє встановити ступінь токсичності середовища і має відповідати вимогам сучасного біомоніторингу. Метод біотестування субстрату, забрудненого сполуками кадмію, за допомогою тест-об'єкту родини *Brassicaceae* може успішно використовуватися для біоіндикації субстрату [1].

В роботі Григорчука І.Д. «Використання рослинних біоіндикаторів для оцінки токсичності ґрунтів на території м. Кам'янець-Подільського» встановлено, що субстрати поблизу автомобільних шляхів належать до середньо забруднених, а використання тест-рослин дає можливість визначити їх фітотоксичність [2].

Група вчених Грицак Л.Р., Барна І.М., Кодлюк І.М., Сельська І.І., Сплавінська Ю.Т., Сукар Х.В. і Барна С.С., які працювали над роботою «Біоіндикаційні методи для потреб системного аналізу якості довкілля» прийшли до висновку, що екологічні реалії сьогодення є множиною факторів, які продуковані різними за походженням джерелами забруднення. Їх функціонування характеризується сукупністю величин, змінних в часі та підпорядкованих геопросторовим особливостям території. Відтак, забезпечення декларованої державою безпечної для життя та здоров'я якості довкілля чи окремого його компоненту вимагає врахування не лише якісних й кількісних показників емісій, але й системного аналізу. Реалізація цього завдання неможлива без використання методів біоіндикації з метою діагностики якості навколишнього середовища. Вивчення біоіндикаційних властивостей окремих видів дозволяє встановити наявні зміни якості довкілля. Прогностична функція біоіндикаційних методів в цьому контексті є вкрай затребуваною завдяки уможливленню ефективних управлінських рішень і заходів щодо зниження величини техногенного навантаження [4].

Feodor Filipov та Esmeralda Chiorescu в своїй роботі «*Equisetum arvense* L. as a bioindicator of acid soils» прийшли до висновку, що біоіндикаторні види

рослин корисні при вирішенні питання, які види або сорти рослин можна вирощувати та який аналіз субстрату, як можна покращити субстрати з деякими обмеженнями для вирощування рослин. Зменшення кислих субстратів можна досягти методом вапнуванням. У таких випадках здійснюється внесення в ґрунт карбонату кальцію знижуванням кислотності не завжди виправдано. У даному випадку це не виправдано проводити дренажні роботи. Розглядалися результати, отримані в результаті проведених досліджень щодо характеристик місця проживання виду досить корисні для вжиття стійких заходів щодо управління ґрунтовими ресурсами [13].

Групою вчених Mirko Salinitro, Alessandro Zappi, Sonia Casolari, Marcello Locatelli, Annalisa Tassoni, Dora Melucci було проведено дослідження за темою «The Design of Experiment as a Tool to Model Plant Trace-Metal Bioindication Abilities». В якому вони дійшли до висновку, що при спостереженні певні значні ефекти взаємодії між металами, що дає можливість моделювати поглинання рослинами певного елемента під час росту в поліметалевих субстратах. Це дослідження продемонструвало, що є корисним для прогнозування потенціалу біоіндикації видів рослин перед їх застосуванням на польових рівнях. Воно показало, що тест-рослину можна ефективно використовувати як біоіндикатор Cd і Cr, оскільки моделі вказували на відсутність взаємодій з іншими металами та лінійне поглинання цих елементів. Також було показано, що загалом поглинання певного металу не можна розглядати незалежно від присутності інших металів, але необхідно звернути увагу на взаємодію металу, що цікавить. Однак таке дослідження має супроводжуватися фізіологічним дослідженням, пов'язаним із механізмами поглинання металів, а також польовими випробуваннями, корисними для підтвердження фактичної ефективності біоіндикації елементу. Крім того, інші змінні, такі як фізико-хімічні характеристики субстрату, повинні бути включені в модель, щоб зробити її більш реалістичною та схожою на реальні умови навколишнього середовища.

Токсичні речовини при попаданні в довкілля стають одним з основних чинників його забруднення, оскільки викликають зміни неорельєфу. Вони також порушують біологічний баланс і процес самоочищення в екосистемі, які можуть призвести до непередбачуваних змін у довкіллі.

Родина *Brassicaceae*, широко використовується для потреб біотестування в Канаді, США та країнах ЄС (OECD 208, 2003; Phytotoxkit). Вплив випробуваних зразків на тест – рослинах можна оцінити за різними тест-параметрами, зокрема, кількістю пророщеного насіння, довжинами коренів та пагонів.

Метою роботи було визначення чутливості тест-організмів родини *Brassicaceae* до токсичності субстратів сміттєзвалищ в Передкарпатському регіоні України.

Матеріали, методи та аналіз дослідження

В якості рослин індикаторів було використано ряд представників родини *Brassicaceae*: *Lepidium sativum* L., *Raphanus sativus* var. *radicula* Pers., *Brassica napus* L. та *Sinapis alba* L.

Розвиток та енергію проростання насіння визначили у відповідності з державними стандартами: ДСТУ 4138 – 2002 і ДСТУ –2240-93.

Було відібрано 48 зразків субстрату з різних ділянок Броницького, Бориславського та Стрийського сміттєзвалищ. Ґрунтові зразки відбирались із усіх сторін горизонту, на глибині 10 см. В лабораторних умовах засівали по 10 насінин кожної із тест – рослин у чашки Петрі, закладали та знімали сіянці в один і той самий час. Дослід проводився при кімнатній температурі + 20°C і природньому освітленні у приміщенні лабораторії. Періодично проводився полив відстояною водою. Через 10 діб сіянці були вилучені з досліджуваних субстратів. Протягом дослідження велося спостереження за низкою показників: кількістю пророслених екземплярів рослин у чашці Петрі, вимірювання довжини надземної частини рослини та вимірювання довжини кореневої системи (рис. 1)

У відповідності до отриманих результатів можна розподілити досліджувані едафотопи за наступними групами: забруднення відсутнє – проростання насіння 90-100%; слабе забруднення – проростання насіння 60-90%; середнє забруднення – проростання насіння 20-60% і сильне забруднення – проростання насіння менше 20%.

Ступені забруднення субстратів, аналізували з кількості паростків досліджуваних рослин, які проросли. Враховувалась особливість, що при підвищеній концентрації забруднюючих речовин у субстратах сповільнюється проростання насіння та знижується інтенсивність фізіологічного розвитку сіянців (рис. 2)

Перші паростки *Lepidium sativum* L., почали з'являтися на 2-3 день. На 10-й день проведення дослідження рослини були вибрані із пророслого середовища та опрацьовані. Отримані дані проілюстровані на рисунках 3, 4 і 5.



Рис. 2. Пророслені рослини в субстраті перед початком замірів (фото Король К.А., 2021 р.)

На зразках субстрату Броницького сміттєзвалища *Lepidium sativum* L. показав найкращу динаміку росту на східному боці сміттєзвалища у кількості – 9 сіянців, та північного боку – 8 сіянців. Дещо менша динаміка була встановлена з південної та західної сторін – 7 сіянців. Отримані результати свідчать про незначне забруднення субстрату на даному сміттєзвалищі.

Зразки субстрату з Бориславського сміттєзвалища краще проросли з північної та південної сторін у кількості – 7 сіянців. Зі східної сторони – 6 сіянців та з західної сторони у кількості 5 сіянців. Отримані дані проростання свідчать про слабе забруднення субстратів майже на усьому сміттєзвалищі, окрім західного боку, де ідентифіковане середнє забруднення.

На території Стрийського сміттєзвалища найвища динаміка спостерігалась з східної сторони – 6 сіянців, північної сторона – 6 сіянців та з західної сторони – 7 сіянців. Дещо меншим було проростання на субстраті з північної сторони – 5 сіянців. Це свідчить про те, що все сміттєзвалище є слабо забруднене, окрім західного боку, яке має показник середнього забруднення субстрату (Рисунок 3).

На досліджуваних субстратах Броницького сміттєзвалища вирощений *Lepidium sativum* L. показав найкращу динаміку росту пагону на західному боці

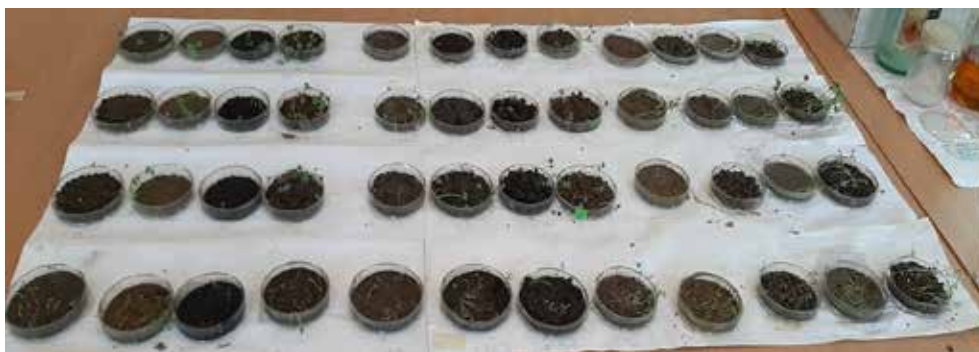


Рис. 1. Зразки субстрату з проросленими тест – рослинами (фото Король К.А., 2021 р.)

Рис. 3. Кількість вирощених рослин *Lepidium sativum* L. на субстратах сміттєзвалищРис. 4. Довжина вирощеного паростку *Lepidium sativum* L. на субстратах сміттєзвалищРис. 5. Довжина кореневої системи *Lepidium sativum* L. на субстратах сміттєзвалищ

з довжиною 7,8 см паростку та північного боку – 7,2 см. Дещо менший ріст з східної сторони – 6,4 см., та найнижчий рівень росту зафіксований на зразках субстрату з південного боку – 5,7 см., що свідчить про слабе забруднення субстратів на цьому сміттєзвалищі.

На досліджуваних зразках Бориславського сміттєзвалища краще проросли пагони з південного боку завдовжки – 7,7 см., з східної і західної сторін – 6,1 см кожна, а з північного боку – 5,4 см. З отриманих даних пророщених *Lepidium sativum* L. можна побачити слабе забруднення субстратів майже на всій території сміттєзвалища.

На території Стрийського сміттєзвалища найкращу динаміку *Lepidium sativum* L. встановлено з східної сторони – 7,5 та південної сторони – 7,4 см. Західна і північна сторони дали довжину паростка 6,7 см., що свідчить про те, що все сміттєзвалище є слабо забруднене (Рисунок 4).

Lepidium sativum L. який був вирощений на зразках субстрату Броницького сміттєзвалища показав найвищу динаміку росту кореневої системи: на

південному боці – 6,3 см., з західного боку – 5,7 см і східного – 5,2 см. Дещо нижчий ріст кореневої системи зафіксований на північній стороні – 4,3 см. Що вказує на відповідність меншого кореня до вищого паростку.

На досліджуваних зразках з Бориславського сміттєзвалища корені *Lepidium sativum* L. проросли наступним чином: з південного боку – 5,2 см., з східної сторони – 4,5 см., із західної сторони – 4,7 см. і з північної – 2,5 см. З отриманих даних бачимо північну сторону, як найнесприятливішу у для проростання рослин.

На території Стрийського сміттєзвалища найвищу динаміку спостерігали з східної сторони – 5,4 см., з західної сторони – 5,7 см та з південного боку – 5,3 см. Значно нижчу довжину кореня зафіксовано з північної сторони – 3,2 см. Це свідчить про те, що майже все сміттєзвалище є слабо забрудненим, окрім західного боку яке має середнє забруднення (Рисунок 5).

