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

4(43)

Видавничий дім
«Гельветика»
2022

УДК 502+504

Друкується за рішенням Вченої Ради
Державної екологічної академії післядипломної освіти
та управління (№ 3/22 від 15.06.2022 р.)
Свідоцтво про державну реєстрацію
КВ 24703-14643Р від 19.01.2021 р.

Екологічні науки : науково-практичний журнал / Головний редактор Бондар О.І. – К. : Видавничий дім «Гельветика», 2022. – № 4(43). – 230 с.

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

Заступник головного редактора: Нагорнева Н. А.

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

Відповідальний редактор: Сікачина В. Г.

Редакційна колегія:

Гандзюра В.П., доктор біологічних наук
Єрмаков В.М., доктор технічних наук
Захматов В.Д., доктор технічних наук
Іващенко Т.Г., кандидат технічних наук
Коніщук В.В, доктор біологічних наук
Лукаш О.В., доктор біологічних наук,
Машков В.А., доктор технічних наук
Михайленко Л.Є., доктор біологічних наук
Нецветов М.В., доктор біологічних наук
Ольшевський С.В., доктор технічних наук
Риженко Н.О., доктор біологічних наук
Рудько Г.І., доктор геолого-мінералогічних наук,
доктор географічних наук, доктор технічних наук
Улицький О.А., доктор геологічних наук
Фінін Г.С., доктор фізико-математичних наук
Шматков Г.Г., доктор біологічних наук

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

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

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

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

© Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, 2022

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ.....7

Бондар О.І., Гандзюра В.П., Матвієнко М.Г. Екобезпекова складова національної системи стійкості.....7

Жук А.В., Мишілюк І.І. Особливості мережі придорожніх екотонів захисного типу Чернівецької області.....12

Пацева І.Г., Алпатова О.М., Демчук Л.І., Кірейцева Г.В., Левицький В.Г. Сучасний стан навколишнього природного середовища в умовах впливу війни.....19

Пилипчук О.Я., Висоцька Т.І., Пічкур Т.В., Савчук М.В., Сальникова А.В., Соловйова Л.М., Сорочинська О.Л. Захист атмосферного повітря від забруднень залізничним транспортом.....23

БІОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА.....27

Курбатова І.М., Захаренко М.О., Чепіль Л.В., Тупицька О.М. Особливості метаболічних процесів у риб за дії ксенобіотиків.....27

ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ.....32

Бойчун С.О., Мельніченко Д.С., Таранов В.В. Моніторінг відносного вмісту нітратів у водах.....32

Бондар О.І., Фінін Г.С., Шевченко Р.Ю. Екологічні виклики воєнного часу: оцінка впливу на довкілля космічними системами дистанційного зондування та GPS-навігації.....40

Курганевич Л.П., Андрейчук Ю.М., Бонішко О.С., Хавень В.В. Моніторинг якості води джерел нецентралізованого водопостачання села поромів Волинської області.....50

ЕКОЛОГІЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ.....58

Заленська Є.А., Войтенко Л.В. Індекси якості води: адаптація та використання для України.....58

Суходольська І.Л., Басараба І.В. Основні джерела надходження сполук нітрогену до водних екосистем.....65

Шелюк Ю.С. Оцінка складності структури фітопланктону різнотипних водних екосистем Українського Полісся.....70

ЕКОЛОГІЯ І ВИРОБНИЦТВО.....74

Босюк А.С., Шестопалов О.В. Аналіз сучасних технологій та методів очистки гальванічних стоків машинобудівних підприємств.....74

Зубов А.О., Зубов О.Р. Типологія, морфометрія і кількість породних відвалів вугільних шахт в Україні.....79

Красова О.О., Павленко А.О. Трансформація технотопів та територіальний розподіл екотопічних структур на залізорудних відвалах Кривбасу.....88

Романюк О.І., Борецька І.Ю., Шевчик Л.З., Ощаповський І.В. Розробка фіторемедіаційних композицій для очистки ґрунтів, забруднених нафтою та її похідними.....94

Сібілєва О.В. Якість автомобільних бензинів та дизельного пального на ринку України.....100

ЕКОЛОГІЯ ТА ЕКОНОМІКА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ.....107

Дзендзель А.Ю., Пида С.В. Вплив рекультиванту композиційного Trevitan™ на продуктивність та якісний склад плодів помідора їстівного (*Lycopersicon esculentum* Mill.).....107

Маренков О.М., Єсіпова Н.Б., Шмагайло М.О. Наукове обгрунтування рибогосподарської діяльності в Запорізькому (Дніпровському) водосховищі.....113

Питуляк М.Р., Питуляк М.В., Жулканич Б.М., Бартко С.Л. Природно-екологічні особливості та сучасний стан землекористування в ОТГ Хмельницької області.....121

Sukhov V.V. Hydrogeological conditions of karst development in carbonate rocks within the Sviatohirsk brahianticlinal.....127

ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ.....131

Кавчук І.М., Різничук Н.І. Зелені насадження паркових екосистем Івано-Франківська.....131

Красовський В.В., Федько Р.М., Черняк Т.В., Григоренко А.В. Можливості інтродукції *Feijoa Sellowiana* O. Berg в лісостеп України: наукові та практичні підходи……135

Крупєй К.С., Скляренко А.В. Аналіз типів пошкоджень листових пластинок деревних рослин комахами-шкідниками у промислових зонах м. Запоріжжя……140

Мудрак О.В., Дем'янюк О.С., Магдійчук А.П. Гірничо-промислові ландшафти Правобережного Лісостепу як потенційні структурні елементи регіональної екомережі 149

Павлишак Я.Я., Даньків В.Я. Аналіз адвентивної фракції флори Дрогобицького району……154

Суслова О.П. Динаміка вмісту фотосинтетичних пігментів асиміляційного апарату *Juniperus media* Melle '*Mint Julep*' в міських насадженнях степової зони України……158

ЗМІНА КЛІМАТУ……163

Тесьолкіна Т.С., Лукашов Д.В. Вплив кліматичних умов на швидкість мінералізації целюлози у лісовій підстилці Голосіївського лісу НПП «Голосіївський»……163

ОСВІТА ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ……168

Герасимчук Л.О., Валерко Р.А., Ярошенко Б.О., Члек О.М. Загрози довкіллю внаслідок військових дій очима дітей……168

ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ……174

Злобенко Б.П., Федоренко Ю.Г., Розко А.М., Ольховик Ю.О. Альтернативні зв'язуючі для іммобілізації рідких органічних радіоактивних відходів……174

Пацева І.Г., Герасимчук О.Л., Кагукіна А.М. Системний підхід управління відходами об'єднаних територіальних громад……181

Сталінська І.В. Зменшення екологічного ризику полігонів твердих побутових відходів……185

Ushcats S.Yu., Mihelev I.L., Zholobenko N.Yu., Markina L.M. Determination of morphological composition of municipal solid waste for mykolayiv city (Ukraine) and forecasting of their accumulation in the future……190

РОЗВИТОК ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНОГО ФОНДУ……197

Лисенко Г.М., Шульга О.О. Санітарні вибіркові рубки у системі екологічного менеджменту (на прикладі Ічнянського національного природного парку)……197

Чипиляк Т.Ф. Розвиток генеративної сфери сортів *Hemerocallis* L. Селекції Криворіжського ботанічного саду НАН України за кліматичних змін……202

ТЕОРЕТИЧНА ЕКОЛОГІЯ……208

Горин О.І., Хатіб Іхаб, Ковальська Г.Б., Познанський Д.В., Чернік І.В., Боднар О.І. Вплив екологічно реальних та субтоксичних концентрацій малатіону на нетаргетні організми (на прикладі *Danio Rerio*)……208

Поліщук Л.В. Поширення хітиназних генів в геномах стрептоміцетів……214

Юрченко Т.В., Демидов О.А., Пикало С.В., Булавка Н.В., Пірич А.В., Гудзенко В.М. Модифікація методу визначення фотоперіодичної чутливості сортів пшениці м'якої озимої в умовах Центрального Лісостепу України……220

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ……224

CONTENTS

GENERAL ENVIRONMENTAL SAFETY ISSUES 7

Bondar O., Gandziura V., Matviienko M. Environment-security component of National Resilience system 7

Zhuk A., Myshiliuk I. Features of the roadside protective ecotones network in Chernivtsi region 12

Patseva I., Alpatova O., Demchuk L., Kireitseva H., Levytskyi V. The current state of the natural environment under the influence of war 19

Pylypchuk O., Vysotska T., Pichkur N., Salnikova A., Savchuk M., Soloviova L, Sorochynska O. Protection of atmosperic air from pollution by Railwai transport 23

BIOLOGICAL SAFETY 27

Kurbatova I., Zakharenko M., Chepil L., Tupytska O. Peculiarities of metabolic processes in fish under the action of xenobiotics 27

ENVIRONMENTAL MONITORING 32

Boychun S. Melnichenko D., Taranov V. Monitoring of the relative content of nitrates in waters 32

Bondar O., Finin G., Shevchenko R. Environmental challenges of wartime: environmental impact assessment by Space Remote Sensing Systems and GPS-navigation 40

Kurhanevych L., Andreychuk Y., Bonishko O. Water quality monitoring of decentralized water supply sources of Poromiv village in Volyn region 50

ECOLOGY OF WATER RESOURCES 58

Zalenska Ye., Voitenko L. Water quality indices: adaptation and application for Ukraine 58

Sukhodolska I., Basaraba I. Main sources of the Nitrogen compounds restocking to water ecosystems 65

Sheliuk Yu. Assessment of the complexity of the phytoplankton structure of different types of aquatic ecosystems of the Ukrainian forest 70

ECOLOGY AND PRODUCTION 74

Bosiuk A., Shestopalov O. Analysis of modern technologies and methods of purification of galvanic waste in machine-building industry 74

Zubov A., Zubov O. Typology, morphometry and quantity of waste heaps of coal mines in Ukraine 79

Krasova O., Pavlenko A. Transformation of technotopes and territorial distribution of ecotopic structures on iron ore dumps of Kryvyi Rih Area 88

Romanyuk O., Boretska I., Shevchyk-Kostiuk L., Oshchapovskyy I. The development of phytoremediation compositions for cleaning of soils, polluted by oil and oil derivatives 94

Sibilyeva O. Quality of automobile gasoline and diesel fuel on the Ukrainian market 100

ECOLOGY AND ECONOMICS OF NATURAL RESOURCE USE 107

Dzendzel A., Pyda S. Influence of Trevitan™ composite recultivator on productivity and qualitative composition of edible tomato fruits (Lycopersicon esculentum Mill) 107

Marenkov O., Yesipova N., Shmagailo M. Scientific justification of fisheries in the Zaporizhian (Dnipro) reservoir 113

Pytuliak M., Pytuliak M., Zhulkanych B., Bartko S. Natural and ecological features and the current state of land use in Khmelnytskyi region 121

Sukhov V.V. Hydrogeological conditions of karst development in carbonate rocks within the Sviatohirsk brahianticlinal 127

PRESERVATION OF BIOLOGICAL AND LANDSCAPE DIVERSITY 131

Kavchuk I., Riznychuk N. Green plantations of Ivano-Frankivsk's park ecosystems 131

Krasovsky V., Fedko R., Chernyak T., Hryhorenko A. Possibilities of introducing *Feijoa sellowiana* O. Berg in the Forest-Steppe of Ukraine: scientific and practical approaches 135

Krupiei K., Sklyarenko A. Analysis of types of damage to leaf blades of woody plants by pests in industrial zones of Zaporizhzhia 140

Mudrak O., Demianiuk O., Mahdiichuk A. Mining and industrial landscapes of the right-bank forest-steppe as potential structural elements of the regional eco-network 149

Pavlyshak Y., Dankiv V. Analysis of the adventitious flora fraction of Drohobych district 154

Suslova O. Dynamic pattern of photosynthetic pigment content of the assimilation apparatus in *Juniperus media* Melle 'Mint Julep' found in city green spaces of the Ukrainian steppe 158

CLIMATE CHANGE 163

Tesolkina T., Lukashov D. The influence of climatic conditions on the rate of mineralization of cellulose in the forest litter of the Golosiiv forest of the «Goliivskyi» national park 163

EDUCATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT 168

Herasymchuk L., Valerko R., Yaroshenko B., Chlek O. Environmental threats from the consequences of military actions through the eyes of children. 168

WASTE MANAGEMENT 174

Zlobenko B., Fedorenko Yu., Rozko A., Olkhovyk Yu. Alternative binders for immobilization of liquid organic radioactive waste 174

Patseva I., Herasymchuk O., Kahukina A. Systematic approach to waste management of united territorial communities 181

Stalinska I. Reducing the environmental risk of solid waste landfills 185

Ushcats S.Yu., Mihelev I.L., Zholobenko N.Yu., Markina L.M. Determination of morphological composition of municipal solid waste for Mykolayiv city (Ukraine) and forecasting of their accumulation in the future 190

DEVELOPMENT OF THE NATURE RESERVE FUND 197

Lysenko H., Shulga O. Sanitary selective cuttings in the system of ecological management (on the example of Ichnya National Natural Park) 197

Chipiliak T. Development of the generative sphere of cultivars of *nemerocallis* l. Selections of the Kryvyi Rih Botanical garden of the NAS of Ukraine of under action of climatic changes 202

THEORETICAL ECOLOGY 208

Horyn O., Khatib Ikhab, Kovalska H., Poznanskyi D., Chernik I., Bodnar O. Effect of environmentally relevant and subtoxic concentrations of malathion on non-target organisms (on the *Danio rerio* example) 208

Polishchuk L. Prevalence of chitinase genes in streptomycetes genomes 214

Yurchenko T., Demydov O., Pykalo S., Bulavka N., Pirych A., Hudzenko V. Modification of the method for determining the photoperiodic sensitivity of bread winter wheat varieties under the conditions of the Central Forest-Steppe of Ukraine 219

AUTHORS' CREDENTIALS 224

ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

УДК 502: 504: 574
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.1

ЕКОБЕЗПЕКОВА СКЛАДОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ СТІЙКОСТІ

Бондар О.І., Гандзюра В.П., Матвієнко М.Г.
Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп., 2, 03035, м. Київ
ceeai@ukr.net; matvienko.imdlab@gmail.com

Означені особливості забезпечення національної системи стійкості як складової національної безпеки України, а також співробітництва України, ЄС і НАТО у природоохоронній сфері. Так, Указом Президента України № 479/2021 від 27 вересня 2021 року введено в дію рішення Ради національної безпеки і оборони України від 20 серпня 2021 року «Про запровадження національної системи стійкості» та затверджено Концепцію забезпечення національної системи стійкості. Проте аналіз прийнятого документу засвідчив, що в ньому вкрай недостатньо уваги приділено екобезпековій складовій. Розбудова національної системи стійкості посідає важливе місце в системі національної безпеки України. 23 лютого 2022року Кабінет Міністрів України ухвалив проєкт Указу Президента України «Про Річну національну програму під егідою Комісії Україна – НАТО на 2022 рік». РНП-2022, зокрема, зосереджується на адаптації сектору безпеки й оборони України до норм і принципів НАТО, створення національної системи стійкості та реформування оборонної промисловості; поглибленні взаємодії з НАТО в межах статусу партнера з розширеними можливостями, який Україна отримала у 2020 році. Реалізація даної програми необхідна для захисту та повноцінного функціювання держави на всіх рівнях. Попри те, що реалізація такого завдання закріплена в законодавчих документах, наразі ця тема потребує наукового обґрунтування. Перш за все, необхідні теоретичні основи та втілення механізмів гарантування екобезпеки в системі національної стійкості України. Під час роботи у такому напрямку важливо спиратися на успішний досвід країн ЄС і НАТО в розробленні національних систем стійкості цих країн. Розв'язання проблеми розбудови національної системи стійкості України завдяки поліпшенню екобезпекової складової дозволить істотно вплинути на зміцнення національної безпеки країни. *Ключові слова:* національна система стійкості, екобезпека, стійкий розвиток, навколишнє середовище, Центр європейської та євроатлантичної інтеграції Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління.

Environment-security component of National Resilience system. Bondar O., Gandziura V., Matviienko M.
The Decree of the President of Ukraine № 479/2021 of September 27, 2021 put into effect the decision of the National Security and Defense Council of Ukraine of August 20, 2021 «On the introduction of the national system of stability»; and approved the Concept of ensuring the National Resilience System. However, the analysis of the adopted document showed that it does not pay enough attention to the environmental component. Building the National Resilience System occupies an important place in the national security system of Ukraine. On February 23, the Cabinet of Ministers of Ukraine approved the draft Decree of the President of Ukraine «On the Annual National Program under the auspices of the NATO-Ukraine Commission for 2022». ANP-2022, in particular, focuses on: adaptation of the security and defense sector of Ukraine to NATO norms and principles, in particular the creation of National Resilience System and reform of the defense industry; deepening cooperation with NATO within the framework of Ukraine's enhanced partner status in 2020. The implementation of this program is necessary for the protection and full functioning of the state at all levels. Despite the fact that the implementation of this task is enshrined in legislative documents, now this topic needs scientific justification, after which it will be possible to develop strategic decisions. First of all, the theoretical foundations and implementation of mechanisms to ensure environmental safety in National Resilience System of Ukraine are needed. Working in this direction, it is important to rely on the successful experience of the EU and NATO countries in developing national resilience systems. In Ukraine, the Centre for European and Euro-Atlantic Integration of the State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management is solving these problems. Solving the problem of building Ukraine's national system of stability through strengthening the environment-security component will significantly strengthen the national security of the country. *Key words:* National resilience system, environmental safety, environment, sustainable development, Centre for European and Euro-Atlantic Integration of the State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management.

Постановка проблеми. Розбудова національної системи стійкості є одним із пріоритетних напрямів політики національної безпеки України на сучасному етапі. Це обумовлено необхідністю забезпечення готовності держави і суспільства до реагування на широкий спектр загроз різного походження, а також безперервності основних процесів у державі. Україна має значний потенціал стійкості, проте системні механізми забезпечення національної стійкості наразі ще знаходяться в процесі формування. Їх удосконалення сприятиме посиленню і розвитку системи забезпечення національної без-

пеки України. Розробка і реалізація комплексних стратегічних рішень у цій сфері потребує належного наукового обґрунтування, в першу чергу, щодо визначення концепції забезпечення національної стійкості [5]. Указом Президента України № 479/2021 від 27 вересня 2021 року введено в дію рішення Ради національної безпеки і оборони України від 20 серпня 2021 року «Про запровадження національної системи стійкості» та затверджено Концепцію забезпечення національної системи стійкості [10]. Проте, на думку авторів, екобезпекова складова ще не посіла в ній належне місце, що може мати негативні наслідки.