Також, нами було висаджено зразки *Raphanus sativus* var. *radicula* Pers., які показали наступні

результати: перші паростки даного зразка почали з'являтися на 3-5 день. На 10-й день проведення дослідження рослини були витягнуті з пророщеного середовища та опрацьовані їх біометричні параметри.

На субстратах Броницького сміттєзвалища, на якому проходить природня фітомеліорація, отримуємо досить високі результати росту *Raphanus sativus* var. *radicula* Pers. Зразок субстратів в який були посіяно насіння редиски з північної сторони у кількості 7 сіянців та з південної сторони – 7 сіянців була найсприятливішою та східна сторона – 6 сіянців і західна сторона – 5 сіянців *Raphanus sativus* var. *radicula* Pers., дещо нижчою, що характеризується слабким забрудненням з північного, південного та східного боку та середнім з західного.

Субстрати з Бориславського сміттєзвалища показали найкращий результат з південної сторони – 7 сіянців та східної сторони – 6 сіянців *Raphanus sativus* var. *radicula* Pers. Дещо гірші з північної – у кількості 5 сіянців, та західної сторони – 5 сіянців *Raphanus sativus* var. *radicula* Pers. Де слабке забруднення з східної та південної сторони, а північної та західної характеризується середнім забрудненням субстратів.

Дещо нижчі результати отримали з субстратів Стрийського сміттєзвалища, де найкращу динаміку проростання було зафіксовано з південної сторони – 7 сіянців та західної – 5 сіянців *Raphanus sativus* var. *radicula* Pers. та дещо нижчі з північної сторони – 5 сіянців та східної – 5 сіянців *Raphanus sativus* var. *radicula* Pers. Де північний та західний бік слабо забруднений, а північний та східний бік середньо забруднений (Рисунок 6).

На досліджуваних субстратах Броницького сміттєзвалища висаджений *Raphanus sativus* var. *radicula* Pers. показав найкращу динаміку росту пагонів на

західному боці з довжиною 7,3 см паростку та північного боку – 7,4 см. Дещо нижчий ріст пагона була встановлено з східної сторони – 6,3 см., та найнижчий рівень росту зафіксований на зразках субстрату з південного боку – 5,7 см. Що свідчить про слабе ступінь забруднення субстратів на об'єкті.

На досліджуваних зразках з Бориславського сміттєзвалища краще проросли пагони *Raphanus sativus* var. *radicula* Pers. з південного боку довжиною 7,5 см., та з східної – 6,4 см і західної сторони – 6,5 см. З північного боку – 5,8 см., що є найнижчою для даного сміттєзвалища. Та з отриманих даних пророщених *Raphanus sativus* var. *radicula* Pers. бачимо слабе забруднення субстратів майже на всьому сміттєзвалищі.

На території Стрийського сміттєзвалища найвищу динаміку *Raphanus sativus* var. *radicula* Pers. Зафіксовано з південної сторони – 7,8 см та східної сторони – 7,2 см. Західна сторона – 6,7 см., а північна сторони показала довжину паростка *Raphanus sativus* var. *radicula* Pers. – 6,1 см., що свідчить про те, що майже все сміттєзвалище є слабозабрудненим (Рисунок 7).

Raphanus sativus var. *radicula* Pers. який був висаджений на зразках субстратів Броницького сміттєзвалища, показав найкращу динаміку проростання на східному боці сміттєзвалища з довжиною 4,6 см. Дещо менший ріст кореневих систем встановлено з південного боку – 4,5 см та північного і західного – 3,5 см кожен.

На досліджуваних зразках з Бориславського сміттєзвалища пророщені корені *Raphanus sativus* var. *radicula* Pers. Проросли наступним чином: з південного боку довжиною кореня – 5,6 см., з західного боку – 4,8 см., із східної сторони – 3,4 см., а з північної сторони лише 2,7 см. Отримані дані свідчать про



Рис. 6. Кількість вирощених рослин *Raphanus sativus* var. *radicula* Pers. на субстратах сміттєзвалищ



Рис. 7. Довжина вирощеного паростку *Raphanus sativus* var. *radicula* Pers. на субстратах сміттєзвалищ

те, що північна сторона є найнесприятливішою для проростання рослинного покриву.

На території Стрийського сміттезвалища найкращу динаміку пророщеного кореню *Raphanus sativus* var. *radicula* Pers. спостерігалась з південної сторони – 4,7 см., західної сторони – 3,5 см., та з південного боку – 3,1 см. Значно менший корінь зафіксований з східної сторони – 2,4 см., що є індикатором слабого забруднення сміттезвалища (Рисунок 8).

Перші паростки *Brassica napus* L. почали з'являтися на 3-5 день. На 10-й день проведення дослідження рослини були вибрані з пророщеного середовища та опрацьовані.

Броницьке сміттезвалище показало найкращу динаміку проростання насіння *Brassica napus* L. з східної сторони – 7 сіянців. Дещо нижчою було проростання з північної сторони – лише 5 пророщених сіянців *Brassica napus* L., а південна сторона – 5 сіянців та західна сторони – 4 сіянці *Brassica napus* L. Східний бік сміттезвалища виявився слабо забрудненим, а інші сторони показали середню ступінь забруднення субстратів.

З зразків субстрату Бориславського сміттезвалища, у яке було висаджено насіння *Brassica napus* L. показало найнижчі результати проростання, вони наступні: східний бік – 7 сіянців, південний – 6 сіянців, північний – 5 сіянців та західний – 4 сіянці *Brassica napus* L. Отже північна, західна та південна сторони є середньо забрудненими, а східна відповідно слабо забруднена.

На зразках субстрату з Стрийського сміттезвалища найвищу динаміку було встановлено з західної сторони – 5 сіянців, дещо гірша з північної сторони –

3 сіянці, східна – 4 сіянці, південна – 3 сіянці, що є свідченням середнього рівня забруднення субстратів на усьому сміттезвалищі (Рисунок 9).

На досліджуваних субстратах Броницького сміттезвалища висаджений *Brassica napus* L. показав найвищу динаміку росту пагонів на східному боці з довжиною – 11,5 см пагона. З північного боку зафіксовано – 10,4 см., а з західного – 10,8 см. Сіянці пагона *Brassica napus* L. показали дещо менший ріст з південної сторони – 9,1 см., що є найнижчим рівнем росту зафіксованому на зразках субстрату.

На досліджуваних зразках з Бориславського сміттезвалища краще проросли пагони *Brassica napus* L. на субстратах з східного боку – 12,3 см., з західної сторони – 11,7 см., і північної сторони – 11,4 см. Найнижче відповідно на субстратах південного боку – 10,8 см. З отриманих даних пророщених *Brassica napus* L. бачимо слабке забруднення субстратів практично на цілому сміттезвалищі.

На території Стрийського сміттезвалища найвищу динаміку проростання *Brassica napus* L. зафіксовано з північної сторони – 12,6 см та західної сторони – 11,7 см паростку. Південна сторона показала довжину паростка – 10,3 см., а на субстратах східного боку – 9,4 см (Рисунок 10).

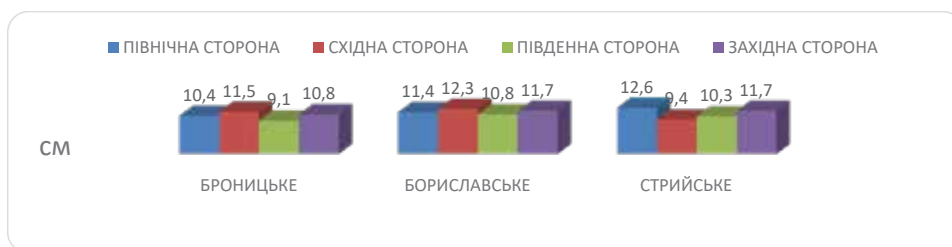
Brassica napus L. який був висаджений на зразках субстратів Броницького сміттезвалища показав найвищу динаміку пророщеного кореню на східному боці сміттезвалища з довжиною 5,6 см кореня. Дещо нижчий ріст кореню зафіксовано з північного боку – 4,7 см та південного – 4,1 см кореню *Brassica napus* L. Найнижчий ріст кореню був зафіксований з західної сторони – 3,5 см., що



Рис. 8. Довжина вирощеного кореню *Raphanus sativus* var. *radicula* Pers. на субстратах сміттезвалищ



Рис. 9. Кількість вирощених рослин *Brassica napus* L. на субстратах сміттезвалищ

Рис. 10. Довжина вирощеного паростку *Brassica napus* L. на субстратах сміттєзвалищРис. 11. Довжина вирощеного кореню *Brassica napus* L. на субстратах сміттєзвалищРис. 12. Кількість вирощених рослин *Sinapis alba* L. на субстратах сміттєзвалищ

вказує відповідність меншого кореня до вищого паростку *Brassica napus* L.

На досліджуваних зразках з Бориславського сміттєзвалища проросли корені *Brassica napus* L. проросли з північного боку довжиною у 5,8 см., з західної сторони – 4,6 см. Із східної сторони він становив – 4,3 см., а з південної сторони – найменше – 3,5 см. З отриманих даних бачимо південну сторону сміттєзвалища, як найгіршу для проростання сіянців *Brassica napus* L.

На території Стрийського сміттєзвалища найвищу динаміку пророщеного кореню *Brassica napus* L. встановили з північної сторони – 6,7 см, східної сторони – 5,9 см та з південного боку – 4,7 см відповідно. Значно меншу довжину кореневої системи зафіксовано з західної сторони – 4,5 см. про те, що досліджуване сміттєзвалище є слабо забрудненим (Рисунок 11).

Перші проростання паростків *Sinapis alba* L. з'явилися на 2-3 день. На 10-й день проведення дослідження рослини були вибрані з пророщеного середовища та опрацьовані їх біометричні параметри.

Броницьке сміттєзвалище показало найвищу динаміку для проростання *Sinapis alba* L. з північної та південної сторін у кількості 7 пророщених сіянців *Sinapis alba* L. Дещо гіршу з східної та західної сторони – 6 сіянців. На території даного сміттєзвалища субстрати класифікуємо як слабо забруднені.

Проростання на субстратах Бориславського сміттєзвалища найвищу динаміку показало з західного боку – 8 сіянців, з східного та південного – 7 сіянців *Sinapis alba* L. Значно нижча вона з північного боку – 5 сіянців. Субстрати на даному сміттєзвалищі є слабо забрудненими, а з північного боку – середньо забрудненими.

Отримані результати на субстратах відібраних на Стрийському сміттєзвалищі показало найвищі результати з північного боку – 8 сіянців, східного – 9 сіянців *Sinapis alba* L. Дещо нижчою виявилась динаміка проростання з південного та західного боків сміттєзвалища – 7 сіянців. Субстрати класифікуються як слабо забруднені (Рисунок 12).

На досліджуваних субстратах Броницького сміттєзвалища висаджений *Sinapis alba* L. показав най-

кращу динаміку росту пагону на західному боці з довжиною – 11,3 см та східному – 10,2 см. Дещо менший ріст пагона був встановленим з південної сторони – 9,8 см. Найнижчий рівень росту зафіксований на зразках пророщених на субстратах з північного боку – 9,1 см., що є свідченням слабого ступеня забруднення субстратів.

На досліджуваних зразках з Бориславського сміттєзвалища краще проросли пагони *Sinapis alba* L. з західного та східного боків завдовжки 11,3 см., з північної сторони – 10,2 см., а з південного боку – 9,8 см. Виходячи із отриманих результатів пророщених *Sinapis alba* L. присутнє слабе забруднення субстратів сміттєзвалища.

На території Стрийського сміттєзвалища найвищу динаміку проростання *Sinapis alba* L. виявлено з західної сторони – 11,8 см., з північної – 11,5 см., з південної – 10,3 см та східної відповідно сторони – 10,2 см., що свідчить про те, що ґрунти сміттєзвалища є слабо забрудненими (Рисунок 13).

Насіння *Sinapis alba* L., які були висіяні на зразках субстратів Броницького сміттєзвалища показали найвищу динаміку пророщеного коріння на південному боці сміттєзвалища з довжиною – 5,8 см., з північного та західного боку – 5,3 см. Дещо гірший ріст виявлено на східній стороні – 4,5 см.

На досліджуваних зразках з Бориславського сміттєзвалища пророщені корені *Sinapis alba* L. з західного боку становили – 4,8 см., з південної і північної сторони – 4,5 см., із східної сторони – 3,4 см *Sinapis alba* L. був найменший. Ці дані свідчать про те, що північна сторона найнесприятливіша.

На території Стрийського сміттєзвалища найвищу динаміку пророщеного кореню отримали з пів-

денної сторони – 4,1 см кореня, західної сторони – 3,8 см кореня, з північного боку – 3,3 см. Менший корінь зафіксований з східної сторони – 3,2 см. Це свідчить, що сміттєзвалище є слабо забрудненим, окрім західного боку (Рисунок 14).

Висновки

В наслідок проведених лабораторних досліджень фітоіндикації субстратів Броницького, Бориславського та Стрийського сміттєзвалищ тест-культурами – *Lepidium sativum* L., *Raphanus sativus* var. *radicula* Pers., *Brassica napus* L., *Sinapis alba* L. встановлено, що найбільш толерантним видом до техногенних забруднень є *Lepidium sativum* L. та *Sinapis alba* L. Оскільки ці види розвивається на досліджуваних субстратах усіх ділянок сміттєзвалищ.

За отриманими даними щодо проростання *Lepidium sativum* L. на субстратах відібраних на Броницькому сміттєзвалищі зі східного та західного боку проросло 60% посіяного насіння, з північного та південного боків – 70%. З субстратів Бориславського сміттєзвалища проростання з західного боку становило – 80%, з південного та східного боків по 70%, з північного – 50% досліджуваних рослин. На Стрийському сміттєзвалища – з східного боку проростання становило – 90%, з північного та західного боку – 70%, та південного – 80%.

Щодо отриманих даних *Sinapis alba* L., то з субстратів Броницького сміттєзвалища зі східного та західного боків проросло по 60% насіння, а з північного та південного боку – 70%. З Бориславського сміттєзвалища отримали проростання з західного боку – 80%, північного та східного боку по 70% та з південного – 50%. Щодо Стрийського сміттєзва-



Рис. 13. Довжина вирощеного паростку *Sinapis alba* L. на субстратах сміттєзвалищ



Рис. 14. Довжина вирощеного кореню *Sinapis alba* L. на субстратах сміттєзвалищ

лища то отримані дані показали наступні результати: з північного та західного боків відбулося проростання – 70% насіння, з південного – 80% та з східного – 90%.

Для фітотестування сміттєзвалищ рекомендуємо використовувати *Brassica napus* L. Цей вид найбільше реагує на рівень забруднення у посіданні із вологістю субстрату в польових умовах. З отриманих даних щодо проростання на субстратах з Броницького сміттєзвалища зі східного боку було зафіксовано 70%, з північного та південного боків – 50% та з західного – 40% посіяного насіння. З Бориславського сміттєзвалища отримали проростання з східної сторони – 70%, з північного боку – 50%, західного боку – 40% та з південного – 60%. Щодо Стрийського сміттєзвалища то отримані дані показали з північного та південного боку по 30% проростання, з західного – 50% та східного 40% пророщених висаджених паростків даного виду.

Нерівномірний ріст і розвиток таких фітосистем як *Raphanus sativus* var. *radicula* Pers. Свідчить про фрагментальне забруднення сміттєзвалищ необхідності проведення природної фітомеліорації за рахунок рослин – фітомеліорантів (рудероценозів).

За отриманими даними на субстратах з Броницького сміттєзвалища зі східного боку проросло 60% насіння, з північного та південного боків – 70% та з західного – 50% посіяного насіння. Відповідно з Бориславського сміттєзвалища отримали проростання з північного та західного боку по 50% та з східного і південного по 40%. Щодо Стрийського сміттєзвалища то отримані дані показали з північного боку – 70% проростання, з західного – 60% та південного і східного по 50% пророщених висаджених паростків даного виду. З огляду на фітотестування найбільш техногенно забрудненими є субстрати даного сміттєзвалища.

Література

1. Валерко Р.А. Особливості біотестування антропогенно забруднених ґрунтів з метою їх еко токсичної оцінки. *Вісник Харківського національного аграрного університету. Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство*. 2013. № 2. С. 262–266.
2. Григорчук І.Д. Використання рослинних біоіндикаторів для оцінки токсичності ґрунтів на території м. Кам'янця-Подільського. *Біологічні системи*. 2016. Т. 8. Вип. 2. С. 212–218.
3. Гринчишин Н.М., Бабаджанова О.Ф., Соседко К.С. Фітотоксичність нафтозабруднених ґрунтів на прикладі крес-салату (*Lepidium sativum* L.). *Науковий вісник НЛТУ України*. 2014. Вип. 24.10. С. 81–86.
4. Грицак Л.Р., Барна І.М., Кодлюк І.М., Сельська І.І., Сплавінська Ю.Т., Сукар Х.В., Барна С.С. Біоіндикаційні методи для потреб системного аналізу якості довкілля. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені В. Гнатюка. Серія: Географія*. 2017. № 2. С. 153–165.
5. Гродзінський А.М. Лікарські рослини: Енциклопедичний довідник. Київ, 1990. 544 с.
6. Губачов О.І. Особливості використання рослин для біотестування ґрунтів з метою визначення рівня екологічної безпеки промислових територій. *Науковий Вісник КУЕІТУ. Нові технології*. 2010. № 3 (29). С. 164–171.
7. Дідух Я.П. Основи біоіндикації. Київ, 2012. 344 с.
8. Клименко М.О., Прищепа А.М., Клименко О.М., Стецюк Л.М. Оцінювання стану водних екосистем за показниками біотестування. Рівне, 2014. 170 с.
9. Никифоров В.В., Дігтяр С.В., Мазницька О.В., Козловська Т.Ф. Біоіндикація та біотестування. Кременчук, 2016. 100 с.
10. Попович В.В. Біоіндикація техногенних едафотопів Львівського міського сміттєзвалища за допомогою тесту на крес-салат. *Вісник ЛДУ БЖД*, № 13. 2016. С. 107–111.
11. Фартушна Д.М., Комарова І.О. Біоіндикація стану едафотопів м. Кривого Рогу за цитогенетичними показниками *Allium sepa* L. *Екологічний вісник Криворіжжя*. 2018. вип. 3. С. 55–58.
12. Попович В.В. Поводження із твердими побутовими відходами (вітчизняний та зарубіжний контекст). *Комунальне господарство міст: науково-технічний збірник*. 2012. № 105. С. 476–482.
13. Feodor Filipov, Esmeralda Chiorescu *Equisetum arvense* L. as a bioindicator of acid soils. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*. Vol. LXIV, No. 1, 2021.
14. Academic Editors: Giuseppe Scarponi, Silvia Illuminati, Anna Annibaldi and Cristina Truzzi *Molecules* 2022, 27(6), 1844; <https://doi.org/10.3390/molecules27061844>
15. Weihang Shena, Nengwu Zhuab, Jiaying Cuia, Huajin Wanga, Zhi Dangab, Pingxiao Wuab, Yidan Luoa, Chaohong Shia *Ecotoxicity monitoring and bioindicator screening of oil-contaminated soil during bioremediation. Ecotoxicology and Environmental Safety* Volume 124, February 2016, P. 120–128.
16. Danute Marciulioniene, Danguo Montvydiene, Vilmante Karaviciene, William Hog *Lepidium sativum* L. as test-organism for assessment of environmental pollution kalmar Eco-Tech '05 and the second Baltic symposium on environmental chemistry Kalmar, Sweden, November 28-30, 2005.
17. Fargasova A. Root growth inhibition, photosynthetic pigments production, and metal accumulation in *Sinapis Alba* as the parameters for trace metals effect determination. *Bull Environ Contam Toxicol* 6. P. 762–769.
18. Magone L. Bioindication of phytotoxicity of transport emission. In: Kachalova O. L., editor. Bioindication of toxicity of transport emissions in the impact of highway emissions on natural environment. Riga, Latvia: Zinatne. P. 108–116.
19. Попович В.В. Фітомеліорація як засіб виведення сміттєзвалищ із експлуатації *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2015. № 11. С. 126–130.

ОЦІНКА ПОШИРЕННЯ ВЕРХІВКОВОГО КОРОЇДА (IPS ACUMINATOS) В СОСНОВИХ ДЕРЕВОСТАНАХ ПРИРОДНОГО ЗАПОВІДНИКА «ДРЕВЛЯНСЬКИЙ»

Мартиненко В.В.

Природний заповідник «Древлянський»
вул. Замкова, 188, 11401, смт. Народиці,

Інститут агроекології і природокористування Національної академії аграрних наук України
вул. Метрологічна, 12, 03143, м. Київ
martinenko.vasil@ukr.net

Стаття представлена розрахунку загрози поширення осередків всихання соснових деревостанів на території природного заповідника «Древлянський», що були спричинені верхівковим короїдом (*Ips acuminatos*).

У лісгосподарських підприємствах при встановленні бальної загрози поширення осередків всихання слід враховувати суміжність із зрубамі та не зімкнутими лісовими культурами, що у свою чергу збільшує придатність ділянки на загрозу, а проведення робіт пов'язаних із веденням лісового господарства дану загрозу зменшує. В об'єктах природно-заповідного фонду проведення таких робіт заборонено, а тому на оцінку загрози поширення осередків всихання за різними таксаційними показниками не відбуватиметься.

Так, за результатами розподілу площ соснових деревостанів за показниками та бальною оцінкою загрози поширення осередків всихання було встановлено, що загрозу поширення осередків всихання соснових деревостанів Заповідника за походженням є висока (середній бал 4,45), так як площі штучного та природного походження деревостанів складають 54,62 та 45,38% відповідно від площі соснових деревостанів.

При розподілі площі за типологією середній бал склав 2,33, що є відносно низькою загрозою поширення. 38,99% території дослідження складають деревостани із дуже низькою загрозою поширення (38,87% площа свіжих борів) та 36,80% (36,72% площі займають свіжі субори) із середнім ступенем загрози.

Середній бал загрози поширення всихання за віком склав 2,62, так як у віковій структурі 24,35% території займають молодняки, які не мають жодної загрози поширення осередків всихання та 28,25% території займають середньовікові деревостани (VII – IX клас віку) із високою загрозою поширення всихання.

Середнім ступенем загрози (3,47) характеризується поширення за повнотами. Площа деревостанів із високим та дуже високим ступенем загрози складає 7990,9 га або 58,61% досліджуваної території та 4252,7 га (31,19%) із низькою загрозою поширення.

Майже із високою загрозою поширення (3,86 середній) всихання характеризується показник із часткою сосни в складі деревостану, де 8126,5 га або 59,61% всієї території займають чисті соснові деревостани. *Ключові слова:* верхівковий короїд, осередки всихання, санітарний стан, сосна звичайна, природно-заповідний фонд, лісгосподарське підприємство.

Assessment of the distribution of the apical bark beetle (*Ips acuminatos*) in the pine stands of the Drevlyansky nature reserve. Martynenko V.

The article presents the calculation of the danger of the foci spread of desiccation of pine stands on the territory of the «Drevlyanskyi» nature reserve which were caused by the apical bark beetle (*Ips acuminatos*).