Актуальність дослідження. Курс на повноправне членство в ЄС і НАТО офіційно закріплений у Конституції України. На Варшавському саміті 2016 року країни НАТО визначили посилення стійкості одним із пріоритетів діяльності Альянсу, встановивши перелік із семи базових критеріїв НАТО для оцінки цивільної готовності суспільства: гарантована дієвість уряду і критично важливих урядових послуг; стійке постачання енергії; здатність ефективно діяти у разі неконтрольованого переміщення людей; стійкі джерела води і продуктів харчування; здатність реагувати на ситуації з масовими втратами; стійкі системи зв'язку; стійкі транспортні системи. Національна система стійкості передбачає формування комплексного механізму, який включатиме в себе етапи оцінки ризиків, планування та навчань, узгоджені протоколи реагування на кризову ситуацію та відновлення до початкового стану. Водночас, на думку авторів, у концепції «Національної стійкості» екобезпекова складова ще не посіла належне місце у системі національної безпеки. Тому першочерговим завданням є розроблення теоретичних основ та втілення в систему національної стійкості України механізмів гарантування екобезпеки.

Мета роботи. Екобезпека є невід'ємною складовою національної безпеки держави, яка повинна гарантуватися поряд із військовою, економічною та особистою безпекою. Загрози національної стійкості через навколишнє середовище варті першочергової уваги. Всі складові природного оточення мають бути оптимальними для нормального функціювання і розвитку людської цивілізації, що можливо лише за якісного стану довкілля. Тому метою роботи було проаналізувати введену в дію Національну систему стійкості та відповідність екобезпекової складової реальним загрозам національній безпеці України.

Викладення основного матеріалу. Досить часто в публічному дискурсі виникають «трендові» слова (buzzwords), що використовуються в політичних документах і державних програмах, під які виділяються кошти з державного бюджету або міжнародними організаціями, і які кожен розуміє по-своєму. Нещодавно такими словами були, зокрема, *економіка перехідного типу*, *сталий розвиток*, *гібридна війна*. Наразі в тренді *стійкість* (***resilience***).

В останні роки у багатьох країнах світу активно займаються створенням національних систем стійкості [14, 18]. Низка екологічних проблем в Україні (масові пожежі, проблеми з водними ресурсами, катастрофічне забруднення повітря, пандемія тощо) підтверджують необхідність істотного доопрацювання національної системи стійкості шляхом доповнення її розвиненою екобезпековою складовою.

11 лютого 2020 р. у Києві розпочався курс практичних семінарів з розбудови національної системи стійкості згідно з принципами та рекомендаціями НАТО, організований Урядовим офісом з координації європейської та євроатлантичної інтеграції за підтримки Офісу оборонного співробітництва США. У відкритті курсу брали участь тимчасова повірена у справах США в Україні Крістіна Квін, в.о. голови Урядового офісу з координації європейської та євроатлантичної інтеграції України Олексій Генчев, директор Національного інституту стратегічних досліджень Олександр Литвиненко.

У першому з серії семінарів (із залученням експертів США) брали участь 70 українських фахівців з понад 20 державних установ України, зокрема, Міністерства внутрішніх справ, Міністерства оборони, Міністерства юстиції, Міністерства розвитку громад та територій, Ради національної безпеки та оборони України, Служби безпеки України, Державної інспекції ядерного регулювання, Урядового офісу з координації європейської та євроатлантичної інтеграції, Національного інституту стратегічних досліджень, Центру європейської та євроатлантичної інтеграції Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України тощо. Аналізували підходи НАТО та окремих країн до забезпечення стійкості, роль і місце у системі стійкості кожного з державних органів, їхні функції та розподіл відповідальності.

Так, в основі всеохоплюючого комплексного підходу до національної безпеки лежить досягнення семи ключових цілей [6] (рис. 1).

При цьому варто розрізняти два типи стійкості: пружну і резистентну. Пружна стійкість передбачає відхилення системи від рівноважного стану за дії збурюючого чинника та повернення до вихідного стану після припинення дії останнього. Системи, яким притаманна резистентна стійкість, за дії збурюючого чинника зберігають притаманні їм властивості, і лише коли сила впливу чинника, що виводить систему зі стану рівноваги досягне певної межі (резистентної стійкості даної системи) – вона переходить до якісно нового стану [17].

Ці обставини необхідно враховувати під час розроблення заходів із забезпечення стійкості. Адже одні ситуації вимагають забезпечення саме резистентної стійкості, а за певних умов значно ефективнішими заходами будуть ті, які забезпечать лабільну (пружну) реакцію-відповідь на збурюючий чинник.



Рис. 1. Складові національної безпеки

Зростання рівня глобальних загроз у сфері довкілля, зміни клімату спричинило нагальну потребу шукати нові шляхи убезпечення людей від природних катастроф та забезпечення процесів життєдіяльності в кризових умовах. Відтоді набула актуальності проблема стійкості екосистем й інфраструктури. Згодом спектр загроз як для держав, так і для людей лише розширювався. На порядок денний вийшли завдання розбудови стійкости держави і суспільства до терористичної загрози та інформаційних атак, стійкости комп'ютерних систем до хакерських атак, стійкости фінансової системи, а зрештою – національної стійкости. У кожному зі згаданих словосполучень є поняття *стійкість*, але воно асоціюється із зовсім різними й часто не поєднаними між собою процесами [13]. А що ж спільного у всіх цих випадках? В узагальненому вигляді стійкість характеризує реакцію об'єкту на певні зовнішні впливи, його здатність адаптуватися до їхньої дії без значної втрати функціональності [16]. Дослідники сформували міждисциплінарний концепт стійкости. Його практична цінність у тому, що, розуміючи відповідні принципи і правила, можна посилити здатність різних об'єктів та систем *виживати* (в широкому значенні) в складних і незвичних умовах [4, 6].

Попри те, що неможливо виключити з життя природні катастрофи (повені, торнадо, цунамі, землетруси тощо) або назавжди подолати тероризм, можна ліпше підготуватися до відповідних загроз, зменшуючи кількість втрат і пришвидшуючи процес відновлення після криз. В цьому випадку знадобиться програма стійкості. Насамперед механізми забезпечення національної стійкості почали застосовуватися в країнах, які потерпали від природних негараздів, а згодом поширилися й на інші сфери (протидія тероризму, інформаційним і кібератакам, психологічному тиску тощо) [12]. Нині відповідні практики використовують США, Канада, Велика Британія, Ізраїль, Японія, Естонія та інші країни. Питаннями стійкості опікуються також і міжнародні організації, зокрема ООН, НАТО, ОЄСР. Їхній досвід і рекомендації мають свої особливості, оскільки відрізняються одна від одної і країни, і організації. При цьому є й спільні риси, які характеризують розбудову національної стійкости і мають принципово важливе значення. Зокрема, це активна взаємодія представників держави й суспільства, високий рівень їхньої обізнаности в сутності й характері загроз, і заходів, у яких вони мають брати участь до, під час і після кризи або надзвичайної події тощо.

За таких умов класичних оборонних і безпекових заходів виявляється вже недостатньо для того, щоб люди, суспільство і держава були захищеними на гідному рівні. Постає питання про набуття системою забезпечення національної безпеки нової якості, яка давала б змогу адаптуватися до непередбачуваних впливів, працювати безперебійно навіть в умовах кризи, не допускати розвитку деструктивних явищ.

У цьому й полягає запровадження принципів національної стійкості у сфері забезпечення національної безпеки. І це не потребує значних додаткових ресурсів, а, навпаки, зекономить їх. Правильна організація взаємодії наявних сил і засобів, переорієнтація тренінгів і навчань, які вже існують як елемент у системі забезпечення національної безпеки, формування зацікавленості громад у посиленні власної безпеки – це те, з чого починати можна вже зараз, не очікуючи на нові доручення й рекомендації радників.

Особливої уваги варта проблема стійкості – екобезпекова, зокрема, у секторі безпеки й оборони України. Намічені шляхи удосконалення природоохоронних заходів у секторі оборони, розроблені фахівцями Центру європейської та євроатлантичної інтеграції Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління, які увійшли до Річних національних програм Україна-НАТО-2019, 2020 та 2021 рр. Європейська та євроатлантична інтеграція є головним і незмінним зовнішньополітичним пріоритетом України. 23 лютого 2022 року Уряд ухвалив проект Річної національної програми під егідою Комісії Україна-НАТО на 2022 рік Служба Віце-прем'єр-міністра України [10], де значна увага

приділена подальшій розбудові національної системи стійкості.

Подальша розбудова та поглиблення взаємовідносин між Україною та ЄС здійснюється на принципах політичної асоціації та економічної інтеграції. Зовнішньополітична діяльність України спрямована на забезпечення її національних інтересів і безпеки шляхом підтримання мирного і взаємовигідного співробітництва з членами міжнародного співтовариства за загальновизнаними принципами і нормами міжнародного права. Переважна більшість українського суспільства підтримує курс на повноправне членство України в ЄС та НАТО, усвідомлюючи, що це є ключовою гарантією розбудови демократичної правової держави та забезпечення її безпеки. Інтеграція та курс на повноправне членство в НАТО – це збереження незалежності України [3, 15]. Наразі суспільна підтримка в Україні європейського та євроатлантичного вибору зумовлена європейською цивілізаційною ідентичністю України, її тісними і тривалими відносинами з членами європейської та євроатлантичної спільнот, які ґрунтуються на спільних цивілізаційних цінностях. У рішенні Бухарестського саміту НАТО 2008 року було підтверджено майбутнє членство України в цій організації. У 2019 році в Конституції України законодавчо закріплено цивілізаційний вибір, європейська ідентичність Українського народу та незворотність стратегічного курсу держави на набуття повноправного членства України в Європейському Союзі та в Організації Північноатлантичного договору.

Особливо скрутна екологічна ситуація склалася в Україні на територіях військових об'єктів, адже до розпаду СРСР військові території займали 18% всієї площі країни, що значно переважає площу лісів та заповідників. В той час як у країнах-членах НАТО загальна площа земель, відчужених для повсякденної діяльності військ, становить 1–3% їх земельного фонду, а в Україні наразі – близько 7% загальної території країни. У США на очищення й відновлення 1 км^2 землі, що використовується як полігон для стрільб та бомбометання, в середньому витрачалося близько 250 млн. доларів. Витрати на очищення військових баз від токсичних хімічних відходів на початку 90-х років у США становили 30–40 млрд доларів за рік. Водночас єдина в Україні «Програма реабілітації територій, забруднених унаслідок військової діяльності на 2002–2015 рр.» практично не фінансувалася.

Співробітництво між Україною, ЄС і НАТО у природоохоронній сфері має на меті досягнення кількох завдань (рис. 2).

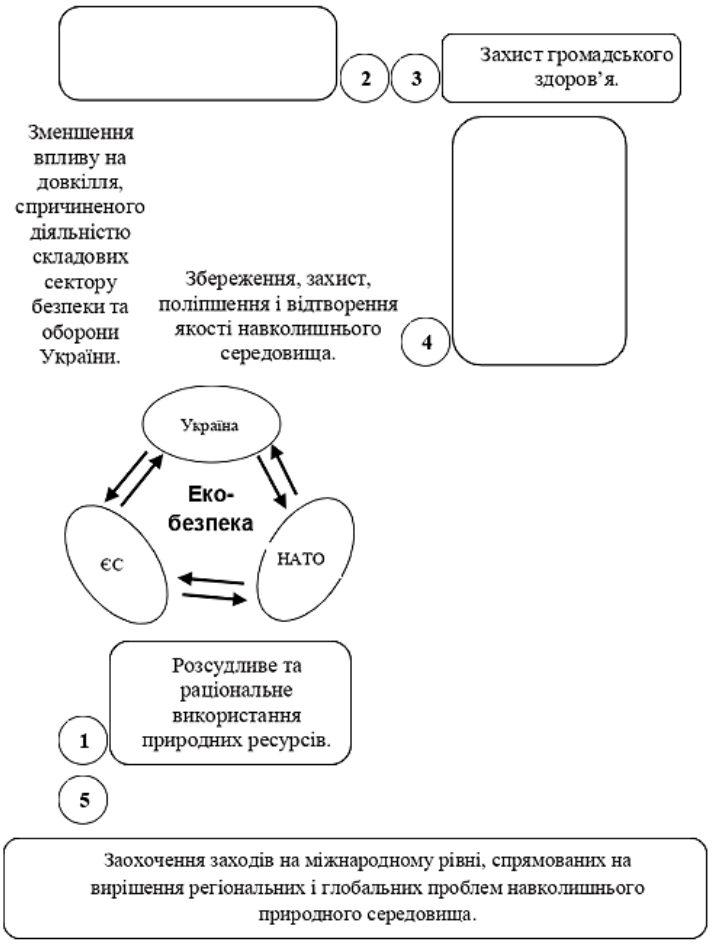


Рис. 2. Основні напрямки діяльності України, ЄС і НАТО в сфері екобезпеки

З метою забезпечення виконання пріоритетних завдань співробітництва України з Організацією Північноатлантичного договору розробляються річні національні програми (РНП) під егідою Комісії Україна – НАТО. Затверджена Указом Президента України від 10 квітня 2019 року ₴117/2019 вперше в історії держави РНП-2019 стала програмою стратегічних реформ та інших заходів, необхідних для забезпечення ефективної, цілеспрямованої та системної підготовки України до членства в Альянсі [7].

Головні висновки На сьогодні гостро постала проблема й необхідність доповнення Національної системи стійкості достатньо розвиненою екобезпековою складовою. І лише коли проблеми екобезпеки посядуть належне місце в системі Національної безпеки та в Національній системі стійкості, можна розраховувати на поступове поліпшення стану екосистем, якості середовища існування, здоров'я людини та мінімізацію шкоди навіть за умов будь-яких потужних збурюючих чинників. Отже, варто орієнтуватися на досвід держав, які вже досягли успіху в цій сфері, зокрема, країни ЄС та НАТО. При цьому необхідно враховувати нинішні економічні, політичні, екологічні тощо передумови розвитку України для адекватного розроблення відповідних програм. Наразі проблемою удосконалення національної системи стійкості, активно займається Центр європейської та євроатлантичної інтеграції Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, який тісно співпрацює з фахівцями як України, так і низки інших країн, творчо використовуючи їхній досвід у розбудові національної системи стійкості.

Перспективи використання результатів дослідження. Розв'язання порушених авторами у праці проблем та окреслені шляхи їхнього розв'язання завдяки укріпленню екобезпекової складової мають посісти чільне місце в подальшому розвитку і вдосконаленні національної системи стійкості України, що істотно вплине на зміцнення національної безпеку країни.

Література

1. Бондар О.І., Гандзюра В.П., Погурельський С.П. Проблеми екобезпеки сектору оборони України та шляхи їх вирішення в умовах європейської та євроатлантичної інтеграції: матеріали Міжнародної науково-практ. конф. "VinSmartEco" (м. Вінниця, 16–18 травня 2019 р.). Вінниця, 2019. С. 19–21.
2. Бондар О.І., Іваненко І.Б., Шусть В.І., Канцурак В.В., Кохан О.В. Удосконалення екологічного контролю щодо особливо небезпечних територій за допомогою засобів космічного зондування. Екологічні науки. 2020. № 5(32). С. 7–15.
3. Гандзюра В.П. Мова не про користь, а скоріше – про виживання. Надзвичайна ситуація. 2006. № 7. С. 18–21.
4. Резнікова О. Забезпечення національної безпеки і національної стійкості: спільні й відмінні риси. Вісник Львівського ун-ту: Серія: філос.-політолог. студії. 2018. № 19. С. 170–175.
5. Резнікова О.О. Щодо концепції забезпечення національної стійкості в Україні. Аналітична записка Серія «Національна безпека». 2020. № 8. С. 1–5.
6. Резнікова О.О., Войтовський К. Є. Імплементація принципів стійкості у системі забезпечення національної безпеки Нової Зеландії Аналітична записка Серія «Національна безпека». 2020. № 8. С. 5–8.
7. Указ Президента України про Річну національну програму під егідою Комісії Україна – НАТО на 2019 рік // https:// zakon.rada.gov.ua/ laws/show/ 117/2019#Text
8. Указ Президента України про Річну національну програму під егідою Комісії Україна – НАТО на 2021 рік // https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/ 189/2021#Text
9. Указ Президента України №479/2021 Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 20 серпня 2021 року «Про запровадження національної системи стійкості» https://www.president.gov.ua/documents/4792021-40181
10. https://www.kmu.gov.ua/news/uryad-uhvaliv-proekt-richnoyi-nacionalnoyi-programi-pid-egidoyu-komisiyi-ukrayina-nato-na-2022-rik
11. Центр європейської та євроатлантичної інтеграції // https://dea.edu.ua/sentr_vropeis4koi_ta__vroatlantichnoi_integracii
12. Bondar A.I., Mashkov O.A., Zhukaskas S.V., Nygorodova S.A. Methodology of conteraction to environmental threats and environmental terrorism: a system approach. Екологічні науки. 2019. № 1(24). С. 5–16.
13. Cheng Y., Elsayed E. A., Huang Z. Systems resilience assessments: a review, framework and metrics. International Journal of Production Research. 2022. Vol. 60, № 2. P. 595–622.
14. Fjader C. The nation-state, national security and resilience in the age of globalization. Resilience. 2014. Vol. № 2. P. 114–129.
15. Gandzyura V. Environmental Security Military-Civilian Relationship // Defense and the Environment/–NATO Advanced Research Workshop Effective Communication Related to Recent Environmental Protection Challenges and Activities in the Military Sector: Materials of the conference (Bratislava, Slovak Republic, April 22–26, 2003). Bratislava, 2003. P. 4.
16. Omand D. Developing National Resilience. The RUSI Journal. 2005. Vol. 150, № 4. 14–18.
17. Picha K.J., Almaddah M.R., Barker J., Ciochetty T., Black W.S., Uhl T.L. Elastic Resistance Effectiveness on Increasing Strength of Shoulders and Hips. J. Strength Cond. Res. 2019. Vol. 33, № 4. P. 931–943.
18. Proag V. The Concept of Vulnerability and Resilience. Procedia Economics and Finance. 2014. Vol. 18. P. 369–376.

УДК 630*265:502.52
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.2

ОСОБЛИВОСТІ МЕРЕЖІ ПРИДОРОЖНІХ ЕКОТОНІВ ЗАХИСНОГО ТИПУ ЧЕРНІВЕЦЬКОЇ ОБЛАСТІ

Жук А.В., Мишілюк І.І.
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
вул. Коцюбинського, 2, 58012, м. Чернівці
a.zhuk@chnu.edu.ua, rrkau581@gmail.com

Стаття присвячена дослідженню структури важливого елементу сучасного природно-антропогенного ландшафту – мережі придорожніх екотонів захисного типу (ПЕЗТ) Чернівецької області. ПЕЗТ виконують численні господарсько важливі функції і надають широкий спектр екосистемних послуг, які можуть втрачатися через незадовільний стан насаджень. На основі аналізу супутникових знімків засобами Google Earth Pro встановлено загальну протяжність та структурні особливості мережі ПЕЗТ, яка охоплює 346 населених пунктів. Сумарна протяжність придорожніх насаджень різного призначення на дослідженій території склала 1282 км, тоді як сукупна протяжність автомобільних доріг із твердим покриттям становить 2604 км. Виявлено 15 населених пунктів, де захисні насадження вздовж автомобільних шляхів зовсім відсутні. Структурно у мережі ПЕЗТ області встановлене переважання лівобічних насаджень. Обчислено кількісні показники захисної лісистості досліджуваної території. Показано територіальні одиниці з достатнім, задовільним та низьким рівнем забезпечення захисними деревними насадженнями вздовж автошляхів. Показник придорожньої лісистості на різних дослідних полігонах коливається від 14 % до 79 %. Встановлено, що у достатній мірі забезпечені ПЕЗТ лише близько 50 % доріг області. Наведено перелік екосистемних послуг ПЕЗТ, які можуть бути втрачені через незадовільний стан придорожніх насаджень. Зокрема, це послуги газорегуляції, регуляції клімату і водообміну, підтримки колообігу речовин, асиміляції відходів, забезпечення біотопу рефугіумів і міграційних коридорів для диких видів флори та фауни, формування цілісної екологічної мережі тощо. У результаті проведеного аналізу актуальний стан мережі ПЕЗТ Чернівецької області охарактеризовано як недостатній для стабілізації довкілля і створення оптимальних умов для господарювання. Представлені у статті матеріали демонструють перший етап багаторівневого аналізу мережі ПЕЗТ, який можна застосовувати як окреме завершене дослідження або як базу для подальших розрахункових, аналітичних робіт. *Ключові слова:* придорожні екотони захисного типу, придорожні насадження, захисні лісосмуги лінійного типу, придорожня лісистість, екосистемні послуги.