Establishing the danger of the spread of desiccation centers in forestry enterprises should take into account the adjacency to log cabins and open forest crops, which in turn increases the suitability of the area for the danger and the conduct of works connected to forestry management reduces this danger. It is prohibited to carry out such works in the objects of the nature reserve fund, therefore the assessment of danger of the spread of desiccation centers according to various tax indicators will not take place.

Thus, according to the results of the distribution of the areas of pine stands by indicators and the point assessment of the danger of spread of desiccation centers was established that the danger of the spread of desiccation centers of the pine stands of the Reserve by origin is high (average score is 4.45), since the areas of artificial and natural tree stands amount to 54.62 and 45.38%, respectively, of the area of pine stands.

Dividing the area by typology the average score was 2.33 which is a relatively low danger of spread. 38.99% of the study area consists of stands with a very low danger of spread (38.87% of the area are coniferous) and 36.80% (36.72% of the area is occupied by mixed coniferous) with an average degree of danger.

The average score of the danger of spread of desiccation by age was 2.62, since in the age structure 24.35% of the territory is occupied by young trees that don't have any danger of foci spread of desiccation, and 28.25% of the territory is occupied by medieval stands (VII – IX age class) with high danger of spread of desiccation.

The average degree of danger (3.47) is characterized by the distribution of completeness. The area of stands with a high and very high degree of danger is 7990.9 ha or 58.61% of the studied territory and 4252.7 ha (31.19%) with a low danger of spread.

Almost with a high danger of spread of desiccation (average is 3.86) is characterized by the indicator with the share of pine in the forest stand, where 8126.5 ha or 59.61% of the all territory is occupied by pure pine stands. *Key words:* apical bark beetle, drying foci, sanitary condition, Scots pine, nature reserve fund, forestry enterprise.

Постановка проблеми. На початку 2017 року на території природного заповідника «Древлянський» (далі – Заповідник) почалося масове всихання соснових деревостанів [1]. Однією із головних причин є зниження стійкості до ураження шкідниками викликаний змінами в навколишньому середовищі. Першим шкідником, що заселяє ослаблені соснові дерева є верхівковий короїд (*Ips acumanatus*). Після нього свій процес по ослабленню по поширенню осередків всихання починають інші шкідники.

Актуальність дослідження. Раніше не приділялася увага придатності соснових деревостанів залежно від таксаційних показників на поширення соснових шкідників. За результатами дослідження буде встановлено який із таксаційних показників впливає на поширення шкідників найбільше в умовах цілковитого заповідання та надасть можливість планувати природоохоронні заходи для зменшення поширення осередків всихання на інших територіях, де зростають соснові деревостани.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дана стаття є однією із частин результатів дослідження, що проходили на території Заповідника в 2017 та 2018 роках [2, 3], а також дослідження що проходило по всій території ДП «Народицьке СЛГ» в 2019 році із застосуванням засобів дистанційного зондування землі [1].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Поширення шкідників лісу займалися такі вчені як Мешкова В.Л. [4], Андреева О.Ю. [5, 6, 7], Турко В.М. [8] та інші. Санітарний стан та поширення шкідників на територіях об'єктів природно-заповідного фонду займалися наступні: Бачинська У.О. [9], Зварич О.Д. [10], Заячук В.Я. [11], Шишканин І.Ф. [12].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. В умовах лісгосподарського підприємства при оцінюванні слід враховувати суміжність соснових деревостанів із такими таксаційними виділами як зруби та незімкнуті лісові культури, які в свою чергу впливають на поширення шкідників на сусідніх ділянках. На поширення шкідників також впливає проведення лісгосподарських робіт (рубки пов'язані із веденням лісового господарства). В умовах цілковитого заповідання згідно ЗУ «Про природно-заповідний фонд» (стаття 16) [13] проведення будь-яких заходів заборонено, а тому на показники придатності соснових ділянок на поширення осередків жодного впливу не відбуватиметься.

Новизна. З початком всихання соснових деревостанів на території України питання придатності лісових ділянок поширення соснових шкідників висвітлено тільки в одній науковій праці, в якій мова

йдеться про лісгосподарське підприємство. Однак, соснові ділянки розміщується на значних площах різних підприємств, де питання поширення соснових шкідників не вивчалось та не встановлювалось.

Методологічне або загальнонаукове значення. Розрахунок придатності соснових деревостанів для розповсюдження осередків всихання надасть можливість проводити лісгосподарські заходи таким чином, щоб зменшити придатність соснових деревостанів для поширення всихання та розповсюдження шкідників, а об'єктам природно-заповідного фонду планувати природоохоронні заходи.

Викладення основного матеріалу. Територія лісового фонду Заповідника складає 16823,0 га, з яких 13633,5 га (81,04%) займають деревостани сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.), ще 1387,6 га (8,25%) займають деревостани берези повислої (*Betula pendula* Roth.), дуба звичайного (*Quercus robur* L.), осики (*Populus tremula* L.), сосна банкса (*Pinus banksiana* Lamb.), вільхи чорної (*Alnus glutinosa* (L.) Gaerth.), ялини європейської (*Picea abies* (L.) H. Karst.) та тополі канадської (*Populus x canadensis* Moench) [14]. Інші 1801,9 га (10,71%) складають не вкриті лісовою рослинністю та не лісові землі [15].

Площу, яку займають соснові деревостани було розподілено за такими показниками як походження, тип лісо-рослинних умов, вік, відносна повнота та частка участі сосни в складі деревостану за балами загрози поширення короїда. Розподіл площ вказаний в таблиці 1.

Згідно даного розподілу за походженням видно, що площа лісових культур (деревостани штучного походження) (7446,8 га або 54,62%) мають високу загрозу поширення, а природного походження (6186,7 га або 45,38%) – дуже високу загрозу поширення.

Розподіл площ за типологічною структурою соснових деревостанів відбувся наступним чином. Деревостани, що зростають в сухому борі (420,2 га або 3,08%) та суборі (15,4 га або 0,11%) не мають жодної загрози для заселення в таких деревостанах шкідника, а тому отримують бал 0. Дуже низьку загрозу мають деревостани, що зростають в свіжому борі (5299,1 га або 38,87%) та мокрому суборі (17,1 га або 0,12%) мають дуже низьку загрозу (бал 1). Низьку загрозу (бал 2) становлять деревостани в вологому (13,6 га або 0,10%) та сирому (5,7 га або 0,04%) бору. Деревостани із середньою загрозою (бал 3) поширення зростають в свіжому суборі (5005,8 га або 36,72%) та сугруді (11,4 га або 0,08). Високу загрозу (бал 4) мають деревостани наступної типології: волого субору (2577,2 га або 18,90%) та сугруді (36,6 га або 0,27%), а також що зростають у сирих умовах відповідних трофотопів (219,8 та 11,6 га або 1,61% та 0,09%). Деревостанів із дуже високою

Таблиця 1

**Розподіл площ соснових деревостанів за лісотаксаційними показниками
та балами загрози поширення верхівкового короїда***

Показник	Загроза поширення осередків, бали					
	0 – відсутня	1 – дуже низька	2 – низька	3 – середня	4 – висока	5 – дуже висока
Походження					$\frac{7446,8}{54,62}$	$\frac{6186,7}{45,38}$
ТЛУ	$\frac{435,6}{3,20}$	$\frac{5316,2}{38,99}$	$\frac{19,3}{0,14}$	$\frac{5017,2}{36,80}$	$\frac{2845,2}{20,87}$	-
Вік, років	$\frac{3819,2}{24,35}$	$\frac{679,2}{4,98}$	$\frac{1635,4}{12,00}$	$\frac{2211,5}{16,22}$	$\frac{3851,1}{28,25}$	$\frac{1937,1}{14,21}$
Відносна повнота	$\frac{25,2}{0,18}$	$\frac{229,1}{1,68}$	$\frac{4252,7}{31,19}$	$\frac{1135,6}{8,33}$	$\frac{4846,0}{35,54}$	$\frac{3144,9}{23,07}$
Частка сосни в деревостані	$\frac{908,7}{6,67}$	$\frac{837,6}{6,14}$	$\frac{1186,3}{8,70}$	$\frac{1465,8}{10,75}$	$\frac{1108,6}{8,13}$	$\frac{8126,5}{51,61}$

* – згідно методики В.Л. Мешкової [16].

загрозою (бал 5) поширення за типологічним розподілом на території Заповідника відсутні.

Деревостани віком до 40 років (молодняки I та II групи – 435,6 га або 3,20%) мають жодної загрози для поширення верхівкового короїда. В деревостанах V класу віку (679,2 га або 4,98%) мають дуже низьку загрозу до поширення, в VI (1635,4 га або 12,00%) – низьку, VII (2211,5 га або 16,22%) – середню, VIII-IX (3851,1 га або 28,25%) мають високу загрозу, а в деревостанах X та більше класах віку (1937,1 га або 14,21%) дуже високу загрозу появи та поширення осередків всихання.

Низькоповнотні соснові деревостани (25,2 га або 0,18%) не мають загрози до поширення. Різну оцінку загроз мають середньоповнотні деревостани. Так, при повноті 0,5 (229,1 га або 1,68%) загроза є дуже малою, 0,6 (1135,6 га або 8,33%) – середньою, а при повноті 0,7 (3144,9 га або 23,07%) загроза є дуже високою. Якщо у середньоповнотних деревостанах при збільшенні повноти збільшується ступінь загрози поширенню осередків всихання спричинених короїдом, то у високоповнотних навпаки, чим більша повнота тим менша загроза: при повноті 0,9-1,0 (4252,7 га або 31,19%) загроза поширення є низькою, а при 0,8 (3144,9 га або 23,07%) – високою.

При розрахунку участі сосни в складі деревостану не приймалися до уваги такі деревостани, де сосна виступає супутньою деревною породою, так як в таких деревостанах поширення осередків сосни зустрічається вкрай рідко. До розрахунків бралися

лише деревостани де сосна вже є головною породою.

Головні висновки. За розподілом площ соснових деревостанів за лісо таксаційними показниками було встановлено середній бал загрози поширення осередків всихання. Так, за походженням середній бал загрози становить 4,45, так як площі за загрозою розподілені майже однаково між високою та дуже високою загрозою поширення. За типологічною та віковою структурою загроза поширення є низькою (2,33 та 2,62 відповідно), що пояснюється значними частками площі соснових деревостанів із відсутньою або дуже низькою загрозою поширення. Середню загрозу поширення (3,47) так як 1/3 всіх площ мають ступінь загрози поширення низьку та високу та ¼ дуже високу ступінь загрози поширення. Майже високу (3,86) загрозу поширення становить через розподіл площ за часткою участі сосни в складі деревостану, так як 59,61% всієї площі соснових деревостанів є чистини за складом, що у свою чергу дуже збільшує загрозу для поширення осередків всихання викликану верхівковим короїдом.

Перспективи використання результатів дослідження. При погіршенні санітарного стану соснових деревостанів велику увагу слід приділити в місцях посилення осередків всихання, так як в таких місцях є дуже складним завданням гасіння низової пожежі. Біля деревостанів із високим ризиком поширення осередків всихання потрібно проводити протипожежні заходи з метою недопущення поширення пожеж як протидію зникненню біорізноманіття.

Література

1. Ландін В.П. та ін. Оцінка санітарного стану лісових насаджень за даними дистанційного зондування. Агроєкологічний журнал, № 4, 2020. С. 76-86. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2020.219453>.
2. Ландін В.П. Екологічна оцінка стану лісів природного заповідника «Древлянский» (Мотіївського та Народицького ПНДВ). Звіт про науково-дослідну роботу. Народиці, 2017. 55 С.