Features of the roadside protective ecotones network in Chernivtsi region. Zhuk A., Myshiliuk I.
This paper is dedicated to the study of the roadside protective ecotones network (RPEN) structure in Chernivtsi region as an important element of the modern natural-anthropogenic landscape. RPEN perform numerous economically important functions and provide a wide range of ecosystem services, which can be lost due to the unsatisfactory state of plantations. The total length and structural features of the RPEN, which cover 346 settlements, is determined based on the analysis of the satellite images Google Earth Pro. The total length of roadside plantings for various purposes in the studied territory is 1,282 km, while the total length of paved roads is 2,604 km. Fifteen settlements without any plantations along roads were identified. Structurally, there is a predominance of left-sided plantations in the RPEN network of the region. The quantitative indicators of the protective shelterbelts are calculated for the studied area. The territorial units with sufficient, satisfactory and low levels of provision with the roadside plantations are shown. The indicator of roadside forest cover at various polygones ranges from 14% to 79%. It was established that only about 50% of the roads in the region are sufficiently equipped with RPEN. The list of RPEN ecosystem services that may be lost due to the unsatisfactory conditions of roadside plantations is given. In particular, these are the services of gas regulation, climate regulation and water exchange, support of the nutrient cycling, air filtration, provision of habitat and migration corridors for wild flora and fauna species, formation of a complete ecological network, etc. As a result of the analysis, the current state of the RPEN network in the Chernivtsi region was characterized as insufficient to stabilize the environment and create optimal conditions for land use. The materials presented in the article demonstrate the first stage of a multi-level analysis of the RPEN network, which can be used as a separate completed study or as a basis for further calculation and analytical work. *Key words:* roadside protective ecotones, roadside plantations, protective shelterbelts, roadside forest coverage, ecosystem services.

Постановка проблеми. У світлі концепції екосистемних послуг останніми роками в наукових колах відбувається переосмислення господарської та екологічної цінності багатофункціональних насаджень вздовж автошляхів. Наразі активно досліджується низка питань, пов'язаних з (1) виокремленням і монетарною оцінкою екосистемних послуг, які можуть надавати такі насадження [1, 2, 3], (2) діагностикою якості їхнього функціонування [4, 5]; (3) пошуками дієвих методів оптимізації [6, 7, 8] тощо. Лінійні захисні насадження розглядаються також як потенційні елементи (коридори) екологічної мережі [9, 10].

На заміну широко вживаного раніше терміну «захисні лісові насадження лінійного типу» вітчизняні науковці запропонували поняття «екотони захисного типу» [5, 11], визначаючи їх як самодостатні складні системи, основу яких складають деревні насадження та асоційовані з ними супутні види рослин. Такі системи здатні надавати широкий спектр екосистемних послуг (рис. 1), однак повнота реалізації цих послуг прямо залежить від загальної

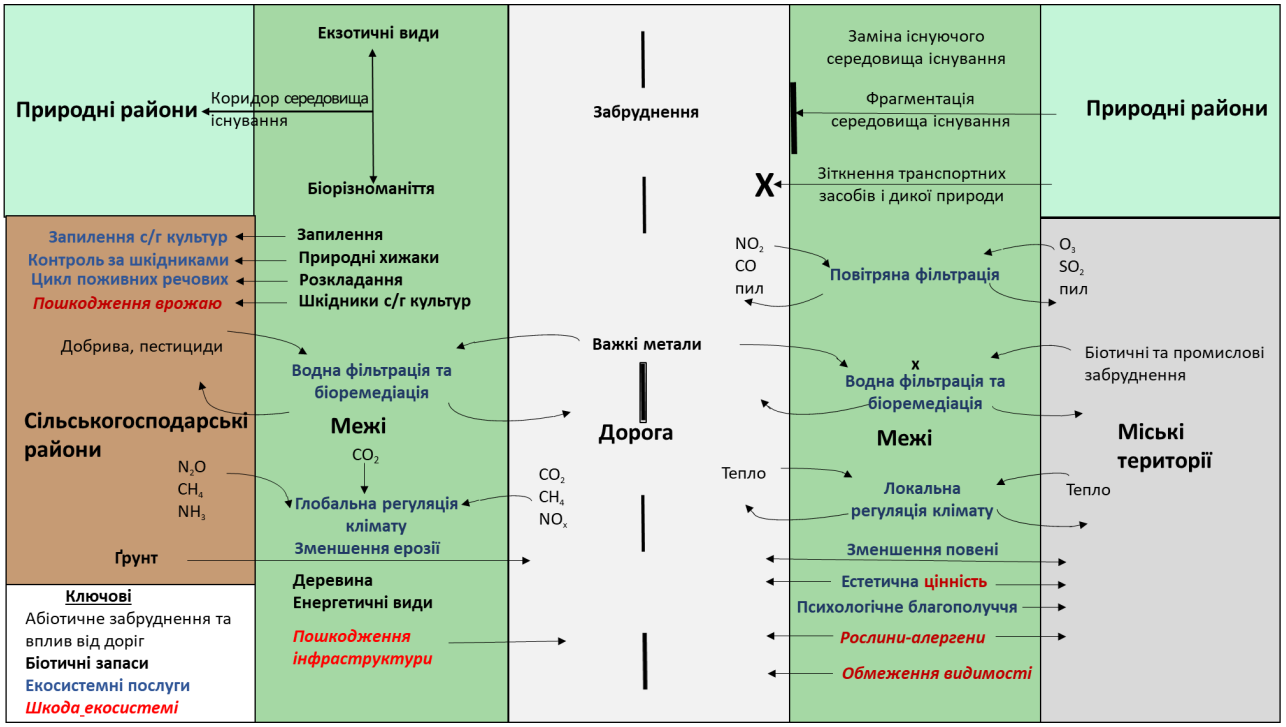


Рис. 1. Спектр екосистемних послуг та шкідливих впливів ЕЗТ [3]

протяжності ЕЗТ, їхнього стану, видового складу, ступеня антропогенного навантаження, ефективності заходів з реконструкції та багатьох інших чинників. Втрати екосистемних послуг через незадовільний стан ЕЗТ не лише ведуть до порушення балансу в природно-антропогенних ландшафтах, але й до загострення конфліктів природокористування.

Актуальність дослідження. Реформування автотранспортної інфраструктури України – одна з ключових умов забезпечення конкурентоспроможності та ефективності національної економіки [12]. Проте перелік пріоритетних напрямків реалізації реформи не містить конкретних рішень щодо зниження негативного впливу автотранспорту на компоненти оточуючих екосистем, окрім використання альтернативних видів пального та збільшення частки «зелених» видів транспорту. Зауважимо, що хімічне забруднення – лише один із багатьох деструктивних ефектів автошляхів. Оскільки наша держава тримає курс на Євроінтеграцію, варто приділити достатню увагу створенню або реставрації комплексної багатофункціональної системи лісових насаджень вздовж доріг, щоб вони надавали необхідний рівень захисту.

Стале придорожнє озеленення, спрямоване на формування сталого придорожнього ландшафту нині активно впроваджується європейською спільнотою [6, 8, 13]. Проєктування ж придорожнього ландшафту варто здійснювати з урахуванням довгострокових перспектив отримання якомога ширшого спектру екосистемних послуг. Перший крок на шляху до формування виваженої стратегії управління і оптимізації екосистемних послуг ПЕЗТ – оцінка актуального стану наявної системи захисних лінійних насаджень вздовж автошляхів. Тому дані про оцінювання стану лісових насаджень вздовж доріг та їх ідентифікація є надзвичайно важливими та актуальними для вдосконалення придорожніх ландшафтів та розвитку екологічної політики нашої держави.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Тематика дослідження відповідає основним напрямам наукової діяльності кафедри екології та біомоніторингу Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича та виконується у рамках проєкту фундаментального дослідження «Моніторинг і оптимізація екосистемних послуг в умовах деструктивних агровиробничих впливів на засадах концепції соціоекологічної системи», що виконується за рахунок видатків загального фонду державного бюджету.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Концепція ЕЗТ запропонована і глибоко досліджена на прикладі багатофункціональних насаджень вздовж шляхів залізничного транспорту науковим колективом Національного лісотехнічного університету України [5, 11, 14]. Різні аспекти функціонування лісових насаджень лінійного типу вздовж автомобільних доріг досліджують Г. Б. Гладун і Ю. Г. Гладун [15, 16], Дребот О. І. [17], О. М. Павлішина [18], В. В. Лавров, А. В. Житовоз, Т. Ю. Сагдєєва [19] та інші. У ландшафтах із розвиненим агровиробництвом придорожні насадження водночас виконують полезахисні функції і надають ширший спектр екосистемних послуг. Їх детальний аналіз наведено у працях В. В. Лукіши [20] і О. З. Петрович [1],

Н. Ю. Висоцької, А. О. Калашнікова, С. В. Сидоренко, С. Г. Сидоренка, В. А. Юрченка [21] Водночас про незадовільний стан придорожніх насаджень по всій території України повідомляють Н. Ю. Висоцька, О. Р. Зубов, Л. Г. Зубова, В. І. Фомін [21, 22], А. П. Стадник [23], М. О. Клименко, О. П. Ткачук, С. О. Панкова, [24], Л. М. Грановська, В. А. Сташук, П. В. Жужа [25] та інші.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Незважаючи на те, що проблема ПЕЗТ постійно залишається у фокусі інтересів вітчизняних науковців, більшість досліджень носить локальний характер, охоплюючи конкретні насадження в межах населених пунктів, рідше – адміністративних районів. Або ж, навпаки, статті мають широкий оглядовий характер, узагальнюючи спільні для таких систем проблеми. Наше ж дослідження має на меті аналіз стану цілісної мережі ПЕЗТ Чернівецької області з акцентом на її повноту, ступінь забезпечення автомобільних доріг захисними насадженнями та якість екосистемних послуг, які вони здатні надавати.

Новизна. Представлені матеріали ґрунтуються на результатах власних досліджень. Вперше комплексно вивчено актуальний стан мережі ЕЗТ Чернівецької області. Розроблено оригінальну методологічну базу із застосуванням доступного і вільного програмного забезпечення для ДЗЗ. Показано території із задовільним та недостатнім забезпеченням автошляхів захисними деревними насадженнями.

Методологічне або загальнонаукове значення. Для опрацювання космознімків та статистичної обробки результатів застосовані методи, які легко відтворити при аналогічних дослідженнях для інших регіонів України та забезпечують ліцензійну чистоту отриманих даних. Представлені у статті матеріали демонструють перший етап багаторівневого аналізу мережі ПЕЗТ, який можна застосовувати як окреме завершене дослідження або як базу для подальших розрахункових, аналітичних робіт.

Викладення основного матеріалу. У науковій літературі та нормативній документації донині немає єдиного підходу до визначення ПЕЗТ вздовж автодоріг. До прикладу, Г. Б. Гладун і Ю. Г. Гладун відносять до них природні та штучно створені лісові смуги, групово-куртинні насадження дерев і чагарників обабіч автомобільних доріг та у смугах їхнього відведення, призначені захищати від снігових і піщаних занесень, селів, лавин, обвалів, осипів, ерозії та дефляції, а також знижувати рівень шуму, виконувати санітарно-гігієнічні та естетичні функції, убезпечувати рухомий транспорт від несприятливих аеродинамічних впливів [15, 16]. Водночас В. П Ткач та В. Л. Мєшкова [25] зараховують до площі придорожніх насаджень лише смуги вздовж доріг обласного та вищих рівнів підпорядкування. Це пов'язано з тим, що дороги нижчих рівнів підпорядкування зазвичай розташовані на межах полів сівозмін. Лісосмуги вздовж цих доріг при визначенні структури насаджень на «основних» ділянках автори рекомендують зараховувати до полезахисних [26]. С. В. Сидоренко й Ю. М. Біла ототожнюють полезахисні і снігозахисні насадження [27], а І. Р. Чорнявська розглядає в якості снігозахисних смугові насадження вздовж залізниць [28]. Л. М. Стрельчук наголошує на багатокомпонентному впливові насаджень лінійного типу на прилеглі угіддя [29].

У даному дослідженні ми відносили до ПЕЗТ такі лінійні насадження вздовж доріг Чернівецької області, які можуть одночасно виконувати дві основні функції: придорожню та лісомеліоративну. При цьому до уваги не брали вуличні насадження у межах населених пунктів, приватні садиби, насадження вздовж грунтових доріг, полезахисні лісосмуги вздовж стежок між полями та природні лісові масиви. Саме з цих причин наше дослідження не охоплює колишній Путильський район, оскільки він має високу природну лісистість, а також обласний центр – м. Чернівці. У колишньому Вижницькому районі досліджувалися тільки лінійні насадження, не враховуючи лісові масиви вздовж доріг.

У 2020 р. відбулася зміна адміністративно-територіального устрою України, згідно якого нині Чернівецька область поділена на три адміністративні райони з площами від 1,88 до 4,10 тис. кв. км. Такі великі території незручно використовувати як дослідні полігони для аналізу мережі ПЕЗТ. Кількість територіальних громад у межах області – 52, причому 7 із них міські, а площі значно різняться між собою, що також обумовлює незручність аналізу. Окрім того, наразі відсутня статистична інформація стосовно протяжності автомобільних доріг як у межах нововиділених районів, так і у межах окремих територіальних громад. З наведених причин ми вирішили притримуватися старого районування, розглядаючи колишні райони не як адміністративні одиниці, а як полігони для дослідження.

Інформація щодо протяжності захисних насаджень вздовж доріг отримана за допомогою вільних даних ГІС у програмному продукті Google Earth Pro. Вимірювання проводили із застосуванням засобів "лінійка" та "шлях", які входять до стандартної панелі інструментів програми. Дані про протяжність автодоріг у межах кожного дослідного полігону отримано з паспортів колишніх адміністративних районів Чернівецької області.

Показник забезпечення районів ПЕЗТ обчислили за формулою:

$$Л_{ПД} = L_{ПН}/L_{АД} \times 100\ \%,$$

де $Л_{ПД}$ – придорожня лісистість; $L_{ПН}$ – загальна протяжність екотонів захисного типу; $L_{АД}$ – сукупна протяжність всіх автодоріг у межах полігону.

Отримані результати зведені у інвентаризаційну базу даних, де окремо враховано протяжність ПЕЗТ

з правого та лівого узбічь дороги, а також середнє значення. Статистичну обробку результатів та візуалізацію отриманих даних виконували із застосуванням пакету з відкритим кодом R v. 0.3.5 з функцією vioplot (0.3) [30]. Карти створено у вільному програмному середовищі QGIS 3.14, у системі координат Pulkovo 1942 / Gauss-Kruger zone5.

Дане дослідження охопило 364 населені пункти Чернівецької області, які входять до складу 10 дослідних полігонів (табл. 1). Встановлено, що у межах Вижницького, Герцаївського, Глибоцького, Заставнівського, Кіцманського та Сокирянського полігонів наявні села, де зовсім відсутні ПЕЗТ. Загалом виявлено 15 таких сіл. Окрім того, показано що для 27 населених пунктів сумарна протяжність мережі ПЕЗТ не перевищує одного кілометру.

Аналіз сумарної протяжності ПЕЗТ показав, що лише на території Глибоцького, Заставнівського, Сторожинецького і Хотинського дослідних полігонів наявні населені пункти, де цей показник перевищує 20 км. Проте частотний розподіл показує, що їхня частка незначна. Лише для Кельменецького та Сторожинецького полігонів показана медіана ранжованої вибірки на рівні 10 км. Варто зазначити, що низькі значення забезпечення автомобільних доріг ПЕЗТ, показані для Глибоцького та Вижницького полігонів, обумовлені вищою лісистістю порівняно з рештою аналізованих.

Сумарна протяжність автомобільних доріг у Чернівецькій області складає 2875 км, із них 2869 км – із твердим покриттям [17]. Наші дослідження охопили з них 2603,8 км. Кельменецький, Заставнівський, Хотинський, Сторожинецький та Кіцманський полігони характеризуються добре розвиненою автоінфраструктурою, ними прокладено багато трас державного і міжнародного значення. Для відповідних полігонів встановлено й найвищі показники забезпечення ПЕЗТ. Найбільш забезпеченим ПЕЗТ є Заставнівський полігон, найменше – Вижницький. Останній характеризується високою природною лісистістю, що пояснює низький рівень його сільськогосподарського освоєння і, відповідно, засадження захисними лінійними смугами.

Окремо проаналізували протяжність право- та лівобічних насаджень у структурі мережі ПЕЗТ (рис. 2). Показане переважання лівобічних насаджень на території Глибоцького, Кельменецького, Хотинського, Кіцманського, Новоселицького, Сокирянського та Сторожинецького районів. Це пов'язано із особливостями рози вітрів на території області, розташування водойм та просторовою орієнтацією автомобільних доріг [20].

Вижницький полігон вирізняється переважанням правобічних ЕЗТ, на території Герцаївського та Заставнівського дослідних полігонів протяжність ліво- і правосторонніх насаджень однакова. Разом з тим для Герцаївського, Кіцманського, Сокирянського та Заставнівського полігонів відмічено суттєвий дисбаланс міжквартильних діапазонів за ознакою розташування ПЕЗТ відносно полотна автошляхів.

Повноту мережі ПЕЗТ для Чернівецької області відображено на картосхемі (рис. 3) на основі показника придорожньої лісистості. Згідно літературних даних, Чернівецька область потребує найменшої кількості ПЕЗТ по Україні [17]. За отриманими нами результатами встановлено, що у достатній мірі забезпечені ПЕЗТ лише близько 50 % доріг області. Найвищий індекс придорожньої лісистості показано у рівнинній частині області, що належить до басейну р. Дністер.

Центральна частина області забезпечена ПЕЗТ у меншій мірі, незважаючи на високі показники сільськогосподарської освоєності [31]. Більшість ПЕЗТ на цій території виконують додатково й полезахисні функції. Недостатнє забезпечення деревними насадженнями веде до втрат численних екосистемних послуг. Наприклад, у межах Новоселицького полігону частка ріллі до загальної площі складає 74,7 %.