3. Літопис природи природного заповідника «Древлянський» за 2018 рік. Том 6. За ред. С.В. Шевченко Народичі, 2018. 848 С.
4. Мешкова В.Л., Зінченко О.В. Заселеність стовбурними комахами соснових насаджень, ослаблених різними чинниками. Вісник Харківського національного аграрного університету ім. В.В. Докучаєва. Серія «Фітопатологія та ентомологія». 2013. № 10. С. 126-131.
5. Андреева О.Ю. Стовбурові шкідники в осередках усихання соснових насаджень ДП «Житомирське ЛГ» Житомирської області. Вісник Харківського національного аграрного університету ім. В.В. Докучаєва. Серія «Фітопатологія та ентомологія». 2016. № 1-2. С. 7-12.
6. Андреева О.Ю., Вишневецький А.В., Болух С.В. Динаміка популяцій короїдів у соснових лісах Житомирської області. Науковий вісник НЛТУ України, 2019, т. 29, № 8. С. 31-35. DOI: <https://doi.org/10.36930/40290803>
7. Андреева О.Ю., Гузій А.І., Вишневецький А.В. Поширення осередків масового розмноження короїдів у соснових насадженнях Рівненського Полісся. Науковий вісник НЛТУ України, 2018, т. 28, № 3. С. 14-17. DOI: <https://doi.org/10.15421/40280302>.
8. Турко В.М., Вишневецький А.В., Сірук Ю.В., Печенюк Є.П. Поширення хвороб та шкідників у лісах Рівненського Полісся. Науковий вісник НЛТУ України, 2016, т. 25, № 6. С. 170-177. DOI: <https://doi.org/10.15421/40260526>
9. Бачинська У.О. Лісопатологічний стан ясеневих деревостанів у природному заповіднику «Медобори». Науковий вісник НЛТУ України, 2017, т. 27, № 9. С. 19-23. DOI: <https://doi.org/10.15421/40270903>.
10. Зварич О.Д., Заїка В.К., Стрянець Г.В., Зварич Ю.В., Тимочко І.О. Лісівничо-таксаційні показники та санітарний стан старовікових деревостанів природного заповідника «Розточчя». Науковий вісник НЛТУ, 2016, т. 26, № 8. С. 72-81. DOI: <https://doi.org/10.15421/40260811>.
11. Заячук В.Я., Джурик В.П. Структура дендрофлори та санітарний стан парку «Берегометський» НПП «Виженський». Науковий вісник НЛТУ, 2015, т. 25, № 5. С. 25-31.
12. Шишканинець І.Ф., Лутак В.В., Феннич В.С. Санітарний стан похідних ялинових насаджень Національного природного парку «Зачарований край». Науковий вісник НЛТУ України, 2021, т. 31, № 4. С. 54-58. DOI: <https://doi.org/10.36930/40310408>.
13. Про природно-заповідний фонд України. Закон України. Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1992, № 34, ст.502. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-12/ed20210808#Text> (звернення 06.07.2021).
14. Мартиненко В.В., Коніщук В.В. Типологічна характеристика вкритих лісовою рослинністю деревостанів природного заповідника «Древлянський». Агроєкологічний журнал, 2020, № 3. С. 33-40. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2020.211524>.
15. Мартиненко В.В., Коніщук В.В. Особливості динаміки змін у лісовому фонді природного заповідника «Древлянський». Збалансоване природокористування, 2020, № 3. С. 92-100. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.3.2020.212607>.
16. Мешкова В. Л. Бальна оцінка принадності ділянок насаджень для комах-хвоєлистогризів. Лісівництво і агролісомеліорація. 2003. Вип. 104. С. 182–190.

MOBILE LEARNING IMPLEMENTATION IN THE PROCESS OF ECOLOGISTS TRAINING

Bondarenko L.I.¹, Voloshyna N.O.¹, Lazebna O.M.¹, Bilianska M.M.²

¹National Pedagogical Dragomanov University
9, Pyrohova Str., 01030, Kyiv

²Kyiv National University of Technologies and Design
2, Nemyrovycha-Danchenka Str., 01011, Kyiv
VoloshynaNatali@gmail.com

The topical while training specialists is to use information and communications technology (ICT), which promotes both personal and professional development. Now smartphones, tablets, and other gadgets are not just a means of communication but also an active means of learning, which contributed to the emergence of mobile learning (M-Learning). The article deals with the specifics of M-Learning implementation in the process of specialists field training in the sphere of environmental protection. The result of a survey of 172 full-time students (the 1st – 4th years) using closed-ended and open-ended questions revealed problems that students had during their studies. They are technical – gadgets with a small amount of memory, a lack of Internet speed or its absence; personal – problems with self-organization and self-discipline, lack of direct communication with the teacher and other students, fatigue, a low level of motivation, or its lack; procedural – excessive complexity of tasks and their scope and lack of methodological guidelines for tasks. The research also revealed the M-Learning advantages – its convenience, accessibility, the ability to plan one's own time. The use of M-Learning helps promote the formation of self-discipline, responsibility, and a sense of duty. Methods of mobile devices implementation in classroom work (to download electronic textbooks, to search for information and mobile applications) and in distance learning (for video conferences during lectures and practical classes, to download tasks for the individual work in Moodle and Google Classroom to find the necessary information, to download electronic textbooks, to demonstrate tasks and necessary materials by using Microsoft PowerPoint, for educational video clips, virtual experiments and modeling) are identified. The levels of student satisfaction with the results of M-Learning were identified by using the scale method (the method of «polar judgments»). The study of how the information technology implementation is effective for the formation of students' professional competence in the field of environmental protection is regarded to be perspective. *Key words:* educational process; electronic learning; means of Information and Communication Technology; mobile learning (M-Learning); professional training.

Застосування мобільного навчання в процесі підготовки фахівців з екології. Бондаренко Л.І., Волошина Н.О., Лазебна О.М., Білянська М.М.

Актуальним під час підготовки фахівців є застосування інформаційно-комунікаційних технологій, що сприяють як особистісному, так і професійному розвитку. Смартфони, планшети та інші гаджети на даний момент є не тільки засобом зв'язку, а й активно застосовуються як засоби навчання, що сприяло появі мобільного навчання. У статті висвітлено особливості використання мобільного навчання в процесі підготовки фахівців з екології. У результаті опитування 172 майбутніх екологів денної форми навчання з використанням запитань закритого і відкритого типу виявлено проблеми, що виникають у них під час навчання – технічні (невеликий обсяг пам'яті гаджетів, недостатня швидкість інтернету або його відсутність), особистісні (проблеми з самоорганізацією та самодисципліною, відсутність безпосередньої комунікації з викладачем та з іншими студентами, швидка втомлюваність, низька мотивація або її відсутність), процесуальні (надмірна складність завдань та їх обсяг, брак методичних вказівок до виконання завдань). У процесі дослідження з'ясовано переваги мобільного навчання – зручність, доступність, можливість самостійно планувати свій час. Встановлено, що використання мобільного навчання сприяє формуванню самодисципліни, відповідальності, почуття обов'язку. Виокремлено способи застосування мобільних пристроїв під час аудиторної роботи (для завантаження електронних підручників, пошуку інформації та як мобільні додатки); у процесі дистанційної форми навчання (для відеозв'язку під час лекцій і семінарських занять, для завантаження завдань для самостійної роботи у Moodle, Google Classroom, з метою пошуку необхідної інформації, для скачування електронних підручників, для демонстрування завдань і матеріалів за допомогою Microsoft PowerPoint, для навчальних відеокліпів, віртуальних експериментів та моделювання). З допомогою шкальної методики (метод «полярних суджень») з'ясовано рівні задоволення студентів результатами мобільного навчання. Перспективним є дослідження ефективності застосування інформаційних технологій для формування професійної компетентності фахівця в галузі охорони довкілля. *Ключові слова:* професійне навчання; освітній процес; засоби інформаційно-комунікаційних технологій; електронне навчання; мобільне навчання.

The problem statement. The current stage of social and economic development demands specialists who are socially active, able to adapt to specialization change, and quickly and mobile navigate and master innovations.

The means of information and communications technology (ICT), namely electronic learning (E-Learning), mobile learning (M-Learning), and distance learning, are widely used in the educational process. Their imple-

mentation is particularly topical in the context of the Covid-19 pandemic because educational institutions have to switch to online learning. In organizing the educational process, school teachers, teachers of higher education institutions use various technical devices – mobile phones, smartphones, personal computers, webcams, netbooks, tablets, e-books, and so on. Distance learning technology is used for lifelong learning. E-learning is a process of competence formation carried out using electronic means (a computer) and environments with full or partial use of the Internet [1].

Analysis of recent studies and publications.

There are several views on M-Learning: as a kind of distance and e-learning at the same time [1]; as a component of E-learning or its continuation [2]; as identical to M-Learning [3]. M-Learning is interpreted as an approach to learning in which mobile electronic devices create a mobile educational environment where students can use them as a means of access to educational materials contained on the Internet, anywhere and anytime [1]. According to UNESCO, M-Learning involves the use of mobile tools that can be used individually or in combination with other information and communication technologies to organize the educational process without being tied to place and time [4].

Gadgets have significant potential to enable students to be creative, thus preparing them for changes in the global economy and helping them adapt to modern technology, providing flexibility and the ability to learn anytime, anywhere at a comfortable place [5, 6]. Factors influencing students' interest in using M-learning are consideration of relative advantage of mobile communication, complexity (or, conversely, simplicity), social impact, job satisfaction, and self-learning [7]. M-Learning does not replace traditional classroom work but can serve as a supplement. We accept the M. Sarraf, L. Elgamel, H. Aldabbas [8] view that teachers have the opportunity to work with the whole group and individually with particular students. Also, we share the opinion of M. Sharples, J. Taylor, G. Vavoula [9] that M-Learning can be regarded as a challenge to formal school education, a way to transfer knowledge and skills needed in later life.

T. Brown, L. Mbatia [10] refuted misconceptions about M-Learning as learning, which happens only with the help of mobile phones (M-Learning is all about the mobile device or M-Learning is learning while mobile), or in the process of mobile communication (during physical movement), or available through mobile communications (M-Learning is merely e-Learning accessed through mobile). Besides, it is a common and fair assumption from many first-world researchers that M-Learning is not really possible in rural settings where low bandwidth restricts the use of bandwidth-intensive resources such as video streaming, multimedia, and operating rich. Researchers also mention that M-Learning is only applicable to distance learning and not to face-to-face classroom activities and it means accessing and completing all course mate-

rial and coursework on a mobile device. M. Bilianska, A. Kolodyazhna, Y. Shuhailo, L. Bohoslavets [11] have generalized the studying of the Ukrainian language as a foreign one with the help of online platforms Moodle, Google, Classroom, and with the help of smartphones using messengers Viber and Telegram.

Researchers have defined and generalized the advantages and disadvantages of M-Learning implementation. For example, D. Parsons [12] correctly pointed out the use of additional affordances of the mobile device, for example, location awareness and both synchronous and asynchronous collaborative communication.

Contextual and situational learning, the use of simulators and cognitive games, augmented reality, and the launch of interactive 3D models are possible with the help of mobile devices. Students have the opportunity to share information (text, images, audio, and video) and personal publications. They can independently choose a topic for research, search for the necessary information and analyze it, share it and create their own publications, presenting the results of their searches through visualization. Students can access the network and use the necessary training materials both online and offline by downloading them; share and store information, expand communication through text messaging [10, 13, 15].

Attention should be also paid to the results of the research of M-learning from the teachers' point of view. Teachers' willingness to use mobile learning depends on several factors, including the teacher's personality (abilities to select digital teaching/learning devices and use their technical capacities for educational purposes; the knowledge to appropriately use them in the lessons, the availability of organizational skills), teacher's attitude to this process and perception of its effectiveness, and their abilities to manage the education process itself [13].