Таблиця 1

Зведені показники мережі ПЕЗТ Чернівецької області

Назва дослідного полігону	Кількість населених пунктів (НП)	К-ть НП з протяжністю ПЕЗТ до 1 км	К-ть НП, де відсутні ПЕЗТ	Загальна протяжність доріг, км	Протяжність доріг, забезпечених ПЕЗТ, км
Вижницький	34	8	4	294,20	41,15
Новоселицький	24	0	2	307,90	99,83
Кіцманський	38	4	1	247,2	134,26
Сокирянський	39	3	1	238,4	107,96
Заставнівський	33	0	0	243,3	191,75
Герцаївський	46	4	3	151,4	61,93
Глибоцький	43	8	2	235,4	119,405
Кельменецький	29	0	1	279,2	195,365
Хотинський	39	0	0	269,1	165,47
Сторожинецький	39	0	1	337,7	164,76
Загалом	364	27	**15**	2603,8	1281,88

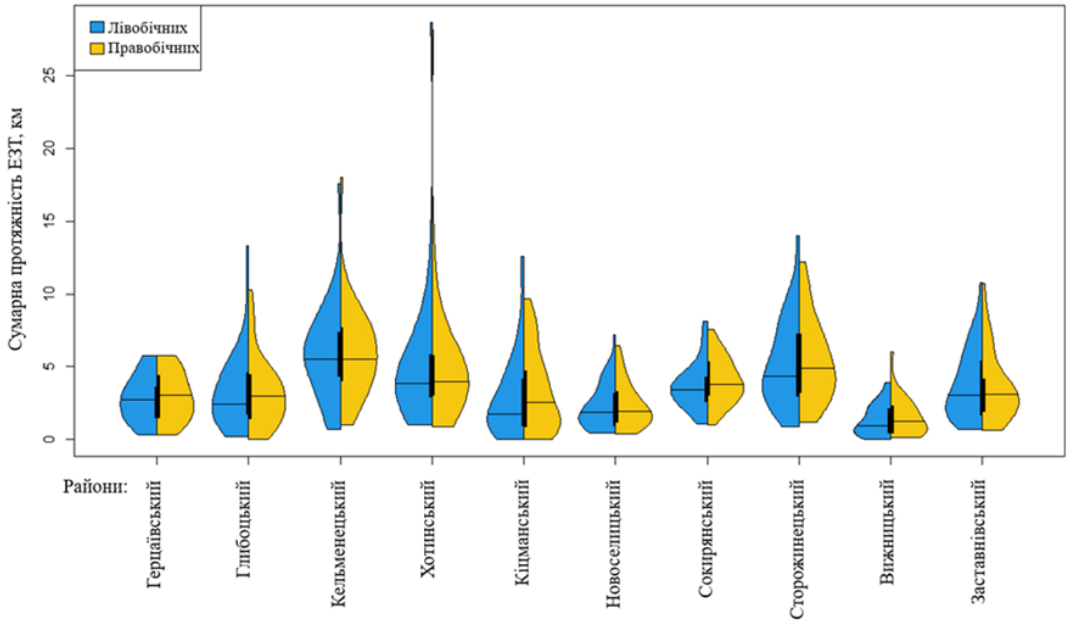


Рис. 2. Співвідношення протяжності ліво- і правобічних ПЕЗТ у межах дослідних полігонів

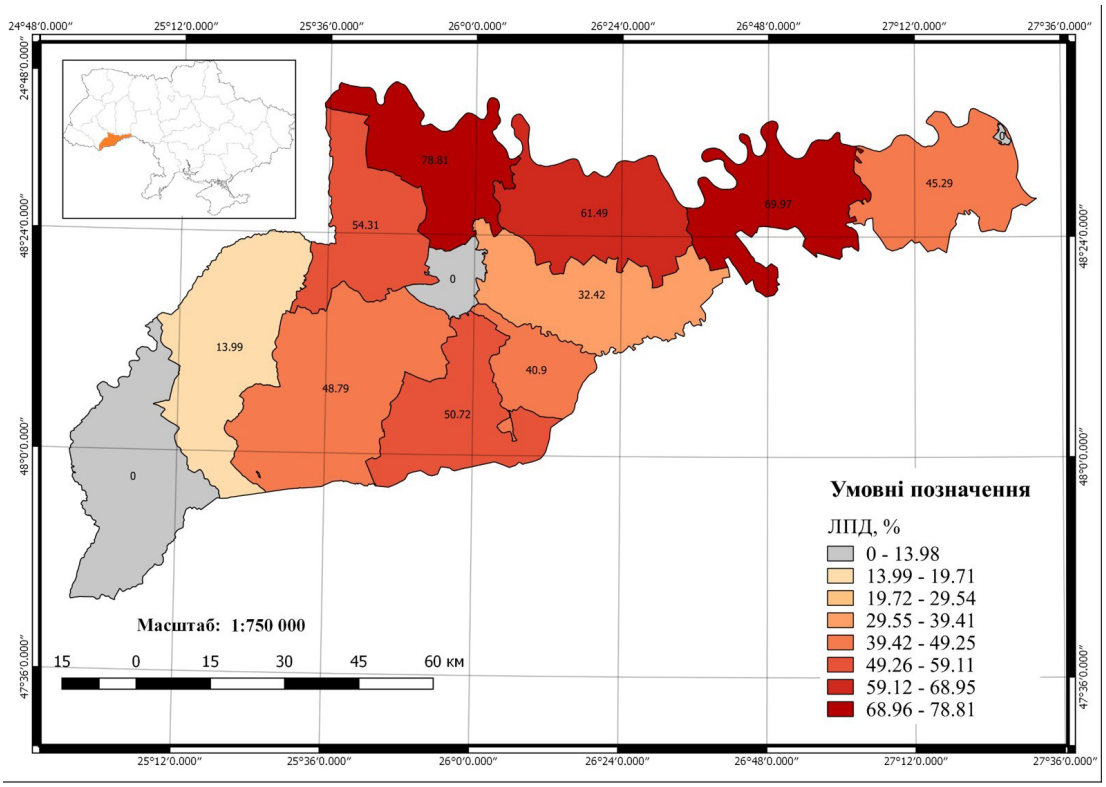


Рис. 3. Карта придорожньої лісистості Чернівецької області

При цьому мережа автодоріг – одна з найбільш розгалужених у області, її сумарна протяжність становить 307,90 км. Захисні насадження ж мають загальну протяжність 99,83 км (32,42 % від загальної протяжності доріг). Така ситуація супроводжується втратами таких важливих для сільського господарства екосистемних послуг, як підвищення врожайності прилеглих полів, зниження швидкості вітру, запобігання виникненню пилових бур та пом'якшення їх впливу, попередження еродування і деградації ґрунтів, регуляція гідрологічного режиму, запилення дикими комахами-запилювачами, популяційний контроль шкідників через трофічні зв'язки тощо. Масштабні втрати екосистемних послуг стосуються не лише сільського господарства, але й агроландшафту загалом. Особливої уваги варті втрати регулюючих і підтримуючих послуг: газорегуляції, регуляції клімату і водообміну, підтримки колообігу речовин, асиміляції відходів, забезпечення біо-

топу рефугіумів і міграційних коридорів для диких видів флори та фауни, формування цілісної екологічної мережі.

Головні висновки. Актуальний стан мережі ПЕЗТ Чернівецької області може бути охарактеризований як недостатній для стабілізації довкілля і створення умов для нормального господарювання. Тому мережа екотонів захисного типу Чернівецької області, зокрема у районах із високим рівнем сільськогосподарської освоєності, вздовж автотрас загальноукраїнського та міжнародного значення потребує реставрації та розширення. Втрачені через недостатню забезпеченість ПЕЗТ екосистемні послуги – вагомий чинник недоотримання економічної вигоди у галузі сільського господарства, а також широкого спектрі екологічних і соціальних благ.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані дані – результат першого етапу дослідження актуального стану ПЕЗТ Чернівецької області. Наступний етап стосується аналізу якісних показників придорожніх насаджень за допомогою космічних знімків та польових досліджень. На основі отриманих результатів буде висунуто конкретні практичні рекомендації з реставрації наявної мережі ПЕЗТ із урахуванням ландшафтних, метеорологічних та агротехнічних умов, перспектив заселення корисними видами тварин тощо.

Література

1. Петрович О. З. Полезахисні лісосмуги в контексті впровадження концепції екосистемних послуг. *Экосистемы, их оптимизация и охрана*. 2014. Вып. 11. С. 42–29.
2. Säumel I., Weber F., Kowarik I. Toward livable and healthy urban streets: Roadside vegetation provides ecosystem services where people live and move. *Environmental Science & Policy*. 2016. № 62. P. 24–33.
3. Phillips B. B., Bullock J. M., Osborne J. L., Gaston K. J. Ecosystem service provision by road verges. *Journal of Applied Ecology*. 2020. № 57, Vol. 3. P. 488–501.
4. Takáczs V., Frank N. The traditions, resources and potential of forest growing and multipurpose shelterbelts in Hungary. *Agroforestry in Europe*. 2009. P. 415–433.
5. Руда М. В. Удосконалення нормативно-технічного забезпечення функціонування консорційних екотонів захисного типу : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.01.02. Нац. ун-т «Львів. політехніка». Львів, 2017. 20 с.
6. Hambrey Consulting. The management of roadside verges for biodiversity. *Scottish Natural Heritage Commissioned Report*. 2013. № 551. 96 p.
7. O'Sullivan O. S., Holt A. R., Warren P. H., Evans K. L. Optimising UK urban road verge contributions to biodiversity and ecosystem services with cost-effective management. *Journal of environmental management*. 2017. № 191. P. 162–171.
8. Bautista S., Camargo M., Bachmann C. Sustainable roadside management from an innovative approach to ecosystem services and bioenergy generation. *2020 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*. 2020, June. IEEE. P. 1–6.
9. Чиркова О. В. Структура лісосмуг як складових елементів екологічної мережі. *Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону*. Донецьк: ДонНУ, 2010. № 1 (10). С. 97–104.
10. Даниленко Б. Створення екологічних коридорів в Україні: земельно-правовий аспект. *Вісник Академії правових наук України*. 2013. № 1. С. 186–197.
11. Бойко Т. Г., Руда М. В., Казимира І. Я., Паславський М. М., Соколов С. О., Петренко С. В. Значення екотонів захисного типу у зменшенні акустичного навантаження на шляхах залізничного транспорту. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. № 6, Вип. 29. С. 58–66.
12. Реформа інфраструктури URL: https://www.kmu.gov.ua/diyalnist/reformi/ekonomichne-zrostannya/reforma-infrastrukturi
13. Chowdhury M. H., Lasker M. S. Roadside landscaping with native plants in the Czech Republic: A review. *Horticult Int J*. 2018. № 2(3), 76–82.
14. Руда М. В., Бубела Т. З. Застосування інформаційно-вимірювальних систем для дослідження якості процесу функціонування консорційних екотонів захисного типу. *Український метрологічний журнал*. 2018. № 3, С. 55–61
15. Гладун Г. Б., Гладун Ю. Г. Значення захисних лісових насаджень для забезпечення сталого розвитку агроландшафтів. *Наук. вісн. Нац. лісотехн. ун-ту України*. 2005. Вип. 15.7. С. 113–118.
16. Гладун Г. Б., Трофименко М .Є., Лохматов М. А. Захисні лісові насадження: проектування, вирощування, впорядкування. Харків : Нове слово. 2005. 390 с.
17. Дребот О. І. Вплив лісосмуг на екологічний стан земель автомобільного транспорту. *Збалансоване природокористування*. 2019. № 4. 26–34.
18. Павлішина О. М. Кумулятивна функція захисних лісових насаджень уздовж транспортних магістралей. *Біоресурси і природокористування*. 2014. Т. 6, № 1–2. 99–105.
19. Лавров В. В., Житовоз А. В., Сагдєєва Т. Ю. Захисні лісові насадження у зонах можливих конфліктів транспортної та екологічної мереж. *Агроекологічний журнал*. 2016. № 4. С. 15–24.
20. Лукіша В. В. Екологічні функції полезахисних лісових насаджень. *Екологічні науки.* 2013. № 2. С. 56–64.
21. Висоцька Н. Ю., Калашніков А. О., Сидоренко С. В., Сидоренко С. Г., Юрченко В. А. Екосистемні послуги полезахисних лісових смуг як основа компенсаційних механізмів їхнього створення та утримання. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. 2021. № 22. С. 199–207.
22. Висоцька Н. Ю., Зубов О. Р., Зубова Л. Г., Фомін В. І. Стан захисних лісових смуг різного призначення в олешківському Олешківському районі Херсонської області. *Лісівництво та агролісомеліорація*. 2019. Вип. 135. С. 103–113.

23. Стадник А. П. Оптимізація структури захисних лісових насаджень та їх систем в агроландшафтах України. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. 2018. Вип. 16. С. 70–80.
24. Клименко М. О., Ткачук О. П., Панкова С. О. Екологічні проблеми функціонування полезахисних лісосмуг в умовах Лісостепу Правобережного. *Сільське господарство та лісівництво*. 2021. № 20. С. 179–194.
25. Грановська Л.М., Сташук В.А., Жужа П.В. Наукове обґрунтування реконструкції лісозахисних смуг вздовж Каховського магістрального каналу. *Зрошуване землеробство: Міжвідомчий тематичний науковий збірник*. 2019. Вип. 71. С. 41–44.
26. Ткач В. П., Мєшкова В. Л. Сучасні проблеми оптимізації лісистості України. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2008. Вип. 113. С. 8–15.
27. Сидоренко С. В., Біла Ю. М. Особливості розподілу снігу й вологи під впливом полезахисних лісових смуг щільної конструкції. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2017. Вип. 131. С. 104–112.
28. Чорнявська І. Р. Вплив смугових захисних лісових насаджень Південної залізниці на розподіл снігового покриву. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2017. Вип. 130. С. 119–124.
29. Стрельчук Л. М. Полезахисне лісорозведення у Херсонській області: стан та перспективи. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2015. Вип. 127. С. 124–130.
30. Adler D., Kelly S. T. Vioplot: violin plot. R package version 0.3.5. 2020. URL: https://github.com/TomKellyGenetics/vioplot
31. Статистичний щорічник Чернівецької області за 2020 рік. Головне управління статистики у Чернівецькій області, 2021. 464 с.

УДК 302.33
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.3

СУЧАСНИЙ СТАН НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА В УМОВАХ ВПЛИВУ ВІЙНИ

Пацева І.Г., Алпатова О.М., Демчук Л.І., Кірейцева Г.В., Левицький В.Г.
Державний університет «Житомирська політехніка»
вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир

У статті розкрито особливості стану навколишнього природного середовище, який спричинила російсько-українська війна. Визначено, що військові дії негативно впливають на навколишнє природне середовище, зокрема: прямий вплив снарядів і забруднення згорілою військовою технікою повністю руйнують екосистему; патрони, що розриваються та горять неметалеві частини військової техніки, забруднюють ґрунт і воду важкими металами й токсичними елементами; внаслідок знищеної великої кількості військової техніки паливо, яке потрапляє в ґрунт і атмосферу, завдає шкоди навколишньому природному середовищу; артилерія та окупація збільшують ризик викидів токсичних відходів з українських промислових підприємств; від вторгнення у Чорнобильську АЕС виникли серйозні екологічні проблеми, після відходу ворогів в зоні відчуження залишається величезна кількість мін і дротів, а радіаційний фон перевищувався в 7,6 рази; бомбардування, рух техніки, вибухи акустичних бомб у морі та висадка десанту під час російських навчань спотворили місцеві узбережжя, луки та лимани; кораблі, що затонули, уламки ракет, використання якорів і вибухи боєприпасів можуть завдати шкоди підводним групам, які мешкають на дні океану; затоплення військових кораблів, літаків та іншого військового обладнання є токсичним для морського життя та може призвести до розливів нафти. Вивчення ситуації стану навколишнього природного середовища засвідчує, що зараз у зоні активних бойових дій перебувають промислові підприємства, зокрема атомні електростанції, порти, склади небезпечних відходів (мінеральних добрив, пінополіуретану, фарб, паливно-мастильних матеріалів тощо), хімічні та металургійні підприємства. Визначено, що вторгнення держави-окупанта спричинило масштабну екосистемну катастрофу, наслідки якої доведеться долати роками після перемоги, тому зараз треба розглядати дійсно ефективні та сучасні шляхи покращення екологічного стану всієї держави. *Ключові слова:* навколишнє природне середовище, небезпека, забруднення, війна, екологічні проблеми.

The current state of the natural environment under the influence of war. Patseva I., Alpatova O., Demchuk L., Kireitseva H., Levytskyi V.

The article reveals the peculiarities of the state of the natural environment caused by the Russian-Ukrainian war. It was determined that military operations have a negative impact on the natural environment, in particular: the direct impact of shells and pollution by burnt military equipment completely destroy the ecosystem; cartridges bursting and burning non-metallic parts of military equipment pollute soil and water with heavy metals and toxic elements; as a result of the destruction of a large amount of military equipment, the fuel that enters the soil and atmosphere causes damage to the surrounding natural environment; artillery and occupation increase the risk of toxic waste emissions from Ukrainian industrial enterprises; serious environmental problems arose from the invasion of the Chernobyl NPP, after the departure of the enemies, a huge number of mines and wires remained in the exclusion zone, and the radiation background exceeded 7.6 times; bombing, the movement of equipment, explosions of acoustic bombs in the sea and the landing of landing forces during the Russian exercises distorted the local coasts, meadows and estuaries; sunken ships and missile debris, anchor use and munitions explosions can harm underwater groups that live on the ocean floor; sinking warships, aircraft and other military equipment is toxic to marine life and can lead to oil spills. The study of the state of the natural environment confirms that industrial enterprises, in particular, nuclear power plants, ports, hazardous waste warehouses (mineral fertilizers, polyurethane foam, paints, fuel and lubricants, etc.), chemical and metallurgical enterprises are currently in the zone of active hostilities. It was determined that the invasion of the occupying state caused a large-scale ecological disaster, the consequences of which will have to be overcome years after the victory, so now it is necessary to consider really effective and modern ways of improving the ecological state of the entire state. *Key words:* environment, danger, pollution, war, environmental problems.

Вступ. 24 лютого 2022 року держава-окупант почала вторгнення проти України на суші, морі та в повітрі, використовуючи таке важке озброєння, як далекобійна артилерія, ракети, військово-морські кораблі й військова авіація. Агресія вже призвела до значних жертв серед мирного населення та завдала шкоди довкіллю та природній спадщині України.

Головна трагедія збройного конфлікту полягає в його наслідках. Сьогодні ми вже несемо значні збитки: людські, інфраструктурні, економічні. Екологічним, соціальним і продовольчим наслідкам війни зазвичай не приділяють особливої уваги. Однак доцільно наголосити, що злочини проти навколишнього природного середовища можуть мати не такий помітний вплив, але в довгостроковій перспективі матимуть досить сумні та масштабні наслідки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням вирішення екологічних проблем, що погіршують стан навколишнього природного середовища в умовах війни присвячені праці багатьох дослідників та вчених, зокрема ґрунтовні дослідження проводять Д. Бородай, О. Любинський, Л. Малько, Д. Ніколаєнко, О. Потіха, Ж. Рудницька, А. Семерня, О. Семерня, І. Федорчук та інші.