Given the contemporary realities, distance learning is prevailing in the educational process. In National Pedagogical Dragomanov University the educational process of future ecologists' training takes place with the help of the information platform Moodle. The system allows applying the techniques of presenting theoretical material in the form of presentations and educational videos, which significantly expands the possibilities to understand the lecture content. Regarding the lessons of practical mastering material, it is necessary to think over the methodical tools that will enable to process the material as much as possible and to acquire the ability to use the learned material.

The research goal. The aim of the study is to identify the level of students (future ecologists) satisfaction with M-Learning, to detect problems arising while M-Learning in classes and during distance learning, to develop both ways to solve them and implementation perspectives.

Research methodology. The research was conducted during the 2020/2021 academic year with the help of such methods and techniques as questionnaires, comparison, ranging, systematization, and generalization. The aim of the questionnaire was to collect data and examine

the advantages and disadvantages of ICT, M-Learning in particular, during training future ecologists in terms of distance learning. The comparison provided an opportunity for outlining various scientific views on the problem under consideration. Ranging was used for studying the significance of factors related to the organization of mobile learning. The aim of systematization and generalization was to draw conclusions. Applicants of the first (bachelor's) level of higher education, the specialty «Ecology», of Ukrainian higher education institutions took part in the research.

The pedagogical research involved 178 full-time students of the 1st – 4th year of study, aged 17-22. Students study both at public expense and at the expense of individuals. The selection of respondents was made by random sampling from four institutions of higher education in Ukraine with average, sufficient, and high levels of academic achievements based on the results of the final semester certification. 172 responses were received. The method of cluster sampling from the general number of higher education applicants in the specialty «Ecology» was used. The optimality and representativeness of the sample was ensured by the percentage of respondents with a confidence interval equal to 85%, and a confidence interval – 5%. The general number is 1228 respondents, the sample size is 178 respondents, the response rate is 96%, and the confidence interval is 1.96.

Students of the National Pedagogical Dragomanov University (32 people), National University «Chernihiv Collegium» named after T. G. Shevchenko (23 people), Zhytomyr Polytechnic State University (75 people), and Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University (42 people) took part in the survey. The survey was placed on the Google platform.

To determine the level of students satisfaction with the results of M-Learning during the organization of distance learning, V. M. Zav'yalova's [15] scale method «Microclimate assessment of a student group» (method of «polar judgments») adapted to the research objectives was used. The questionnaire consisted of 15 essentially opposite judgments. The judgments on the left in the table reveal satisfaction with M-Learning, on the right – radically opposite and characterize dissatisfaction. The students' task was to choose one of the polar judgments (left or right) that characterizes their positive attitude to

M-Learning. It was also equally important to indicate one of the five numerical values, which corresponds to the level of the characteristic manifestation applying signs «+» (for positive statements) and «-» (for negative ones), where 3 is a high level, 2 is a medium level, 1 is a low level, and 0 means «hasn't decided». Students were asked to express their satisfaction with certain statements as follows: 3 – I completely agree; 2 – I agree (more yes than no) 1 – I partially agree; 0 – it is difficult to answer; -1 – I partially disagree; -2 – I do not agree; -3 – I completely disagree.

The results and discussion. To determine the level of students' satisfaction with the results of M-Learning during the organization of distance learning certain indicators of all responses with positive and negative results taken from each question were summed up. Then the difference between them was found. Based on individual responses or profiles received from each student, an average profile was created.

According to the chosen research methodology and the obtained calculation results, the following levels of students' satisfaction with M-Learning results during the distance learning organization have been determined:

50 and more points – high level – M

– Learning is of high quality, convenient, and fully meets students' needs;

40-49 – medium-high level – M-Learning more satisfies than dissatisfies students' needs;

21-39 – medium level – M-Learning partially causes some difficulties and students' dissatisfaction (it dissatisfies more than satisfies);

11-20 – medium-low level – M-Learning causes difficulties for most students;

0-10 – low level – M-Learning does not meet the needs of students at all and it is inconvenient.

Based on the conducted research with the implementation of the technique «polar judgments», the students' attitude to the use of M-Learning as one of the tools for the realization of distance learning has been clarified (Table 1).

Based on the obtained data, the M-Learning profile was created, with the help of which the level of each component under study and thus the number of respondents in each of them were determined. The results of the study showed the following levels of students' sat-

Table 1

The results of students survey on their attitude to M-Learning (based on the method «polar judgments»)

Assessment	Sequence number of the characteristics															Sum	Average value
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
+3	110	113	68	74	57	61	68	65	55	42	34	77	82	57	64	1027	69
+2	31	34	48	42	57	44	48	59	46	51	39	46	34	40	59	678	45
+1	16	8	24	22	28	26	28	25	25	36	34	15	22	28	19	356	24
0	10	6	12	12	14	13	12	11	20	14	20	18	13	25	13	213	14
-3	2	3	5	10	9	11	7	5	8	13	10	9	6	6	8	112	7
-2	2	3	9	3	4	9	5	4	9	8	19	2	4	8	6	95	6
-1	1	5	6	9	3	8	4	3	9	8	16	5	11	8	3	99	7

isfaction with M-Learning during the organization of distance learning: low – 20 people, medium-low – 14, medium – 24, medium-high – 45, high – 69 respondents.

Thus, 80 % of the respondents indicated their satisfaction with M-Learning implementation (medium, medium-high and high levels in total). We also analyzed the results of a students' survey, which included both closed-ended and open-ended questions to find how to use mobile devices during classroom work and distance learning and problems that arise during their implementation (Table 2).

According to the survey, most students use laptops and desktops while preparing for classes, the rest of them

use smartphones and tablets. However, during distance learning, priorities have changed somewhat – smartphones and tablets have priority over laptops (19%) and desktops (18%). During classroom activities, the use of mobile devices is somewhat limited – for downloading electronic textbooks (48%), information search (37%) and as mobile applications (15%). They are used for video communication on Zoom, Google Meets, Skype during lectures and seminars, to download tasks for independent work in Moodle, Google Classroom, to find the necessary information, to download electronic textbooks, to show tasks and necessary materials using Microsoft PowerPoint, for classes with the help of

Table 2

Results of students' survey on possibility to implement mobile devices

Question (Variable)	Options (Answer)
Devices (gadgets) that students use during self-preparation for classes	– Desktop computers (53%), Laptops (27%), Smartphones (12%), Tablets (8%)
Devices (gadgets) used during distance learning	– Smartphones (39%), Tablets (24%), Laptops (19%), Desktop computers (18%)
Ways to use mobile devices during classroom work	– to download electronic textbooks (48%); to search for the necessary information (37%), as mobile applications during classes (37%)
Ways to use mobile devices during distance learning	– for video communication on Zoom, Google Meets, Skype during lectures and seminars – to download tasks for independent work in Moodle, Google Classroom – to find the necessary information – to download electronic textbooks – to demonstrate tasks and necessary materials using Microsoft PowerPoint – for classes with the help of smartphones using (via) Viber, Telegram. – for educational video clips, – virtual experiments and simulations – as applications during classes – as platforms and social networks blogs – as geographical maps
Factors motivating to work with mobile devices	– the opportunity to work regardless of a place and time (56%) – desire to keep up with others (21%) – desire to master new skills (17%) – implementation of game elements (4%) – I can't answer (2%)
The satisfaction degree of meeting requirements for communication between students and a teacher as well as students with each other	– satisfy completely (18%) – more yes than no (36%) – more no than yes (31%) – do not satisfy completely (12%) – I can't answer (3%)
Challenges while working with mobile devices	– problems with self-organization and self-discipline – lack of Internet access in the dormitory and apartment – device specifications (low memory, insufficient Internet speed) – lack of hardware (computer, tablet, phone, webcam, etc.) – a lack of direct communication with the teacher and each other – a lack of motivation for M-Learning – Rapid fatigue – excessive complexity of tasks and their scope – a lack of guidelines for tasks completion – no difficulties

smartphones using (via) Viber, Telegram, as applications during classes, for educational video clips, virtual experiments and modeling, as platforms and social networks blogs, and as geographical maps (mostly students named several answer options, so the % was not determined).

Regarding the challenges, the first place is taken by technical difficulties: technical characteristics of devices (small memory capacity, insufficient Internet speed) (16%), a lack of Internet access in the dormitory and apartment (3%), a lack of technical means (computer, tablet, phone, webcam, etc.) (2%). Then we have personal challenges: 14% of the respondents have problems with self-organization and self-discipline, 13% of the respondents see difficulties in the lack of direct communication with the teacher and other students; 10% of them indicated a lack of motivation for M-Learning, and 6% outlined rapid fatigue. The third group is procedural difficulties: 9% of the respondents noted the excessive complexity of tasks and their scope, 2% – a lack of guidelines for tasks completion. 25% of the students had no difficulties at all.

According to the results of the study, 80 % of future ecologists expressed a positive attitude to the use of M-Learning as one of the tools for the implementation of distance learning (medium, medium-high and high levels in total). It is obvious that the majority not only positively perceived this form of work but also was ready to continue working in a given mode. The problem of self-discipline and self-organization is of concern to 14% of the respondents. On the other hand, the growth of personality, the formation of value characteristics, and professionalism encourage the development of a person's self-independence. The incentive to acquire self-discipline as one's own achievement while studying in educational institutions should be considered as a positive feature.

Another 21% of the respondents think about challenges in using M-Learning due to technical problems. Now this problem is temporary, and it is addressing and should not affect the M-Learning tool in the future. Regarding the lack of direct communication with the teacher and students with each other (13% of the respondents), it is obvious that such an indicator represents socialization as an important characteristic of human life. This is also confirmed by the results of the study by S. Sadiq, and Dr. S. Batool [6]. It is necessary to vary and use the forms of work that enable people to fill a niche. However, this requires a separate approach and research.

That is why a wide range of answers is appropriate and enables a person to consider possible options for personal determination in relation to the problem of distance work and M-Learning. This explains the division of questions into closed and open ones. The latter allows determining the reasons as well as partially explaining the respondent's choice of this or that answer.

Analysis of the data, based on the figures in Table 1, indicates the following: Question 1 is aimed at study-

ing the need for the use of e-devices in the educational process: mobile devices (tablets, mobile phones, and laptops) are necessary for the ecologists training (2/3 of respondents). The same number of respondents is determined by the convenience of e-devices implementation as a means of obtaining information. The figure of respondents' answers to Question 2 indicates the information stated above.

It is logical to question the extent of the information obtained (question 4 concerns it) and whether it is enough to visualize the theoretical material with the help of e-devices? The answers of the respondents to question 5 indicate that the majority gives positive responses to the information asked. About 90 % of the respondents are satisfied with the presentation of materials by using M-Learning. These figures are topical in studying the problem of implementation M-Learning in the educational process.

Microsoft Office Access is a database management system, a part of the Microsoft Office suite. It has a wide range of functions, including related queries, sorting by various fields, links to external tables and databases. The advantages of this program are low cost, availability for use, a simple interface, the ability to constantly add and update, data input in any format (documents, other databases, text, tables, photos, links, dates, etc.), and the ability to conduct research. A mobile application for the practical mastering of the course «Environmental Monitoring» was developed based on the product described above [14, 15].

Center «New Europe» with the support of the Foundation named after Friedrich Ebert conducted research showing that 86% of Ukrainian youth aged 14-29 had constant access to the Internet and 4% are deprived of such an opportunity at all. Regarding the use of the Internet for educational purposes, this figure is 79 %, and 19% of respondents never use the Internet for study and work; 37 % of respondents use it often as a source of news and information, and 11 % – never use it. Young people use such social networks as Vkontakte, Instagram, Facebook, and Twitter most of all. Besides, such messengers as Viber, WhatsUp, and Telegram are also popular [16].