Так, Л. Малько та Д. Ніколаєнко [1] провели економічне оцінювання екологічних наслідків військової агресії держави-окупанта проти України в період 2014–2022 р.р. Науковцями встановлено, що

важливо визначити ступінь забруднення навколишнього природного середовища для отримання оцінки на основі правильних доказів економічних втрат в Україні. Важливість цієї дискусії полягає також у формуванні групи експертів, які беруть активну участь у практичній оцінці збитків, завданих Україні. Дуже важливо, щоб у дискусії брали участь експерти з Молдови та Грузії, адже держава-окупант завдала великої шкоди і цим постраднянським країнам. Після цього робляться правильні розрахунки та порушуються справи в міжнародних організаціях проти держави-окупанта.

Колектив науковців під керівництвом О. Семерня [2] розглядає особливості екологічної безпеки в умовах воєнного стану. Проводячи опитування серед пересічних громадян щодо екологічної небезпеки в Україні, науковці зазначають, що люди розуміють катастрофічність складних ситуацій і переживають психологічну травму війни. Це результат втручання ворога в суверенітет України. Тому екологічна безпека як складова національної безпеки держави є надзвичайно актуальною для її вирішення – руйновано багато об'єктів інфраструктури, завдано великої шкоди навколишньому природному середовищу. Як один із шляхів відновлення, науковці пропонують розробити напрямки розвитку екологічної стійкості в новій суверенній державі, оновити законодавчу базу нормативних документів та відбудувати зруйноване.

Однак, виходячи із досліджень науковців, доцільно зауважити, що не розкритими є питання впливу війни на навколишнє природне середовище з точки зору практичного підходу.

Метою статті є розкриття особливостей стану навколишнього природного середовище, який спричинила російсько-українська війна.

Виклад основного матеріалу. Згідно з Індексом екологічної ефективності, Україна мала низькі рейтинги якості всіх природних екосистем ще до початку вторгнення держави-окупанта у лютому 2022 року [3].

У відповідності до 24-ого принципу Декларації Ріо-де-Жанейро щодо навколишнього середовища та розвитку [4], війна фактично руйнує сталий розвиток. З огляду на положення цього принципу, держави повинні поважати міжнародне право для забезпечення охорони навколишнього середовища під час збройного конфлікту та, за необхідності, співпрацювати для його подальшого розвитку.

З усіх видів людської діяльності війна найбільше впливає на навколишнє природне середовище, тому в умовах відкритих бойових дій слід розрізняти прямі та непрямі наслідки й втрату можливостей [5]:

1. Прямий вплив включає вибухи, які руйнують екосистеми. Руйнування середовища та шумове забруднення житлових районів негативно впливають на перебіг періоду розмноження. Крім того, прямий вплив снарядів і забруднення згорілою військовою технікою повністю руйнують екосистему. Патрони, що розриваються, неметалевих частин військової техніки, що горять, забруднюють ґрунт та воду важкими металами та токсичними елементами. Не кажучи вже про велику кількість металевого брухту, розкиданого по лісопосадках.

2. Непрямі наслідки бойових дій проти навколишнього природного середовища походять не від пожеж чи вибухів снарядів, а від, наприклад, відключення електроенергії в шахтах, які мають відкачувати воду. Без електроенергії насоси не працювали б, а шахти були б затоплені токсичними та радіоактивними відходами, які могли б просочитися в ґрунтові води.

Голова правління Української природоохоронної групи Василюк Олексій зауважує, що після закінчення війни екологічний стан України може бути гіршим, ніж будь-коли. Тим паче, що було знищено велику кількість військової техніки. Паливо, яке потрапляє в ґрунт і атмосферу, завдає шкоди навколишньому природному середовищу. Кожен вибух має той самий ефект, та є окремою хімічною реакцією. Після вибуху від викиду «граду», який потрапляє в ґрунт, залишається більше 0,5 кг сірки. А від контакту сірки із водою все живе просто згорає сірчаною кислотою. Крім того, після вибуху в атмосферу проникає багато частинок, які забруднюють не лише Україну, а й всю земну кулю.

Доцільно зауважити, що під час вторгнення російські війська зайняли Чорнобильську АЕС. З 24 лютого 2022 року фон Чорнобильської АЕС збільшився, оскільки важка бронетехніка та інші транспортні засоби пересувалися через забруднений ґрунт, створюючи радіоактивний матеріал – пил у повітрі. 24-25 лютого 2022 року під час захоплення російськими військами Чорнобильської зони відчуження радіаційний фон перевищував норму в 7,6 рази [6].

На Чорнобильській АЕС були пошкоджені високовольтні лінії, які мали її живити, наприклад, охолоджувати відпрацьоване ядерне паливо в місцевому сховищі. Відсутність електроенергії може призвести до підвищення температури в басейні та викиду радіоактивних матеріалів у навколишнє природне середовище. Варто зазначити, що радіація може переноситися вітром на території України, Білорусії та інших держав Європи. Окрім небезпеки ядерної зброї, артилерія та окупація збільшують ризик викидів токсичних відходів з українських промислових підприємств.

Від вторгнення у Чорнобильську АЕС виникли серйозні екологічні проблеми: хімічне забруднення ґрунту та води, руйнування екосистем, скорочення біорізноманіття, які наразі є не такими помітними, але у перспективі матимуть негативні наслідки. Після відходу ворогів в зоні відчуження залишається величезна кількість мін і дротів, які регулярно спричиняють лісові пожежі. Крім величезної шкоди рослинному та тваринному світу, такі пожежі є вели-

ким ризиком для підвищення радіаційного фону Київської області та столиці [7].

Дії російської армії не тільки спричиняють техногенні та екологічні катастрофи, а й знищують середовища існування рідкісних видів організмів, які зараз знаходяться під загрозою зникнення.

Центр екологічних ініціатив «Екодія» [8] з 24 лютого 2022 року відслідковує випадки потенційної екологічної шкоди, спричиненої російським вторгненням. Метою їх діяльності є повідомити про потенційний вплив війни на довкілля та населення України й допомогти українській владі зібрати факти, які в майбутньому будуть використані для отримання компенсації від держави-окупанта. Злочини проти довкілля також є частиною військових злочинів. Відповідно до Женевської конвенції забороняється використовувати методи або засоби війни, що мають на меті нанесення широкомасштабної, тривалої та серйозної шкоди навколишньому природному середовищу.

Вивчення ситуації стану навколишнього природного середовища засвідчує, що зараз у зоні активних бойових дій перебувають промислові підприємства, зокрема атомні електростанції, порти, склади небезпечних відходів (мінеральних добрив, пінополіуретану, фарб, паливно-мастильних матеріалів тощо), хімічні та металургійні підприємства. Зафіксовані пожежі на нафтобазах, АЗС та полігонах, є факти пошкодження об'єктів тепло- та водопостачання (каналізаційні насосні станції, фільтрувальні станції, водокачки). Повністю реальна оцінка завданих збитків стане можливою після завершення активних бойових дій, а наслідки українці відчують через роки.

Активні бойові дії на морі та на російських військових кораблях, які зараз постійно дислокуються в північно-західній частині Чорного моря, не лише блокують українські порти, а й ставлять світ під загрозу глобального голоду. Вони можуть спричинити техногенні катастрофи та серйозно вплинути на екосистеми Чорного та Азовського морів. Чорноморський біосферний заповідник, національні парки Азово-Сиваський, Залір-Гацький, Меотида та ін., по суті, є територією ворожнечі та гуманітарної кризи. Часто їх функції не можуть виконуватися як з охорони рідкісних видів, так і з забезпечення безпеки співробітників. Також від пожежі постраждали багато заповідних територій. Цієї весни в Україні сталося в 45 разів більше пожеж, ніж минулого року. Наприклад, у травні згоріла заповідна Кімберська коса Чорного моря, де зберігалося унікальне приморське поселення. Загасити пожежу не вдалося через окупацію та мінні поля [9].

Часто виникає питання: що може статися з прибережними екосистемами через військові дії держави-окупанта? Прикладом слугує ситуація в Опуцькому заповіднику, який став по суті військовим полігоном. Бомбардування, рух техніки, вибухи акустичних бомб у морі та висадка десанту під час російських навчань спотворили місцеві узбережжя, луки та лимани. Підводні морські екосистеми також зазнають впливу військових дій. Затонулі кораблі та уламки ракет, використання якорів і вибухи боєприпасів можуть завдати шкоди підводним групам, які мешкають на дні океану. Уламки затонулих кораблів можуть утворювати нові середовища проживання та штучні рифи, де можуть колонізуватися водні організми, але довгострокова шкода від затонулого механічного забруднення значно переважує потенційні вигоди.

Затоплення військових кораблів, літаків та іншого військового обладнання є токсичними для морського життя та можуть призвести до розливів нафти, які можуть забруднювати морське середовище протягом десятиліть.

На сьогодні внаслідок війни держави-окупанта проти України близько 900 заповідних територій площею 1,2 млн га, що становить близько третини всіх заповідних територій нашої країни, перебувають у небезпеці. В Україні під загрозою знищення знаходяться 14 Рамсарських водно-болотних угідь площею 397,7 тис. га, близько 200 територій смарагдової мережі площею 2,9 млн га, біосферні заповідники [10].

Доктором біологічних наук, провідним науковим співробітником Інституту зоології ім. Шмальгаузена Павлом Гольдіним [11] запропоновано виділити критерії оцінки шкоди, яку завдала російсько-українська війна навколишньому природному середовищу:

1) критерій унікальності (якщо російсько-українська війна завдасть незворотної шкоди ендемічній екосистемі, то це величезна втрата; оцінка збитку залежить від часу, необхідного для відновлення екосистеми; у деяких областях може бути достатньо п'яти років, але десь знадобиться 50 років);

2) критерії смертоносності (суть полягає у наступному: хто і скільки загине під дією якогось фактора; такі фактори включають смертність від токсинів; у боєприпасах досить багато таких небезпечних сполук; наприклад, це хлор і його сполуки; хвороботворні речовини також належать до фактору смертності; вони можуть випадково потрапити в море як біологічна зброя або через пошкодження деяких сільськогосподарських об'єктів; вони можуть викликати захворювання морських тварин, в тому числі і самих дельфінів; фатальними факторами також є радіоактивні речовини та шумове забруднення морів).

Незважаючи на довгострокові несприятливі наслідки, проблеми з навколишнім природним середовищем, є важливою проблемою під час військових дій. З усіх видів людської діяльності війна найбільше впливає на довкілля. Крім того, з початку масштабного вторгнення держави-окупанта в Україні зафіксовано вже понад 240 екологічних злочинів. Така поведінка негативно впливає на екосистеми не лише в нашій державі, а й у всьому світі [7; 12].

Висновки. Таким чином, можна констатувати, що в розпал бойових дій важко дізнатися справжні масштаби, стан навколишнього природного середовища та рівень його забруднення. Після завершення активних бойових дій відбудеться власне оцінка Тому зараз важливо фіксувати злочини проти довкілля, щоб мати можливість судити державу-окупанта. Визначено, що вторгнення держави-окупанта спричинило масштабну екосистемну катастрофу, наслідки якої доведеться долати роками після перемоги. Враховуючи масштаби шкоди, завданої нашому довкіллю, ми вже повинні розглядати дійсно ефективні та сучасні шляхи покращення екологічного стану всієї держави, а особливо міст.

Література

1. Малько Л., Ніколаєнко Д. Економічна оцінка екологічних наслідків військової агресії Російської Федерації проти України (2014–2022). URL: https://www.researchgate.net/publication/361285296_Voenna_ekologia_novini_2022_roku_ta_ocinka_ekologicnih_naslidkiv_agresii_Rosii_proti_Ukraini
2. Семерня О.М., Любинський О.І., Федорчук І.В., Рудницька Ж.О., Семерня А.О. Екологічна безпека в умовах воєнного стану. Економічні науки: науково-практичний журнал. 2022. № 2(41). С. 62–66.
3. Environmental Performance Index. URL: https://epi.yale.edu/
4. Декларація Ріо-де-Жанейро щодо навколишнього середовища та розвитку: Міжнародний документ від 14.06.1992. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_455#Text
5. Як війна впливає на довкілля і як можна допомогти його відновлювати – розповідає екологиня. URL: https://suspilne.media/246529-russia-invades-ukraine-live-updates-suspilne-30/
6. Інформація про наслідки для довкілля від російської агресії в Україні 24 лютого – 9 березня 2022 року. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: https://mepr.gov.ua/news/39028.html
7. Возний О. День охорони довкілля в умовах війни. URL: https://www.pravda.com.ua/columns/2022/06/5/7350341/
8. Випадки потенційної шкоди довкіллю, спричинені російською агресією [Інтерактивна мапа]. URL: https://ecoaction.org.ua/warmap.html
9. Війна і море: як бойові дії загрожують екосистемам Чорного та Азовського морів. URL: https://ecoaction.org.ua/vijna-i-more.html
10. Заповідні території під час війни. URL: https://wownature.in.ua/
11. Війна вбиває не лише людей. Зоолог Павло Гольдін – про екологічне лихо в Чорному та Азовському морях. URL: https://ua.krymr.com/a/zahybel-delfiniv-chorne-azovske-more-rosia-ukraina-viyna/31869759.html
12. Екологія в умовах війни: бомба уповільненої дії. URL: https://armyinform.com.ua/2022/06/05/ekologiya-v-umovah-vijny-bomba-upovilnenoyi-diyi/

УДК 502.3
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.4

ЗАХИСТ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВІД ЗАБРУДНЕНЬ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ

Пилипчук О.Я., Висоцька Т.І., Пічкур Т.В., Савчук М.В., Сальникова А.В., Соловйова Л.М., Сорочинська О.Л.
Державний університет інфраструктури та технологій Міністерства освіти і науки України
вул. Кирилівська 9, 04071, м. Київ
olegpilipchuk47@gmail.com

Сучасний світ має потребу у захисті від екологічної катастрофи. Біосфера вже не в змозі справитися з шкідливими відходами цивілізації і починає поступово деградувати. А це загрожує існуванню життя на Землі. Якщо сьогодні не вжити негайних заходів для його збережень, то в недалекому майбутньому людство може потрапити в ситуацію, коли вже ніякі соціально-економічні відносини, як і інші заходи, не зможуть попередити екологічну катастрофу в глобальному масштабі.

У перспективі світові загрожує вичерпання природно-сировинних ресурсів. Одночасно із збільшенням споживання сировинних ресурсів різко зростає забруднення промисловими побутовими відходами води, повітря та ґрунту. Світове співтовариство повинно провести тотальну реконструкцію глобальної екологічної системи. Передбачається, що це можна здійснити без шкоди для економічного зростання за рахунок зменшення промислових матеріалів, які піддаються утилізації, а також переходу на альтернативні джерела отримання енергії; і до екологічно чистих передових технологій і підприємств загалом.

Відносно недавно стало очевидним, що подальша некерована експансія техносфери загрожує повним руйнуванням елементів життєзабезпечення: озонованого шару, гумусугрунту, прісної води і т.д. В таких умовах у Програмі ООН з оточуючого середовища – В таких умовах у Програмі ООН з оточуючого середовища – ЮНЕП постало завдання – зберегти приблизно 10% територій планети вільного від присутності техносфери. Людство виживе лише в тому випадку, якщо фактичні антропогенні впливи на біосферу не будуть перевищувати порогові критичні рівні, за якими життя людей не може нормально розвиватися.

Очевидно, що рівень благополуччя залежить не тільки від вибору товарів та послуг, а й від екологічних благ (ресурсів оточуючого середовища) та їх якості. Тому в даний час екологічні фактори вже включені у багатьох країнах в аналіз «затрати-вигоди» під час розробки проектів господарського розвитку.

У зв'язку з цим з'явилася необхідність готувати спеціалістів-екологів для практичних рішень завдань навколишнього середовища від зростаючих антропогенних впливів. Метою даної статті є навчити молодих спеціалістів оцінювати розрахунковим шляхом викиди і скиди забруднюючих речовин залізничним транспортом в навколишнє середовище і обирати оптимальні рішення щодо їх скорочення. *Ключові слова:* екологія, залізничний транспорт, забруднення атмосфери, захист навколишнього середовища.

Protection of atmosperic air from pollution by Railwai transport. Pylypchuk O., Vysotska T., Pichkur N., Salnikova A., Savchuk M., Soloviova L., Sorochynska O.

The modern world needs protection from environmental catastrophe. The biosphere is no longer able to cope with the harmful wastes of civilization and is gradually beginning to degrade. And this threatens the existence of life on Earth. If immediate measures are not taken today to preserve it, in the near future humanity may find itself in a situation where no socio-economic relations, like other measures, will be able to prevent environmental catastrophe on a global scale.

In the long run, the world is threatened by depletion of natural resources. Simultaneously with the increase in the consumption of raw materials, the pollution of industrial household waste with water, air and soil is growing sharply. The world community must carry out a total overhaul of the global ecological system. It is assumed that this can be done without compromising economic growth by reducing recyclable industrial materials, as well as switching to alternative energy sources; and to environmentally friendly advanced technologies and enterprises in general.

Relatively recently, it has become clear that further uncontrolled expansion of the technosphere threatens the complete destruction of the elements of life support: the ozonated layer, humus, fresh water, etc. Under such conditions, the UN Environment Program – UNEP has set itself the task of preserving about 10% of the world's technosphere-free territory. Mankind will survive only if the actual anthropogenic impacts on the biosphere do not exceed the critical threshold levels at which human life cannot develop normally.

Obviously, the level of well-being depends not only on the choice of goods and services, but also on environmental goods (environmental resources) and their quality. Therefore, environmental factors are now included in many countries in the cost-benefit analysis of economic development projects.

Therefore, there is a need to train environmentalists for practical solutions to environmental problems from the growing anthropogenic impacts. The purpose of this article is to teach young professionals to estimate the estimated emissions and discharges of pollutants by rail into the environment and choose the best solutions to reduce them. *Key words:* ecology, railway transport, air pollution, environmental protection.

Постановка проблеми. Захист повітряного басейну – одна з найбільш актуальних проблем захисту навколишнього середовища. Охорона атмосфери від забруднень промисловими і транспортними викидами – найважливіше соціальне завдання в комплексі завдань глобальної проблеми охорони природи і покращення використання природних ресурсів. Забруднення повітря шкідливими речовинами завдає

значної матеріальної шкоди народному господарству і призводить до погіршення здоров'я населення.

Актуальність дослідження. Сьогодні проблемами захисту атмосфери займаються такі науки, як хімічна технологія, енергетика, фізика і машинобудування, а також лікарі, гігієністи та ін. Найбільш ефективним методом захисту атмосфери від забруднення шкідливими речовинами є розробка нових маловідходних ресурсо- і енергозбергіючих технологічних процесів із замкнутими виробничими циклами, які вимагають великих фінансових затрат. Ось чому , на сучасному етапі для більшості промислових і транспортних підприємств очищення повітря, що викидається в атмосферу, залишається основним заходом під час захисту повітряного басейну від забруднення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зрозуміло, що залізничний транспорт належить до головних факторів негативного впливу на навколишнє середовище. Практично транспортні комунікації займають чутливу частину поверхні суші Землі Нічим не обмежений розвиток авто-, авіа- та залізничних перевезень висуває на передній план проблему повного заміщення вартості перевезень, включаючи відповідні екологічні наслідки [1–5].