The further questions regarding the use of M-Learning in the professional training of ecologists were related to the possibilities of self-study, self-discipline, and work convenience, and so on. The figure of students' responses concerning the acquisition of new digital skills for successful work in the format of distance work deserves special attention. As Table 1 (question 11) shows such a significant number of respondents had to work and acquire certain skills and abilities. In fact, almost 60% of students had no problems with their work.

Question 13 indicates that a significant number of the respondents favorably embraced, mastered, and were ready to continue working in the format of distance learning. The highest indicators of the respondents'

number are related to positive aspects of the ability to choose independently the time for work and tasks completion, the ability to freely allocate their time and use it for personal needs.

Conclusions and prospects for further research.

Mobile learning is characterized by the fact that it does not require a physical connection to the cable network, providing access to training materials anywhere and at any time via a mobile phone or another technical device provided there is a mobile connection. This promotes student learning mobility.

The results of the study, which engaged 172 applicants for higher education in the specialty «Ecology» from 4 institutions of higher education in Ukraine, showed the following levels of student satisfaction

with M-Learning while organizing distance learning: low – 12%, medium-low – 8%, medium – 14%, medium-high – 26%, high – 40% of respondents. The positive aspect of the study is that M-Learning promotes self-discipline and responsibility.

The results of the survey on the ways and possibilities of using M-Learning allowed us to draw conclusions about its prospects not only in the process of distance learning but also during classroom work. It can be used to download e-textbooks, search for information to demonstrate tasks and materials by using Microsoft PowerPoint. In addition, it can help edit educational video clips, conduct virtual experiments, and do modeling. People can use it as mobile applications, in particular during training practice.

References

1. Семеріков С.О., Стрюк М.І., Моїсєнко Н.В. Мобільне навчання: історико-технологічний вимір. Теорія і практика організації самостійної роботи студентів вищих навчальних закладів: монографія. Кривий Ріг, 2012. С. 188-242. URL: http://lib.iitta.gov.ua/704054/1/monogr_2_3.pdf. (дата звернення: 01.10.2021).
2. Crescente M., Lee D. Critical issues of m-learning: design models, adoption processes and future trends. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*. 2011. Vol. 28 (2). P. 111-123. URL: doi:10.1080/10170669.2010.548856. (Last accessed: 01.08.2022).
3. Hlodan O. Mobile learning anytime anywhere. *BioScience*. 2010. Vol. 60 (9). P. 682. doi.org/10.1525/bio.2010.60.9.4 (Last accessed: 31.08.2022).
4. Policy UNESCO Guidelines for Mobile Learning. 2013. URL: <https://iite.unesco.org/pics/publications/ru/files/3214738.pdf> (Last accessed: 31.08.2022).
5. Thomas K., O'Bannon B., Bolton N. Cell phones in the Classroom: Teachers' perspectives of inclusion, benefits, and barriers. *Computers in the Schools*. 2013. Vol. 30 (4). P. 295 – 308. URL: doi.org/10.1080/07380569.2013.844637 (Last accessed: 31.08.2022).
6. Sadiq S. Batool Dr. S. M-Learning: A contemporary mode of instructional technology in education. *Journal of Information Engineering and Applications*. 2017. Vol. 7 (2). P. 7–15. URL: <https://www.iiste.org/Journals/index.php/JIEA/article/viewFile/35439/-36458> (Last accessed: 07.12.2021).
7. Al-Adwan A.S., Al-Madadha A., Zvirzdinaite Z. Modeling students' readiness to adopt mobile learning in higher education: an empirical study. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*. 2018. Vol. 19 (1) P. 221-241. URL: doi.org/10.19173/irrodl.v19i1.3256 (Last accessed: 07.02.2021).
8. Sarrah M., Elgamel L., Aldabbas H. Mobile learning (M-Learning) and educational environments. *International Journal of Distributed and Parallel Systems (IJDPs)*, 2012. Vol. 3 (4). P. 31-38. URL: https://www.researchgate.net/publication/262488863_Mobile_Learning_M-Learning_and_Educational_Environments (Last accessed: 07.02.2021).
9. Sharples M., Taylor J., Vavoula G. A Theory of learning for the mobile age. *The SAGE handbook of e-learning research*. SAGE. 2010. P. 63-81. URL: https://www.researchgate.net/publication/343099651_A_Theory_of_Learning_for_the_Mobile_Age (Last accessed: 22.07.2022).
10. Brown T.H., Mbatl L.S. Mobile learning: Moving past the myths and embracing the opportunities. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*. 2015. Vol. 16 (2). P. 115-135. URL: doi.org/10.19173/irrodl.v16i2.2071 (Last accessed: 14.07.2022).
11. Bilianska M., Kolodyazhna A., Shuhailo Y., Bohoslavets L. Peculiarities of the ukrainian language as a foreign language teaching in the conditions of distance learning in Advances in Social Science, Education and Humanities Research. *Proceedings of the International Conference on New Trends in Languages, Literature and Social Communications (ICNTLLSC 2021)*. Kryvyi Rih, 2021. Vol. 557. P. 244-254. URL: doi.org/10.2991/assehr.k.210525.029. (Last accessed: 25.08.2022).
12. Parsons D. The future of mobile learning and implications for education and training. Increasing access through mLearning. Commonwealth of Learning and Athabasca University. 2014. P. 217-229. URL: <http://davidparsons.ac.nz/papers/The%20Future%20of%20Mobile%20Learning.pdf> (Last accessed: 17.10.2021).
13. Santi E.A., Gorghiu G., Pribeanu C. Teachers' Perceived Self-Efficacy for Mobile Teaching and Learning. *Revista Romaneasca pentru Educatie Multidimensionala*. 2020. Vol. 12 (1Sup2). P. 157-166. URL: https://www.researchgate.net/publication/341878935_Teachers'_Perceived_Self-Efficacy_for_Mobile_Teaching_and_Learning (Last accessed: 17.10.2021).
14. Концепція застосування мобільних додатків у фаховій підготовці студентів: А.С. 99754. № 99754; заявл: 100888; опбл. 17.09.2020.
15. Бондаренко Л.І., Білянська М.М., Волошина Н.О., Лазебна О.М. Застосування мобільних додатків у процесі фахової підготовки студентів-екологів. *Актуальні питання природничо-математичної освіти: зб. Наукових праць Сумського державного педагогічного університету імені А.С.Макаренка*. 2021. Вип. 1 (17). С. 167-177. URL: https://appmo.sspu.sumy.ua/wpcontent/uploads/2021/10/APPМО_117_2021_bez-zhovtogo.pdf (дата звернення: 07.12.2021).
16. Ukrainian Generation : values and guidelines. К: Ukraine, New Europe Center. 2017. P. 120-121. URL: http://www.gfk.com/fileadmin/user_upload/dyna_content/UA/02-News (Last accessed: 30.12.2021).

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Барбашев Сергій Вікторович (Одеса) – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри атомних електричних станцій, Національний університет «Одеська політехніка»;

Барсукова Олена Анатоліївна (Одеса) – кандидат географічних наук, доцент кафедри агрометеорології та агроекології, Одеський державний екологічний університет;

Безсонний Віталій Леонідович (Харків) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій і безпеки життєдіяльності, Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця;

Березенко Катерина Сергіївна (Полтава) – старший викладач кафедри садово-паркового господарства та екології, Державний заклад «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»;

Білянська Марія Михайлівна (Київ) – доктор педагогічних наук, доцент кафедри професійної освіти в сфері технологій та дизайну, Київський національний університет технологій та дизайну;

Божко Людмила Юхимівна (Одеса) – кандидат географічних наук, доцент кафедри агрометеорології та агроекології, Одеський державний екологічний університет;

Бойко Людмила Іванівна (Кривий Ріг) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, о.о. директора, Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України;

Бондар Олександр Іванович (Київ) – професор, доктор технічних наук, ректор, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Бондаренко Лідія Ігорівна (Київ) – аспірант кафедри екології, Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова;

Буглак Олександра Валентинівна (Київ) – доцент кафедри екології та екологічного контролю, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Бурбан Наталія Степанівна (Одеса) – магістр зі спеціальності «Атомна енергетика», Національний університет «Одеська політехніка»;

Буцяк Василь Іванович (Львів) – доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри біотехнології та радіології, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького;

Буцяк Ганна Андріївна (Львів) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри екології, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького;

Валерко Руслана Анатоліївна (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології, Поліський національний університет;

Василенко Ольга Миколаївна (Житомир) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та географії, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

Войтенко Лариса Владиславівна (Київ) – кандидат хімічних наук, доцент, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

Войціцький Володимир Михайлович (Київ) – доктор біологічних наук, професор, провідний науковий співробітник Української лабораторії якості і безпеки продукції агропромислового комплексу, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

Волошина Наталія Олексіївна (Київ) – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри екології, Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова;

Гарбар Діана Анатоліївна (Житомир) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри зоології, біологічного моніторингу та охорони природи, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

Гаркуша Іван Вячеславович (Харків) – кандидат ветеринарних наук, доцент кафедри фармакології та паразитології, Державний біотехнологічний університет;

Герасимчук Людмила Олександрівна (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології, Поліський національний університет;

Глібовицька Наталія Ігорівна (Івано-Франківськ) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;

Гойванович Наталя Костянтинівна (Дрогобич) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри біології та хімії, Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка;

Горобей Марина Сергіївна (Київ) – кандидат технічних наук, директор, Центр діджиталізації освітньої та наукової діяльності Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління;

Давидов Вадим Робертович (Дніпро) – аспірант кафедри фізіології та інтродукції рослин, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

Данильчук Наталія Михайлівна (Кривий Ріг) – кандидат біологічних наук, молодший науковий співробітник відділу інтродукції та акліматизації рослин, Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України;

Данкєсва Ольга Євгеніївна (Одеса) – кандидат педагогічних наук, головний спеціаліст відділу у справах осіб з інвалідністю, ветеранів війни та праці, Управління соціального захисту населення в Приморському районі Департаменту праці та соціальної політики Одеської міської ради;

Дементєсва Яна Юріївна (Харків) – аспірантка кафедри зоології, Харківський національний педагогічний університет імені Г.С. Сковороди;

Дідур Олег Олексійович (Дніпро) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, Науково-дослідний інститут біології, старший дослідник, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

Дрегваль Оксана Анатоліївна (Дніпро) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри мікробіології, вірусології та біотехнології, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

Дудяк Наталія Василівна (Кропивницький) – доктор економічних наук, доцент, професор кафедри землеустрою, геодезії та кадастру, Херсонський державний аграрно-економічний університет;

Дутова Галина Анатоліївна (Київ) – кандидат сільськогосподарських наук, науковий співробітник відділу експертизи на придатність до поширення сортів рослин, Український інститут експертизи сортів рослин;

Дученко Катерина Андріївна (Харків) – кандидат медичних наук, доцент кафедри фармакології та паразитології, Державний біотехнологічний університет;

Дядін Дмитро Володимирович (Харків) – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри інженерної екології міст, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова;

Євтушенко Микола Юрійович (Київ) – доктор біологічних наук, член-кореспондент Національної академії наук України, професор, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

Забродська Юлія Юріївна (Житомир) – здобувачка вищої освіти освітнього ступеня магістр спеціальності 101 «Екологія» другого року навчання, факультет лісового господарства та екології, Поліський національний університет;

Залєнська Єлизавета Андріївна (Київ) – аспірантка, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