Виклад основного матеріалу. Із загальної маси забруднюючих атмосферу речовин, які поступають від антропогенних джерел, близько 90 % складають різного роду газоподібні, а 10 % тверді і рідкі речовини.

Речовини, які перебувають у повітрі у завислому стані називаються ***аерозолями.*** Їх ділять на три класи*: пили, дими і тумани.*

Пил – полідисперсні системи твердих завислих частин розміром 5–100 мкм.

Дими – аерозолі з розмірами частин від 0, 1 до 5 мкм.

Тумани – рідкі аерозолі, які складаються з крапельок рідини. В них можуть міститися розчинені речовини або тверді частини. Вони утворюються в результаті конденсації пари або розпилення рідин. У першому випадку вони близькі до димів, а в другому – до пилу.

Особливе місце займають сажа і попіл, які утворюються в процесі згорання палива.

Сажа – токсичний високодисперсний порошок, на 0,95 % складається з частинок вуглецю.

Попіл – незгорівший залишок палива, який складається з мінеральних домішок.

В техніці пиловловлювання і очищення газів дисперсний склад пилу має вирішальне значення, тому що в залежності від цього обирається відповідне пиловловлювальне обладнання.

До найбільш газоподібних забруднень атмосферного повітря відносяться:

– діоксид сірки [SO_2];
– оксид вуглецю [CO];
– оксиди і діоксиди азоту [NO, NO_2];
– вуглеводні [пари бензину, метан та ін.];
– сполуки важких металів [свинцю, ртуті, кадмію та ін.];
– вуглекислий газ [CO_2].
– У повітрі можуть знаходитися, конкретно і інші шкідливі газоподібні речовини, якщо поблизу є звичайно, і інші шкідливі газоподібні речовини.
– Викиди в атмосферу поділяють на:
1) парогазові і аерозольні;
2) технологічні і вентиляційні;
3) організаційні і неорганізаційні;
4) нагріті і холодні.

Парогазові викиди – суміші газів, яка не містить твердих або рідких частинок. ***Аерозольні викиди*** – суміш газів, що містять тверді або рідкі частинки.

В залежності від шкідливості газових складових і містящихся в них аерозольних частинок необхідно здійснювати очищення або однієї компоненти суміші, або суміш в цілому. В останньому випадку вимагається або комбіноване очищення в одному апараті, або комбінація послідовно розташованих апаратів.

Технологічні викиди утворюються в результаті технологічних процесів і є фактично викидами при продуванні, викиданні від попереджувальних клапанів, з труб котельних, транспортних засобів тощо. Як правило, вони характеризуються високою концентрацією забруднюючих речовин.

Вентиляційні викиди характеризуються більшими обсягами газоповітряної суміші, але не високими концентраціями забруднюючих речовин. Однак за рахунок більших обсягів газоповітряної суміші валові викиди з ними забруднюючих речовин можуть бути значними.

До організованих викидів відносяться викиди, які видаляються трубами або газоходами, що дозволяє використовувати достатньо легко газо- і пиловловлюючі установки. До неорганізованих викидів відносяться викиди від розгерметизованого обладнання, від необладнаних місць завантаження або вивантаженнях матеріалів, від транспортних систем та ін.

Нагріті або холодні викиди характеризуються перепадом температур газу і навколишнього середовища. При різниці температур до 30 град. за С викиди можна вважати холодними.

Робота будь-якого пристрою., який видаляє завислі частинки, основується на використанні одного або декількох механізмів осаджування. До основних механізмів, що отримали найбільше застосування, відносяться: гравітаційне осаджування, осадження під дією відцентрових сил, інерційне осаджування, зачеплення (ефект торкання), дифузійне осаджування, електроосаджування. До сучасних методів відноситься також термофорез і вплив електромагнітним полем. Осадження частинок залежить від цілої низки ряду факторів і в першу чергу від їх розмірів.

Під час ***гравітаційного осаджування*** відбувається вертикальне осаджування частинок під дією сили ваги. При падінні частинка пилюки витримує опір середовища, тому швидкість осаджування визначається умовою рівності сил тяжіння і гідравлічного опору. Тому частинки меншого діаметра мають меншу швидкість осаджування і для очищення повітря від таких частинок запилений потік повинен перебувати більше часу у пилюковсмоктувальній камері.

Центробіжне осаджуванняння пилюки відбувається під час криволінійного руху запиленого потоку, коли під дією відцентрових сил, що розвиваються, частинки пилюки відкидаються на поверхню, що осаджується. В апаратах, основаних на використанні центробіжних сил, застосовуються два принципових конструктивних рішення. В одному випадку пилюкогазовий потік крутиться в нерухомому корпусі апарату циліндричної або конічної форми, а в іншому випадку пилюкогазовий потік рухається у роторі, що крутиться. Перше рішення здійснюється у циклонах, а друге – в ротаційних пилевловлювачах.

Інерційне осаджування відбувається в тому випадку, якщо частинка пилюки в потоці газу, що рухається прямою лінією при огинанні щільною у порівнянні з газом речовини за інерцією при повороті потоку продовжує прямолінійних рух. Частинка пилюки зустрічається з перешкодою і осідає на ній. Інерційне осаджування частинок пилюки ефективне для частин розміром понад 1 мкм.

Дифузне осаджування спостерігається в тому випадку, коли частини піддані впливові броунівського руху молекул. В основному це частинки невеликого розміру, які мають підвищену вірогідність контакту з обтікаємим тілом. Ефективність дифузного осадження обернено пропорційна розмірові частинок і швидкості газового потоку.

При осаджуванні частинок пилюки шляхом впливу електричного струму частинки спочатку заряджаються, а потім віддаляються від повітряного середовища під дією електричного поля. Електрозарядка частин пилюки здійснюється при генерації аерозолю за рахунок дифузії вільних струмів і під час короткого розряду. В останньому випадку частинки пилюки отримують заряд одного знаку. Що дозволяє підвищити ефективність їх наступного видалення з повітряного потоку.

Термофорез являє собою відштовхування частинок нагрітим тілом, викликане переміщенням повітряного середовища в результаті вільної конвекції. При термофорезі концентрації частинок в областях з підвищеною і пониженою температурою стають різними, що приводить до термодифузії частинок у бік понижених температур. На практиці це можна спостерігати у вигляді осадження пилюки на зовнішніх стінках приладів центрального опалення.

Завислі частинки при контакті газового потоку з рідиною можуть осаджуватися на краплях, пухирцях і на поверхні рідини.

Уловлювання завислих частинок краплями основане на кінематичній коагуляції, що виникає в результаті різниці швидкостей частинок і крапель. Це відбувається

– коли аерозоль рухається з малою швидкістю, а краплі рідини падають під дією сили тяжіння;

– коли аерозоль і краплі рухаються в одному або протилежному напрямах з різними швидкостями;

– під час руху пухирців забрудненого повітря через шар рідини (барботаж) всередині пухирків виникає пульсація газів. Завислі частинки при цьому прилипають до поверхні води, що оточує пухирець газу;

– під час осаджування твердих частинок на поверхні рідини, коли газовий потік рухається вздовж рідкої поверхні, частини осаджуються у воді в об'ємі тонкої плівки, тобто відбувається поверхневе забруднення води.

Під час проходження аерозолю через пористий матеріал (фільтр) відбувається фільтрація газу: аерозольні частинки затримуються у фільтрованих перетинках. Процес фільтрації в найбільш поширених фільтрах можна умовно представити як процес обтікання циліндру, розміщеного поперек потоку. Частинки пилюки затримуються на поверхні волокон силами молекулярної взаємодії. Фільтрація запиленого потоку через пористий матеріал значно складніша, тому що включає в себе не тільки процес прилипання до матеріалу в результаті обтікання, а й за рахунок зіткнення з волокном або нитками. Необхідно враховувати, що на шляху руху запиленого потоку розміщених у декілька рядів волокон, це підвищує ефективність очищення.

Під час видалення газоподібних сумішей використовуються методи: ***абсорбції, адсорбції, каталізу і термічного окислення.***

Абсорбційне очищення основане на здатності рідин розчиняти гази або хімічно взаємодіяти з ними. Під час адсорбції відбувається перехід речовини з газової фази у рідку. Рідина, в якій розчиняються адсорбовані газові компоненти, називається адсорбентом. Решту частини газового **арирку**, яка не адсорбується в рідині, зазвичай називається інертним газом. Під час ***фізичної абсорбції*** абсорбуємий компонент розчиняється в у розчиннику (абсорбенті). При цьому хімічні реакції відсутні. Цей процес можливий, коли парціальний тиск абсорбованого компоненту в газі більший від рівновісного парціального тиску над поверхнею розчину.

Під час хімічної абсорбції (хемосорбції) абсорбуємий компонент вступає у хімічну реакцію з поглиначем (рідиною), утворюючи нові хімічні сполуки в рідкій фазі. Хемособційні процеси забезпечують більш повне забирання компонентів з газових сумішей. Кількість газів, яку можна розчинити в рідині

залежить від властивості газу і рідини, температури і парціального тиску газу над рідиною.

Процес адсорбції є поглинання газового компоненту твердою речовиною завдяки силам тяжіння між молекулами адсорбенті (твердої речовини) і поглинальним газом на межі розділу фаз, що торкаються. Процес переходу молекул з газу на поверхневий шар адсорбенту відбувається в тому випадку, якщо сили тяжіння адсорбенту перевищують сили тяжіння з боку газу-носія. Молекули адсорбованої речовини, переходячи на поверхню адсорбенту, зменшують його енергію, в результаті чого відбувається чого відбувається виділення теплоти. Під час ***фізичної адсорбції*** молекули газу не вступають з молекулами адсорбенту у хімічну взаємодію. З підвищенням температури кількість фізично адсорбованої речовини зменшується, а із збільшенням тиску, навпаки зростає. Перевагою фізичної адсорбції є легка зворотність процесу.

В основі хімічної адсорбції лежить взаємодія між адсорбентом і речовиною, що адсорбується. Діючі при цьому сили суттєво більші, ніж при фізичній адсорбції, і при цьому виділяється більше теплоти. Молекули газу, вступивши і хімічну взаємодію з молекулами адсорбенту, міцно утримуються на поверхні і в порах адсорбенту. Під час низьких температур швидкість хімічної адсорбції невелика, однак вона зростає з підвищенням температури.

Каталітичне очищення газів служить для перетворення домішок у нешкідливі сполуки. Процес протікає на поверхні твердих тіл – каталізаторів. Підбір каталізаторів відбувається в основному емпіричним шляхом.

На процес каталізу сильно впливає температура. Під час відносно низьких температур, коли швидкість реакції мала у порівнянні зі швидкістю дифузії газів, процес очищення відбувається порівняно повільніше. З підвищенням температури швидкість хімічної реакції зростає, збільшуючи при цьому і швидкість дифузії газів. Однак швидкість дифузії збільшується повільніше і може настати момент, коли процес очищення газу буде визначатися тільки швидкістю підведення реагуючих речовин. В цьому випадку каталіз переходить у сферу зовнішньої дифузії. При цьому мілкі пори каталізатора вже не грають будь-якої ролі, але зростає роль зовнішньої поверхні.

Дуже важливою характеристикою каталізаторів є температура «загоряния» – та мінімальна температура, за якої каталізатор починає проявляти свої властивості.

Термічне окислення компонентів викидів зветься окислення при температурах біля 1000 град. за Цельсієм. Окислення застосовується як для газів, так і для горючих компонентів дисперсійної фази аерозолів. Цей спосіб застосовується для вивільнення смол, масел, летучих розчинників і інших компонентів з газових потоків. Вирішальне значення в організації процесу має підготовка газів до реакції, тобто нагрів суміші до необхідної температури і забезпечення змішування горючих газів з окислювачем.

Перспективи використання результатів нашого бачення впливу забруднюючих речовин залізничним транспортом на навколишнє середовище для підготовки студентів-екологів із метою підвищення екологічності умов життя населення України у контексті зростаючого транспортного навантаження на оточуюче середовище, і на атмосферу. В першу чергу наш матеріал переслідує науково-практичні цілі, забезпечує інформаційну функцію для студентів-екологів.

Література

1. Григорьев А.А. Экологические уроки исторического прошлого и современность. Ленинград: Наука. 1991. 250 с.
2. Зубаков В.А. Экологический кризис и будущее человечества. *Известия ВГО*. 1990. Т. 122. № 2. С. 143–153.
3. Марчук Г.И., Кондратьев К.Я. Приоритеты глобальной экологии. Москва: Наука, 1992. 264 с.
4. Горшков В.Г. Физические и биологические основы устойчивости жизни. Москва: ВИНИТИ. 1995. 470 с.
5. Кондратьев К.Я. Экология и политика. *Известия Русского географического общества.* 1993. Т. 125. Вып. 3 С. 3–11.

БІОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

УДК 639.2.09:591.133.2:615.3
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.5

ОСОБЛИВОСТІ МЕТАБОЛІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У РИБ ЗА ДІЇ КСЕНОБІОТИКІВ

Курбатова І.М., Захаренко М.О., Чепіль Л.В., Тупицька О.М.
Національний університет біоресурсів і природокористування України
вул. Героїв Оборони, 15, 03041, м. Київ
chepil2017@ukr.net

Розглянуті особливості метаболічних процесів у прісноводних риб за дії ксенобіотиків. Доведено, що ксенобіотики різної хімічної природи й механізму дії, потрапляючи в природні водойми зі стічними водами промислових підприємств, об'єктів комунального й сільськогосподарського призначення, негативно впливають на метаболічні процеси в тканинах гідробіонтів. Найчастіше в водоймах виявляють гербіциди, акарициди, антигельмінтні атрактанти, антисептики, арборициди, десиканти, дефоліанти, інсектициди, ларвіциди, репеленти, фунгіциди, фуміганти.

Досліджені показники вуглеводного, білкового, ліпідного й мінерального обміну в риб за впливу ксенобіотиків. Встановлено, що ксенобіотики впливають на енергетичний обмін риб, який пов'язаний із процесами окисного фосфорилювання в мітохондріях клітин, змінюючи рівень глюкози та глікогену в печінці й м'язах. В умовах токсикозу в тканинах риб порушується динамічна рівновага між процесами гліколізу, глюконеогенезу, пентозофосфатного шунта й ЦТК, змінюється вміст та співвідношення компонентів антиоксидантної системи в тканинах. Значний вплив токсиканти здійснюють на енергетичні процеси в тканинах риб, які забезпечують сталість гомеостазу й здійснення ряду фізіологічних функцій у організмі.

Реакція риб на вплив токсикантів води проявляється в суттєвих порушеннях білкового й ліпідного обміну в тканинах риб і пов'язана зі зміною структури, складу й властивостей біологічних мембран, білків, кінетикою ферментативних і транс-мембранних процесів, модифікацією структури й кінетичних параметрів АТФ-ази і, як наслідок, зміною процесів метаболізму й енергозабезпечення організму. Значний вплив ксенобіотики здійснюють на водно-сольовий обмін у організмі гідробіонтів, особливо на метаболізм макро- й мікроелементів, змінюючи як їхній загальний рівень у крові, так і внутрішньоклітинний розподіл.

Дослідження активності ферментів і концентрації окремих субстратів за дії ксенобіотиків різного механізму дії розкривають механізми адаптації гідробіонтів до дії токсикантів, а також дають можливість розробляти ефективні методи попередження їхнього негативного впливу на організм. *Ключові слова:* водойми, водні екосистеми, ксенобіотики, метаболічні процеси.

Peculiarities of metabolic processes in fish under the action of xenobiotics. Kurbatova I., Zakharenko M., Chepil L., Tupytska O.

Peculiarities of metabolic processes in freshwater fish under the action of xenobiotics are considered. Xenobiotics of various chemical nature and mechanism of action have been shown to adversely affect metabolic processes in aquatic tissues when they enter natural water bodies with wastewater from industrial enterprises, municipal and agricultural facilities. Herbicides, acaricides, anthelmintic attractants, antiseptics, arboricides, desiccants, defoliants, insecticides, larvicides, repellents, fungicides, fumigants are most often found in reservoirs.

Indicators of carbohydrate, protein, lipid and mineral metabolism in fish under the influence of xenobiotics have been studied. Xenobiotics have been shown to affect fish energy metabolism, which is linked to oxidative phosphorylation in cell mitochondria, altering glucose and glycogen levels in the liver and muscles. Under conditions of toxicosis in fish tissues, the dynamic balance between the processes of glycolysis, gluconeogenesis, pentose phosphate shunt and CTC is disturbed, the content and ratio of components of the antioxidant system in tissues changes. Toxicants have a significant effect on energy processes in fish tissues, which ensure the stability of homeostasis and the implementation of a number of physiological functions in the body. The reaction of fish to water toxicants is manifested in significant disorders of protein and lipid metabolism in fish tissues and is associated with changes in the structure, composition and properties of biological membranes and proteins, kinetics of enzymatic and transmembrane processes, modification of the structure and kinetic parameters of ATPase and , as a consequence, change of processes of a metabolism and power supply of an organism.

Xenobiotics have a significant effect on water-salt metabolism in the body of aquatic organisms, especially on the metabolism of macro-and micronutrients, changing both their total level in the blood and intracellular distribution.

Studies of enzyme activity and concentration of individual substrates under the action of xenobiotics of different mechanisms of action reveal the mechanisms of adaptation of aquatic organisms to the action of toxicants, and also provide an opportunity to develop effective methods to prevent their negative effects on the body. *Key words:* reservoirs, aquatic ecosystems, xenobiotics, metabolic processes.

Постановка проблеми. На сьогодні існує велика кількість найрізноманітніших ксенобіотиків антропогенного походження, які забруднюють природні водойми, змінюють фізико-хімічні властивості води, негативно впливають на гідробіонтів, у тому числі й на іхтіофауну. Однак, що стосується забруднення водних об'єктів рідкими відходами тваринницьких підприємств, особливо окремими компонентами

стічних вод – залишками препаратів лікувально-профілактичного призначення, то дані дослідження потребують поглиблення та розширення, особливо з точки зору встановлення нових критеріїв оцінки екологічного стану водних об'єктів, розробки ефективних методів відновлення екологічної рівноваги забруднених водойм, покращення якості води й рибної продукції при їхньому використанні в рибогосподарських цілях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Водні екосистеми, які використовуються для риборозведення й розміщені в зоні діяльності промислових підприємств, об'єктів комунального й сільськогосподарського призначення, особливо тваринницьких ферм, зазнають суттєвих змін через постійне надходження різних токсичних сполук [1], які впливають на ріст і розвиток риби та на якість води річок.

На сьогодні відомо понад декілька тисяч ксенобіотиків, які можуть потрапляти в природні водойми. До них відносять гербіциди, акарициди, антигельмінтні атрактанти, антисептики, арборициди, десиканти, дефоліанти, інсектициди, ларвіциди, репеленти, фунгіциди, фуміганти [2]. Вплив ксенобіотиків на риб проявляється по-різному й залежить від ряду зовнішніх факторів. На цей процес впливають вид риб, вік, маса тіла, вид і концентрація токсиканта в воді, сезон року, температура води, вміст у ній кисню й фізико-хімічні властивості ксенобіотика [3].