Зубровська Ольга Миколаївна (Кривий Ріг) – кандидат біологічних наук, науковий співробітник відділу природної та культурної флори, Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України;

Іванець Олег Романович (Львів) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри зоології, Львівський національний університет імені Івана Франка;

Іващенко Ірина Вікторівна (Житомир) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри здоров'я фітоценозів і трофології, Поліський національний університет;

Калин Богдана Миколаївна (Львів) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри екології, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Ґжицького;

Карпенко Тетяна Анатоліївна (Кривий Ріг) – доктор філософії з наук про Землю, старший викладач кафедри географії та методики її навчання, Криворізький державний педагогічний університет;

Кирпичова Ірина Валентинівна (Полтава) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри біології та агрономії, Державний заклад «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»;

Климишин Олександр Семенович (Дрогобич) – доктор біологічних наук, професор, професор кафедри екології та географії, Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка;

Коваленко Юрій Леонідович (Харків) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерної екології міст, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова;

Ковпак Анна Василівна (Київ) – здобувач доктора філософії зі спеціальності 101 «Екологія», кафедра екології агросфери та екологічного контролю, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

Копілевич Володимир Абрамович (Київ) – доктор хімічних наук, професор, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

Корнієнко Валентина Іванівна (Київ) – доктор біологічних наук, професор, директор Української лабораторії якості і безпеки продукції агропромислового комплексу, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

Корнішина Анастасія Валеріївна (Полтава) – аспірант кафедри прикладної екології та природокористування, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»;

Король Катерина Анатоліївна (Львів) – викладач кафедри екологічної безпеки, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності;

Коротецький Василь Павлович (Київ) – проректор з адміністративно-господарської роботи, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Котюк Людмила Анатоліївна (Житомир) – доктор біологічних наук, доцент, професор кафедри екології, Поліський національний університет;

Коцюба Ірина Юріївна (Житомир) – кандидат біологічних наук, старший викладач кафедри екології та географії, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

Кравчук Таїса Валеріївна (Житомир) – аспірант, Поліський національний університет;

Красовський Володимир Васильович (Хорол) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, директор, Хорольський ботанічний сад;

Кривошанка Вікторія Аліфарманівна (Новосілки) – кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, зав. лабораторії фізіології рослин і мікробіології, Інститут садівництва Національної академії аграрних наук України;

Кулікова Дар'я Володимирівна (Дніпро) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»;

Лагутенко Оксана Тарасівна (Київ) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри біології, Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова;

Ладогубець Олена Василівна (Харків) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри фармакології та паразитології, Державний біотехнологічний університет;

Лазебна Ольга Миколаївна (Київ) – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри екології, Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова;

Левонюк Сергій Михайлович (Харків) – старший науковий співробітник, Український науково-дослідний інститут природних газів;

Леуський Михайло Вікторович (Київ) – старший лаборант кафедри гідробіології та іхтіології, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

Лещук Володимир Олексійович (Київ) – науковий співробітник, Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України;

Лихолат Тетяна Юріївна (Дніпро) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри мікробіології, вірусології та біотехнології, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

Лихолат Юрій Васильович (Дніпро) – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри фізіології та інтродукції рослин, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

Макаренко Аліна Анатоліївна (Київ) – доктор філософії, асистент кафедри гідробіології та іхтіології, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

Мартиненко Василь Валентинович (Київ) – старший науковий співробітник, Природний заповідник «Древлянський», аспірант, Інститут агроєкології і природокористування Національної академії аграрних наук України;

Матвійчук Олена Сергіївна (Житомир) – здобувачка вищої освіти освітнього ступеня магістр спеціальності 101 «Екологія» другого року навчання, факультет лісового господарства та екології, Поліський національний університет;

Машков Олег Альбертович (Київ) – доктор технічних наук, завідувач кафедри екологічного моніторингу та геоінформаційних технологій, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Мельник-Шамрай Вікторія Вікторівна (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Миленська Мирослава Миронівна (Івано-Франківськ) – кандидат біологічних наук, доцент, завідувача кафедри біології та екології, Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника;

Михайлюк Віктор Іванович (Одеса) – доктор географічних наук, професор кафедри геодезії, землеустрою та земельного кадастру, Одеський державний аграрний університет;

Мідик Світлана Вікторівна (Київ) – кандидат ветеринарних наук, старший дослідник, завідувач науково-дослідного відділу моніторингу безпеки продукції агропромислового комплексу Української лабораторії якості і безпеки продукції агропромислового комплексу, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

Можарівська Інна Анатоліївна (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, асистент кафедри ґрунтознавства та землеробства, Поліський національний університет;

Монастирська Світлана Семенівна (Дрогобич) – кандидат біологічних наук, доцент, завідувачка кафедри біології та хімії, Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка;

Мухіна Катерина Євгенівна (Київ) – здобувачка кафедри екологічного моніторингу та геоінформаційних технологій, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Настека Тетяна Миколаївна (Київ) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри біології, Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова;

Оне Ольга-Валентина Золтанівна (Київ) – студентка магістратури, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

Онищук Ірина Петрівна (Житомир) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та географії, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

Ощатовський Ігор Валентинович (Львів) – кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник кафедри неорганічної хімії, Львівський національний університет імені Івана Франка;

Піциль Андрій Орестович (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри екології, Поліський національний університет;

Пічура Віталій Іванович (Кропивницький) – доктор сільськогосподарських наук, професор, професор кафедри екології та сталого розвитку імені професора Ю.В. Пилипенка, Херсонський державний аграрно-економічний університет;

Пляцук Леонід Дмитрович (Суми) – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та природоохоронних технологій, Сумський державний університет;

Польовий Анатолій Миколайович (Одеса) – доктор географічних наук, професор, завідувач кафедри агрометеорології та агроекології, Одеський державний екологічний університет;

Полятикіна Ольга Олексіївна (Київ) – завідувачка лабораторії, Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України;

Потравка Лариса Олександрівна (Кропивницький) – доктор економічних наук, професор, професор кафедри екології та сталого розвитку імені професора Ю.В. Пилипенка, Херсонський державний аграрно-економічний університет;

Роман Людмила Юріївна (Ужгород) – кандидат хімічних наук, доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища, навчально-науковий інститут хімії та екології, Ужгородський національний університет;

Романчук Людмила Донатівна (Житомир) – доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри екології, проректор з наукової роботи та інноваційного розвитку, Поліський національний університет;

Романюк Ольга Іванівна (Львів) – кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник відділення фізико-хімії горючих копалин, Інститут фізико-органічної хімії і вуглехімії імені Л.М. Литвиненка Національної академії наук України;

Рудик-Леуська Наталія Ярославівна (Київ) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри гідробіології та іхтіології, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

Рутта Олена Валеріївна (Кропивницький) – асистент кафедри екології та сталого розвитку імені професора Ю.В. Пилипенка, Херсонський державний аграрно-економічний університет;

Савлущинський Олег Миколайович (Київ) – заступник директора, Державне науково-виробниче підприємство «Геоінформ України»;

Семак Уляна Йосипівна (Івано-Франківськ) – аспірантка кафедри біології та екології, Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника;

Семенюк Наталія Євгенівна (Київ) – доктор біологічних наук, старший науковий співробітник, Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України;

Скляр Тетяна Володимирівна (Дніпро) – кандидат біологічних наук, доцент, завідувачка кафедри мікробіології, вірусології та біотехнології, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

Скуйбіда Олена Леонідівна (Запоріжжя) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри охорони праці і навколишнього середовища, Національний університет «Запорізька політехніка»;

Соловійова Олена Олексіївна (Житомир) – студентка IV курсу факультету лісового господарства та екології, Поліський національний університет;

Сопов Дмитро Сергійович (Полтава) – доктор філософії з наук про Землю, доцент кафедри географії, Державний заклад «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»;

Степова Олена Валеріївна (Полтава) – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної екології та природокористування, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»;

Строкаль Віта Петрівна (Київ) – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри екології агросфери та екологічного контролю, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

Ткачук Олександр Петрович (Вінниця) – доктор сільськогосподарських наук, доцент, завідувач кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Вінницький національний аграрний університет;

Третьяков Олег Вальтерович (Київ) – доктор технічних наук, професор, професор кафедри цивільної та промислової безпеки, Національний авіаційний університет;

Тристан Артем Андрійович (Полтава) – студент магістратури I курсу кафедри прикладної екології та природокористування, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»;

Улицький Олег Андрійович (Київ) – директор, Науково-навчальний інститут екобезпеки та управління Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління;

Федько Роман Миколайович (Березоточа) – кандидат біологічних наук, завідувач відділу екології та фармакогнозії, Дослідна станція лікарських рослин Інституту агроєкології і природокористування Національної академії аграрних наук України;

Хижняк Меланія Іванівна (Київ) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри гідробіології та іхтіології, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

Хижняк Світлана Володимирівна (Київ) – доктор біологічних наук, професор, провідний науковий співробітник Української лабораторії якості і безпеки продукції агропромислового комплексу, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

Хом'як Іван Владиславович (Житомир) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та географії, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

Хромих Ніна Олександрівна (Дніпро) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник Науково-дослідний інститут біології, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

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 природничого факультету, Полтавський національний педагогічний університет імені В.Г. Короленка;

Шамрай Володимир Ігорович (Житомир) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри гірничих технологій та будівництва ім. проф. Бакка М.Т., Державний університет «Житомирська політехніка»;

Шевченко Валентина Григорівна (Київ) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова;

Шевченко Роман Юрійович (Київ) – кандидат географічних наук, доцент кафедри екологічного моніторингу та геоінформаційних технологій, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Шевчик-Костюк Леся Зеновійвна (Львів) – кандидат біологічних наук, молодший науковий співробітник відділення фізико-хімії горючих копалин, Інститут фізико-органічної хімії і вуглехімії імені Л.М. Литвиненка Національної академії наук України;

Шиндер Олександр Іванович (Київ) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник відділу природної флори, Національний ботанічний сад імені М.М. Гришка Національної академії наук України;

Шуплат Тарас Ігорович (Львів) – кандидат сільськогосподарських наук, викладач кафедри екологічної безпеки, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності;

Щербак Володимир Іванович (Київ) – доктор біологічних наук, професор, провідний науковий співробітник, Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України;

Юхименко Юлія Станіславівна (Кривий Ріг) – кандидат біологічних наук, науковий співробітник відділу інтродукції та акліматизації рослин Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України;

Ярчук Дар'я Сергіївна (Харків) – студент кафедри інженерної екології міст, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова;

Ясінський Віктор Вікторович (Житомир) – начальник відділу державного екологічного нагляду (контролю) поводження з відходами та небезпечними хімічними речовинами, Управління державного екологічного нагляду (контролю) природних ресурсів та промислового забруднення Житомирської області – старший державний інспектор з охорони навколишнього природного середовища Поліського округу, Державна екологічна інспекція Поліського району;

Яцюк Михайло Васильович (Київ) – кандидат географічних наук, директор, Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України.

ЕКОЛОГІЧНІ НАУКИ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

5(44)

- **Екологічна безпека**
- **Біологічна безпека**
- **Екологічний моніторинг**
- **Екологія будівництва**
- **Екологія водних ресурсів**
- **Екологія земельних ресурсів**
- **Екологія і виробництво**
- **Збереження біологічного та ландшафтного різноманіття**
- **Зміна клімату**
- **Поводження з відходами**
- **Природно-заповідний фонд України**
- **Екологічна освіта**

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 12.09.2022. Формат 64х84/8.

Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman. Цифровий друк.
Ум. друк. арк. 34,41. Тираж 100. Замовлення № 1122/455.
Ціна договірна. Віддруковано з готового оригінал-макета