Дію різних ксенобіотиків води на риб пов'язують із їхнім впливом на функціональний стан зябер, поверхню тіла, морфологічні показники внутрішніх органів, імунну систему, процеси гемопоезу й метаболізму в органах і тканинах [4]. Токсична дія ксенобіотиків на риб значно посилюється за гіпоксичного стану організму при низькій концентрації розчиненого кисню в воді [5].

Ксенобіотики впливають на енергетичний обмін у риб, який пов'язаний із процесами окисного фосфорилювання в мітохондріях клітин, змінюючи рівень глюкози й глікогену в печінці та м'язах. На вміст такого високоенергетичного компоненту як глікоген, рівень якого в печінці коливається в межах від 67 до 1736 мг/г, впливають вид, умови й період утримання, фізіологічний стан організму риб. Концентрація глюкози в крові різних видів риб також змінюється від 35 до 292 мг у 100 мл, у тому числі в коропа з 57 до 230 мг [6].

Суттєвих змін за дії антропогенних чинників у риб зазнає вміст вільних амінокислот, концентрація яких у крові значно знижується. У той же час іони важких металів збільшують вміст сірковмістних амінокислот метіоніну та цистеїну в печінці та м'язах коропа й знижують концентрацію аспаргінової та глутамінової кислот [7].

Серед забруднювачів ставів рибогосподарського призначення особливого значення надають пестицидам. Вони потрапляють у водойми з сільськогосподарських угідь, де широко використовуються для боротьби з шкідниками та збудниками хвороб рослин. Із даної наукової проблеми накопичено значний експериментальний матеріал, який узагальнено в ряді оглядів і опубліковано у багатьох наукових виданнях [8].

Показано, що у коропа за дії пестицидів, активуються реакції гліколізу й гальмуються глюконеогенезу, знижується активність процесів аеробного дихання й окисного фосфорилювання в мітохондріях, посилюється гідроліз глікогену в печінці. На негативний вплив фосфорорганічних забруднювачів води на вуглеводний обмін у тканинах прісноводних риб вказує також зміна активності ЛДГ, а також глікогенфосфорилази [9]. Інші дослідники вважають, що пестициди, змінюючи активність ензимів печінки, гальмують аеробні, одночасно посилюючи анаеробні процеси в тканинах [6]. У риб під впливом пестицидів різного механізму дії, спостерігається зниження вмісту білку в тканинах. Однак інші автори, навпаки, відмічали підвищення рівня протеїнів, зниження вмісту амінокислот і активності протеаз тканин риб [10]. Під дією пестицидів у риб змінюється вміст аденілатів та активність ензимів дихального ланцюга мітохондрій, що свідчить про порушення енергетичних процесів у тканинах. Сублетальні дози пестициду циперметрину викликають в тканинах риб Tilapia mossambica значні метаболічні зміни в тканинах печінки, мозку, зябрах. Про це свідчить зниження активності сукцинат-, малата ізоцитратдегідрогенази, а також цитохром-С-оксидази у вказаних органах риб, що підтверджує попередній висновок про порушення реакцій ЦТК у тканинах риб під дією пестицидів [11].

Крім того встановлено, що хлорорганічні пестициди гальмують активність цитоплазматичної і мітохондріальної малатдегідрогенази в м'язах, а також активність цитратсинтези і глюкозо-6-фосфатдегідрогенази головного мозку, скелетних м'язів і печінки [9]. Крім вищевказаних змін, пестициди води у риб також знижують активність каталази, супероксиддисмутази і глутатіонпероксидази, а також холінестерази. У риб зростає кількість продуктів ПОЛ у тканинах, вміст сечовини, креатиніну, альбумінів і загального білку в сироватці крові [12].

Це підтверджує висновок про негативний вплив пестицидів на активність біоенергетичних процесів у тканинах, які в свою чергу залежать від активності низки ферментів мітохондрій у тканинах клітин риб. Одержані дані вказують на суттєвий вплив пестицидів, які потрапляють у природні водойми з атмосферними опадами, на енергетичні процеси в тканинах риб і, як показали дослідження інших авторів, змінюють вміст та співвідношення компонентів антиоксидантної системи в тканинах [1].

В організмі риб у зв'язку з особливими умовами існування виробилися досить складні механізми адаптації до зміни параметрів водного середовища, в тому числі до ксенобіотиків [3, 7]. Встановлено,

що процеси знешкодження пестицидів після потрапляння в організм риб відбуваються в основному в гепатоцитах печінки за рахунок активації ензимів пероксисом (каталази, алантоїнази, уринази) мітохондрій (цитохром-С-оксидази), лізосомальних і мікросомальних ферментів. На підставі дослідженнь активності НАДФН-цитохром-с-оксидази в печінці риб під дією пестицидів, даний фермент рекомендовано для моніторингу екологічного стану водних об'єктів [12]. Важливу роль у знешкодженні ксенобіотиків у воді, до яких відносяться й пестициди, надають цитохрому P_{450} і УДФ-глюкоронозилтранферазі печінки риб, які змінюють свою активність під дією пестицидів. Це свідчить про участь даних ензимів у процесах перетворення вказаних забруднювачів води в тканинах риб [13].

Отже пестициди, потрапляючи у воду ставів з сільськогосподарських угідь з атмосферними опадами, змінюючи фізіолого-біохімічні процеси в організмі риб, здатні впливати на структуру їхтіоценозів природних водойм, а також показники енергетичного обміну та активність ферментів у тканинах риб, які можуть бути використані як важливі критерії оцінки екологічного стану водойм [14].

Зареєстровано суттєві зміни вуглеводного обміну в організмі риб за дії гербіцидів у печінці, білих м'язах, нирках, зябрах і головному мозку. Надходячи з ґрунту у природні водойми, гербіциди викликають пошкодження клітин зябер і еритроцитів крові риб, генетичні зміни на рівні структури ДНК ядер [15].

Негативну дію на риб проявляє широко відомий гербіцид зенкор, який відноситься до триазинів. З дощовими, польовими й ґрунтовими водами він і продукти його деградації потрапляють у природні й штучні водойми й негативно впливають на гідробіонтів. Вплив гербіциду зенкору на організм риб також пов'язаний із зміною ряду ключових ензимів процесів гліколізу й глюкононеогенезу в тканинах – глюкозо-6-фосфатдегідрогенази й фруктозо-1,6-дифосфатази [9].

У прісноводних риб зареєстровані значні зміни білкового обміну та вмісту амінокислот у тканинах під дією гербіцидів. Наведені показники рекомендовано використовувати як біоіндикатори для оцінки інтоксикації риб і якості води. Встановлено, що негативний вплив гербіцидів на риб пов'язаний із зміною ензимної активності в тканинах, зокрема підвищення активності АлАТ і АсАТ в плазмі крові й нирках і зниження даних показників у печінці й зябрах [6]. Згадані ферменти рекомендовано до використання як біомаркери фосфорорганічного забруднення води.

У риб під впливом гербіцидів, які володіють нейротоксичною дією в організмі, знижується аденілатний енергетичний заряд в мітохондріях зябер, печінки й м'язів. Крім того токсикоз у риб, викликаний речовинами органічного і неорганічного походження, а також пестицидами на тлі тривалого голодування змінював вміст основних вуглеводів, активність ферментів у тканинах і обмін аденілатів [17].

У риб дослідних груп вказані забруднювачі води не впливали на активність ЛДГ білих м'язів та печінки. В той же час під дією гербіцидів було зареєстровано підвищення активності Г-6-ФДГ та Г-6-Фази в мозку та печінці цьоголіток коропа. В останньому випадку активність Г-6-Фази в печінці риб дослідних груп, порівняно з контролем, під дією 2,4-Д зросла в 4 рази, а зенкору – в 2,5 рази [3]. Крім значного впливу на активність ключових ферментів обміну вуглеводів, ксенобіотики у значній мірі змінювали вміст аденіннуклеотидів в тканинах цьоголіток та дворічок коропа, а також ряду проміжних і кінцевих продуктів метаболізму вуглеводів [18].

Значний вплив токсиканти здійснюють на енергетичні процеси в тканинах риб, які забезпечують сталість гомеостазу та здійснення цілого ряду фізіологічних функцій у організмі. Дослідженнями [18] виявлено, що вміст АТФ в білих м'язах цьоголіток коропа за дії 2,4-Д зменшується майже в 5 разів, а зенкору – більш ніж у 11 разів порівняно з контролем, тоді як у риб старшого віку ці зміни були менш суттєвими. Реакція печінки риб на дію гербіцидів, крім посилення детоксикаційної функції, супроводжувалась значним зниженням рівня АТФ та підвищенням вмісту АМФ і АДФ. Як вважають автори, зниження рівня АДФ у білих м'язах дволіток коропа за дії зенкору різко підвищує концентрацію субстратів аденілаткіназної реакції та знижує утворення АТФ. Це підтверджено високим значенням відношення АТФ/АДФ і показника АЕЗ. При цьому слід зазначити, що у цьоголіток коропа токсичний вплив зенкору й 2,4-ДА на стан енергетичних процесів у печінці й білих м'язах виражений у значно більшій мірі, ніж у дорослих особин. Останнє пов'язують із різною здатністю риб залежно від віку адаптуватись до зміни водного середовища, зокрема впливу ксенобіотиків антропогенного походження [18].

На основі одержаних даних щодо впливу гербіцидів на активність ферментів печінки, білих м'язів і мозку цьоголіток коропа було зроблено висновок, що в умовах токсикозу порушується динамічна рівновага між процесами гліколізу, глюконеогенезу, пентозофосфатного шунта і ЦТК. У м'язах риб ця рівновага зсувається в бік посилення аеробного окислення, в мозку – пентозо-фосфатного шунта, а в печінці спостерігається посилення анаболічних процесів. Дослідження активності ферментів, а також концентрації окремих субстратів за дії ксенобіотиків різного механізму дії дає можливість судити про механізми адаптації гідробіонтів, у тому числі й риб, до дії токсикантів, а також розробляти ефективні методи попередження їхнього негативного впливу на організм [6, 18].

Значний вплив ксенобіотики здійснюють на водно-сольовий обмін у організмі гідробіонтів,

особливо на метаболізм макро- та мікроелементів, змінюючи як їхній загальний рівень у крові, так і внутрішньоклітинний розподіл. Це пов'язують з відповіддю гідробіонтів на токсичну дію ксенобіотиків, а саме знижується функціональна активність зябер з метою попередження їхнього надходження до організму [6].

Оскільки гідробіонти в процесі життєдіяльності тісно контактують із водним середовищем, у них сформувались особливі механізми адаптації до дії біотичних і абіотичних чинників води [19]. Вважають, що в основі цих механізмів лежить здатність гідробіонтів, зокрема риб, змінювати активність цілого ряду ферментних систем, у першу чергу АТФ-аз. Дослідженнями показано, що негативний вплив токсикантів води, а саме важких металів, на АТФ-азну активність тканин риб пов'язаний із змінами ультраструктури плазматичних мембран, розрідженням цитоплазми клітин, їх взаємодію із SH-групами білків, що призводить до зміни конформації білкової молекули [20]. Катіони важких металів за підвищеної дози гальмують АТФ-азу активність зародків в'юна, що впливає на проникливість іонних каналів. Подібні за характером зміни зареєстровано під дією важких металів і в клітинах водоростей. Вважають, що негативний вплив важких металів у першу чергу іонів свинцю на клітини водоростей пов'язаний із порушенням іонного транспорту і енергетичних процесів у клітинній мембрані, а також у мітохондріях [21].

У риб негативна дія важких металів пов'язана не тільки зі зміною структури мембран, зниженням активності АТФ-аз зябер та кишківника, але й із утворенням нових лізоформ даного ферменту, які володіють зниженою спорідненістю до даних токсикантів. Це унеможливлює їхнє проникнення в великих кількостях у організм і є одним із механізмів адаптації риб до дії токсикантів даного виду. Показано, що активність Na^+, K^+АТФ-фази зябер і кишківника знижується за дії ртуті , хрому й кадмію. Ці зміни відбуваються на тлі гіпокальцінемії, що є наслідком гальмування кадмієм адсорбції кальцію зябрами риб, негативно впливаючи на активність Ca^{2+}-АТФ-ази. Було зроблено висновок про те, що важкі метали, порушуючи транспорт іонів через клітинні мембрани, гальмуючи активність АТФ-аз, змінюють іонну рівновагу в клітині [20, 21].

Головні висновки. Узагальнюючи наведені дані, можна зробити висновок, що вплив ксенобіотиків води на організм риб є різноплановим і пов'язаний із зміною структури, складу та властивостей біологічних мембран, впливом на структуру і функції білків, кінетику ферментативних і транс-мембранних процесів, модифікацією структури і кінетичних параметрів АТФ-ази і як наслідок – зміною процесів метаболізму і енергозабезпечення організму.

Література

1. Кривопиша В. В. Жиденко А. А. Влияние гербицидов на обмен кальция в организме карпа. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічниго університету ім. В. Гнатюка. Серія: Біологія*. 2005. № 3(26). С. 85–87.
2. Курбатова І. М., Тупицька О. М., Смоленський О. О. Вплив антропогенних чинників на якість води рибогосподарської водойми ЗАТ «Антонов» с. Круглик. *Питання біоіндикації та екології*. 2014. № 19. 107 – 115.
3. Жиденко А. О. Морфофізіологічні адаптації різновікових груп Cyprinus carpio L. за несприятливої дії еклогічних факторів: автореф. дис. … д-ра біол. наук: 03.00.16. Одеса, 2009. 40 с.
4. Курбатова І. М., Тупицька О. М. Вплив абіотичних факторів на організм прісноводних риб (літературний огляд). *Вісник Запорізького національного університету. Біологічні науки*. 2015. № 2. С. 99–108.
5. Menezen C. C., Fonseca M. B., Loro V. L. et al. Roundap effects on oxidative stress parameters and recovery pattern of Ramdia quebn. *Arch. Environmental Contam. Toxicology*. 2011. № 60. 665–671.
6. Бібчук К. В., Жиденко А. О. Особливості впливу гербіцидів на вуглеводний обмін у тканинах коропа. *Вісник Чернігівського державного педагогічного університету. Серія: біологічні науки*. 2006. Вип. 40, № 1. С. 87–91.
7. Грубінко В. В., Киричук Г. Є., Курант В. З. Енергетична роль амінокислот у адаптації до важких металів прісноводних риб і молюсків. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного ун-ту ім. Володимира Гнатюка. Серія: Біологія*. 2011. Вип. 2(47). С. 237–261.
8. Мусієнко Н. Г., Жиденко А. О., Мехед О. Б., Коваленко О. М. Вплив пестицидів на морфологічні показники коропа. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного ун-ту ім. В. Гнатюка. Серія: Біологія*. 2006. № 2(29). С. 312–314.
9. Мехед О. Б., Яковенко Б. В. Вплив гербіцидного забруднення водного середовища на метаболічні процеси в тканинах білого амура. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного ун-ту ім. В. Гнатюка. Серія: Біологія. Спец. випуск. Гідроекологія*. 2010. № 2(43). С. 353–356.
10. Грубінко В. В., Синюк Ю. В., Прібич Ф. А. Білки як адаптери та маркери інтоксикацій у гідробіонтів. *Наукові запис. Тернопільського національного педагогічного ун-ту ім. В. Гнатюка. Серія: Біологія. Спец. випуск. Гідроекологія*. 2009. № 1–2(39). С. 143–153.
11. Жиденко А. А., Бибчук Е. В. , Мищенко Т. В. Показатели метаболизма рыб как биоиндикаторы экологической оценки состояния водоёмов. *Воспроизводство естественных популяций ценных видов рыб:* Тезисы докладов Междунар. конф., г. Санкт-Петербург, 20–22 апреля 2010 г. / СПб. : Нестор-История, 2010. С. 63–65.
12. Begum G. Organ-specific ATP-ase and phosphorylase enzyme activities in a food fish exposed to a carbomate insecticide and recovery response. *J. Fishery Phisiology and Biochemistry.* 2011. Vol. 37. № 1. P. 61–69.
13. Земнов Г. В., Журавлева Г. Ф. Кинетика патологических изменений при комулятивном токсикозе в организме как критерий сопротивляемости популяции рыб. *Экология животных*. 2004. № 1. С.41–47.

14. Cattaneo R., Clasen B., Loro V. L. et al. Toxicological respouses of Cyprinus carpio exposed to a commercial formulation Containing glyphosate. *Bull. Environmental Contam. Toxicology*. 2011. Vol. 87. № 6. P. 597–602.
15. Лозовіцький П. С. Екологічна оцінка якості води Верхнього Удаю як основа для організації моніторингу екосистем національних природніх парків бассейну. *Заповідна справа*. 2016. № 1(22). С. 21–36.
16. Poletta G. L., Larriera A., Kleinsorge E., Mudry M. D. Genotoxicity of the herbicide formulation Roundup (glyphosate) in broadsnouted caiman (*Caiman latirostris*) evidenced by the Comet assay and the Micronucleus test. *Mutation Research: Genetic Toxicology and Evironmental Mutagenesis*. 2009. Vol. 672. Issue 2. P. 95–102.
17. Жиденко А.А., Бибчук Е.В., Мехед О.Б., Кривопиша В.В. Влияние гербицидов различной химической структуры на углеводный обмен в организме карпа. *Гидробиологический журнал*. 2009. Т. 45. № 3. С.70–81.
18. Мехед О.Б., Яковенко Б.В., Жиденко А.О. Вплив зенкору на вміст та активність ферментів глюконеогенезу у тканинах коропа лускатого (*Cyprinus carpio* L.) за різних температур. *Український біохімічний журнал*. 2009. Т. 76. № 3. С. 110–113
19. Романенко В.Д., Арсан В.О., Арсан О.М. Механізми генерування енергії в організмі коропа при адаптації до змін концентрації іонів міді і марганцю у водному середовищі. *Гідробіологічний журнал*. 2018. Т. 54. № 2. С. 105–118.
20. Бойко Н. М., Целевич М. В., Санагурський Д. І. Вплив іонів важких металів на активність Na+, K+-АТФ-ази та динаміку трансмембранного потенціалу зародків в'юна. *Вісник Львівського національного ун-ту. Серія: Біологія*. 2002. Вип. 29. С. 25–31.
21. Івашків Л.Я., Целевич М.В., Бойко Н.М., Санагурський Д.І. Дисперсійний аналіз впливу Cd2+, Zn2+ та Mn2+ на активність Na+, K+-АТФ-ази мембран зародків в'юна. *Український біохімічний журнал*. 2005. Т. 77. № 3. С. 44–48.

ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ

УДК 543.421/.424
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.6

МОНІТОРІНГ ВІДНОСНОГО ВМІСТУ НІТРАТІВ У ВОДАХ

Бойчун С.О.[1], **Мельніченко Д.С.**[2], **Таранов В.В.**[2]
[1]Науково-виробниче підприємство Ламбіт-Ентіс
пров. Лабораторний, 7, 03150, Київ
[2]Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
пр. Перемоги, 37, 01033, Київ
lambit@ukr.net

На сьогодні, отримання своєчасної інформації про перевищення допустимого значення забруднювачів у річках та озерах є необхідним завданням екологічного спостереженя. Результат довготривалих досліджень, надав можливість побудувати новий прилад, що використовує багатоканальну фотометричну схему з застосуванням сучасних потужних ультрафіолетових світлодіодів. Використання УФ випромінювачів з потужністю до 10 мВт в спектральному діапазоні 265–380 нм, та фотодіодів з чутливістю не менш як 0,1 А/Вт, дозволило отримати чутливість до нітрат-йонів вже на рівні 1 мг/л. Проведені досліди на лабораторних зразках, де основою була вода з артезіанської скважини, а в якості додаткових забруднювачів використано розчин нітрату натрію та сіру глину показали можливість визначення саме нітрат йону на рівні від 1 до 600 мг/л. Корреляційна обрабка не менш як 400 вимірювань на кожному з каналів надавала результати з відносною похибкою не більш як 2% від фактично введенної кількості нитратів. Наступний крок випробувань проведено на зразках води отриманих з річок та озер України. Попередня обробка проточної води складалася лише з фільтрації (1–5 мкм). Відносні результати вмісту нітрат іону було отримано на новому дослідному приладі в масштабі реального часу на протязі доби. Для перевірки результатів використовували відносні значення вмісту нітрат іону отримані на йонометрі (Н-201), а також лабораторними фотометричними методами за сертифікованими методикам. Отримані результати вже сьогодні спрямовані на побудову комплексного обладнання для відносного моніторінгу водного середовища, що дозволить формування обґрунтованих рекомендацій, реагування та визначення сценаріїв автоматизованих дій. Встановлення таких автоматичних систем спостереження надасть можливість своєчасно попередити забруднення водних ресурсів, можливість контролювати роботу очисних споруд, забезпечувати надання якісної води в магістральні трубопроводи. *Ключові слова:* моніторінг водного середовища, нітрати, обробка інформації.

Monitoring of the relative content of nitrates in waters. Boychun S., Melnichenko D., Taranov V.

An essential task of environmental monitoring is obtaining timely information on main pollutants as they exceed the permissible values in rivers and lakes. The results of long-term research has made it possible to build a new device that utilizes a multi-channel photometric circuit based on new generation of high-power ultraviolet LEDs. The use of modern UV emitters with a power of up to 10 mW in the spectral range of 265-380 nm, and photodiodes with a sensitivity of at least 0.1A / W, allowed to obtain a sensitivity to nitrate ions at the level of 1 mg/l. The initial evaluation was conducted on laboratory samples, composed of the artesian well water and sodium nitrate solution with gray clay used as an additional contaminant. The results demonstrated sensitivity to the nitrate ion at the levels of 1 to 600 mg /l. Correlation processing of at least 400 measurements on each of the channels provided results with a relative error within 2–3% compared to actually introduced amount of nitrates. The next set of the tests was performed on water samples obtained from rivers and lakes of Ukraine. Pre-treatment consisted only of mechanical filtration (1–5 μm). The relative levels of nitrate ion content were recorded on a new experimental device in real time during the day. The results of nitrate contamination obtained on the new device coincided with the relative values obtained with the ionometer (H-201) as well as by photometric method according to current certified methodologies.

Today the obtained results are aimed at the construction of new equipment for relative monitoring of the aquatic environment. The proposed complex would provide the solid base for environmental control, recommendations, response and determination of scenarios of automated actions. The installation of such automatic monitoring systems will provide the new opportunity to prevent pollution of water resources, the ability to control the operation of treatment facilities, to ensure the provision of quality water to main pipelines. *Key words:* expression-metry of the aquatic environment, analysis of measurement results in real time, nitrates, transmission of information via Internet channels.

Постановка проблеми. В умовах швидкого розвитку технологій збору, обробки даних, інтерактивний доступ до результатів метрологічних вимірювань суттєво покращує якість прийняття рішень. Автоматизувати їх шляхом глибокої інтеграції гарантовано релевантних показників безпосередньо в середовище реагування. Ключовими компонентами подібних взаємосумісних «розумних» систем є:

– безпосередньо метрологічне обладнання – датчики, котрі збирають дані, автономні мікро-машини нового покоління;

– стаціонарні лабораторні вимірювальні машини, що передають дані в цифрову мережу та відносяться до вживаного сьогодні класу IoT-пристроїв (від англ. Internet of Things – Інтернету речей).

Алгоритми обробки даних – гарантування об'єктивності роботи обладнання та їх верифікація для

сертифікації показників у вигляді доказів, перетворення отриманих параметрів у необхідні одиниці вимірювання для контролю. У випадку виявлення відхилення отриманих показників, саме для полегшення прийняття рішення – автоматично генеруються варіанти повернення системи до норми. Достатньо динамічною сферою в світі є (IoT), згідно з дослідженням Ericsson, в 2022 році в світі буде підключено 30 мільярдів пристроїв, з них IoT-пристроїв – 16 мільярдів і цей показник буде зростати на 24% щороку до 2025. При цьому різноманітні сенсори та датчики є основною частиною ринку IoT [1, 2].

Актуальність дослідження. Одним із головних ресурсів на землі, безумовно, є водне середовище. Саме завдяки своїм унікальним властивостям, вода відіграє основну роль практично у всіх процесах і явищах, які оточують нас у матеріальному світі. Значна кількість водоносних горизонтів сьогодні вже забруднена різними шкідливими для організму людини сполуками. Контроль фізико-хімічних параметрів у реальному часі породжує все більше нових технічних рішень для реалізації поставленого завдання. В останніх роботах ми вже провели дослідження в реальному часі окремих частинок у воді, кластерів в розмірному спектрі 0,5–100 мкм, що дозволило оцінити загальне забруднення нерозчиниими частинами, кластерний стан рідини [3]. На особливу увагу серед них заслуговують нітрати, які є постійними складовими природних вод. За вимогами «Санітарних правил по влаштуванню і утриманню криниць і каптажів джерел, використовуваних для децентралізованого господарсько-питного водопостачання» (№ 1226-75) вміст нітратів в колодязної та джерельній воді не повинно перевищувати 45 мг /л, в перерахунку на нітроген нітратів – 10 мг/л. Якщо ж концентрація нітрат-іонів у воді перевищує ці показники, то використання подібної води становить серйозну загрозу для здоров'я людини [4, 5]. При щоденному вживанні забрудненої нітратами води розвивається хронічна азотна інтоксикація. Шкідливими для здоров'я є не самі нітрати, а продукти їх відновлення – нітрити, що утворюються безпосередньо в організмі під впливом мікрофлори шлунково-кишкового тракту. Нітрити потрапляють у кров, де утворюють метгемоглобін – з'єднання, не здатне переносити кисень. Рівень метгемоглобіну >50% може бути смертельним. Більше того, нітрити можуть утворювати високотоксичні сполуки – нітрозаміни, що належать до канцерогенів прямої дії та вражають шлунково-кишковий тракт.

При визначенні нітратів використовують фотометричний, флуориметричний, потенціометричний, хемілюмінесцентний та інші методи. При аналізі каламутних та пофарбованих розчинів застосовують хемілюмінесцентний метод визначення нітратів та нітритів у водах за допомогою газової екстракції діоксиду азоту та детектування за світінням розчину люмінолу [6], межа якого становить 0,03 мг/дм^3, а непрямим методом утворення йоду –0,4 мг/дм^3. Метод заснований на комплексоутворенні за допомогою додаткових матеріалів с нітратом і подальшим вилученням отриманого комплексу з водного розчину мікро-кристалічним нафталіном. Без розведення або концентрування нітрат-іони можна визначити у діапазоні від 0,1 до 20 мг/дм^3. Даний метод вимагає, перш за все, тривалого часу на його реалізацію, а також має обмежений діапазон вимірюваних концентрацій, що не дозволяє його використовувати в реальному масштабі часу для контролю за природними водами. Розроблений безреагентний метод визначення нітратів у воді трихвильовою фотометрією в ультрафіолеті [7]. показав граничні можливості спектрометрії, виявляючи вже 1 мг/дм^3 нітратів у воді. Попередні експерементальні перевірки цього методу проведені нами на кюветах довжиною 5 и 10 см з використанням ламп на дейтерії та окремо взятих світлодіодів. Підготовка контрольних розчинів KNO_3 в лабораторії ІКХХВ НАУ та їх перевірка згідно методу наданому в роботі [7]. Дозволили провести серію експерементальних вимірювань з різними концентраціями. Використовуючі на той час найпотужніши світлодіоди в УФ площені довжину кювети доведено до 80 мм, а вимірювання, світла яке пройшло оцінювалось вже фотоприймачами, замість раніше застосованих фотопомножувачів. Починаючі з цього діапазону ми перейшли на іншу спектральну площину для визначення нітратів (див. рис. 1). Працюючі в спектральній площені 280–310 нм вперше досягли можливості оцінювати наявність домішок вже на рівні від 100 до 5 мГ/л Перші результати на іншому контурі поглинання для вимірювання для нітратів надані в роботі [8].

Мета роботи. Аналізуючи базу даних водопровідної води, спостерігаються різні тенденції забруднюючих речовин, наприклад там, де вже існують такі можливості, а саме в Міннесоті (США) виявлено 97, серед найбільш поширених забруднень у штаті виявлено *радій та нітрати*, їх ідентифікували у більш ніж 100 000 будинках. Сучасні апарати досить громіздкі та дорогі, щоб ставити їх як датчики та ще й в великій кількості. Продовження

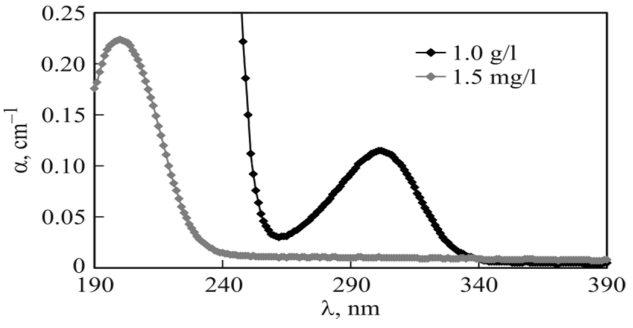


Рис. 1. Характеристика поглинання нітратів при двох різних концентраціях

досліджень та побудова малогабаритних датчиків, застосовуючи нову елементну базу надала результати саме для цієї роботи.

Мета нашої роботи полягала в тому, щоб розробити датчик на світлодіодах та напівпровідникових приймачах, повністю звільнившись від «важкого обладнання». Сучасна технологія дозволяє сьогодні застосовувати «LED» випромінювачі починаючі з довжени хвилі 265 нм, де реально отримати до 10 мВт потужності світла, спрямованого в довгу кювету (більш за 110 мм). Зважаючі що нас цікавить наявність саме великих концентрацій, більш як 4 мГ/л для дослідів вибрана спектральна площина від 265 до 390 нм [8]. Для побудови нового прилада за основу взято фотометричний метод, в основі якого лежить закон експоненційного зменшення інтенсивності світла при його проходженні в середовищі з товщиною X (Бугера-Ламберта-Бера): $I_I = I_0 \exp^{-\varepsilon\lambda x}$; де I – інтенсивність світла на глибині матеріалу, I_0 – інтенсивність світла на поверхні, – ε_λ – показник поглинання.

У нашому приладі використані саме три напівпровідникові світлодіоди, що працюють в діапазоні 265–360 нм. Кожний охоплює в цьому діапазоні ширину лінії не більше як 4–5 нм на рівні 0,7 в трьох окремих спектральних площинах. Для прийому випромінення, яке пройшло довгу кювету використано три чутливих в УФ площені фотоприймача. Попередні результати роботи для кількісного аналізу нітратів наведені в роботах [9, 10], знайдені калібровочні залежності, Данні для оцінки нітрат-іона, отримувалися тільки статично, кожного разу змінюючі водне середовище в кюветі.

Виклад основного матеріалу. В цій роботі відображені *перші експериментальні* результати трьохканального вимірювання через проточні кювети з довжиною l_x до 110 мм, які в 3 рази довші за лабораторні, що також згідно закону Бугера-Ламберта-Бера надовало перевагу в чутливості до 20 разів. Враховуючі закон поглинання рідини, де значення оптичної щільності – C_x досліджуваного розчину дорівнює: $A_x = \varepsilon_\lambda C_x$. Значення оптичної щільності стандартного розчину – $C_{ст}$, дорівнює: $A_{ст} = \varepsilon_\lambda C_{ст} l_{ст}$. Розділивши одне значення на інше одержимо(був інший шрифт):

$$A_x/A_{ст} = \varepsilon_\lambda C_x l_x/(\varepsilon_\lambda C_{ст} l_{ст})$$

Так як $l_x = l_{ст}$, ε_λ = const, то $C_x = C_{ст} A_x/A_{ст}$. Метод порівняння застосовуємо багатократно при при кожному вимірюванні на одній довжині хвилі не менш як 400 разів, відокремлюючі результати які значно менші, та більші на 50% від середніх значень. Для автоматичної обробки великої кількості результатів вимірювання розроблено програмне забезпечення, що дозволило виконувати одначасно й реєстрацію результатів, та вивод реальної інформації на екран монітора. Алгоритм програмного забезпечення зображено на рис. 2. Саме розробка та налагодженн програми дозволили проводити вилику кількість вимірювань (не менш як 400–800) за час не більше як 1–2 с, обробляти результати– знаходяче фактичне значення домішків нітратів. Окрема робота зроблена для фактичного відображеня результатів, їх порівняння та надання висновків про стан водного середовища.

Попередня робота була направлена саме на колібровку 3-канального датчика для оцінки вмісту нітратів у проточному водному середовищі. Після визначення всіх коєфіцієнтів поглинання характерних саме для розчину нітратів згідно спектральних характеристик та оптимізації алгоритму обробки були погоджені коефіцієнти перетворення оптичних втрат в кожному з трьох каналів. Для досягнення відповідної оцінки стану нітрат-іонів результати порівнювалися з додатковимі вимірюваннями за додатковими методиками. Поступове збільшення концентрації введеного розчину NaNO3, на 3 мГ/л – наведено на рис. 3.

Кількість іонів NO_3, зображено пунктіром, а результат вимірювання після програмної обробки – на графіку зображено безперервно.

Сучасна елементна база, а саме потужні УФ випромінювачі з потужністю 8–12 мВт в імпульсі та достньо чутливі фотоприймачі (0,1 А/Вт) дозволили підійти до конструювання та виготовлення 3-х та 4-х канальних датчиків, що працюють в масштабі реального часу. Довжина вимірювального каналу зі зміною водного середовища досягає 110 мм, що надало можливість відчувати зміни вже на рівні від 1 мГ/л. Наявність контрольного каналу, відповідального за наявність зміни прозорості на 300 одиниць, для чого додатково вводили розчин сірої глини, що дозволило проводити вимірювання нітрат-іонів до 400 мГ/л. Саме в цьому напрямку проведені перші виміри забруднення вод з різних джерел, що надало можливість *простежити історію забруднення в часі*, визначити якість та кількість забруднюючих речовин в акваторії за певний період, що виникли у воді та є наслідком забруднення вод.

Наступним кроком було напрацювання методів компенсації мутності водного середовища. Згідно методичних рекомендацій, ми застосували розчин сірої глини, яку поступово вводили в водне середовище разом з домішками нітратів. На рис. 4 (а) наведено приклад результатів вимірювання по трьом каналам, починаючі з часу 14:50 – вводимо розчин сірої глини, на її дію особливо реагують усі три канали, що врховується під час обробки, графіку (series 2) – це поведінка опорного каналу під час введеня сірої глини та розчину нітратів, – (series 3) поведінка основного вимірювального, (series 4) – додаткового вимірювального, а починаючі з часу 15:41 – поступово вводемо розчин нітратів. Враховуючі значення трьох каналів на рис. 4 (б) наведено результат розрахунку нітратів у водному середовищі, незначна зміна нітратів повязана з відповідними протоками через вимірювальні канали. При збільшенні часу

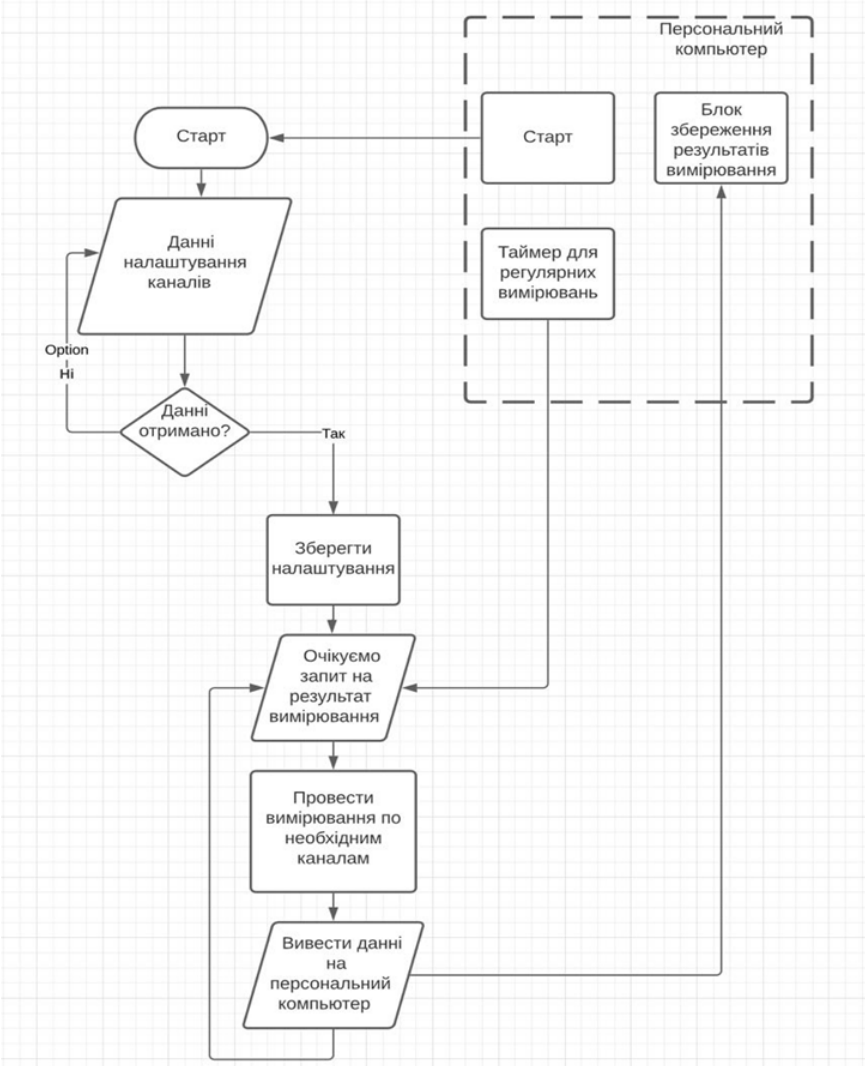


Рис. 2. Наведено алгоритм програмної обробки результатів вимірювання та винесення на екран монітора в реальному часі

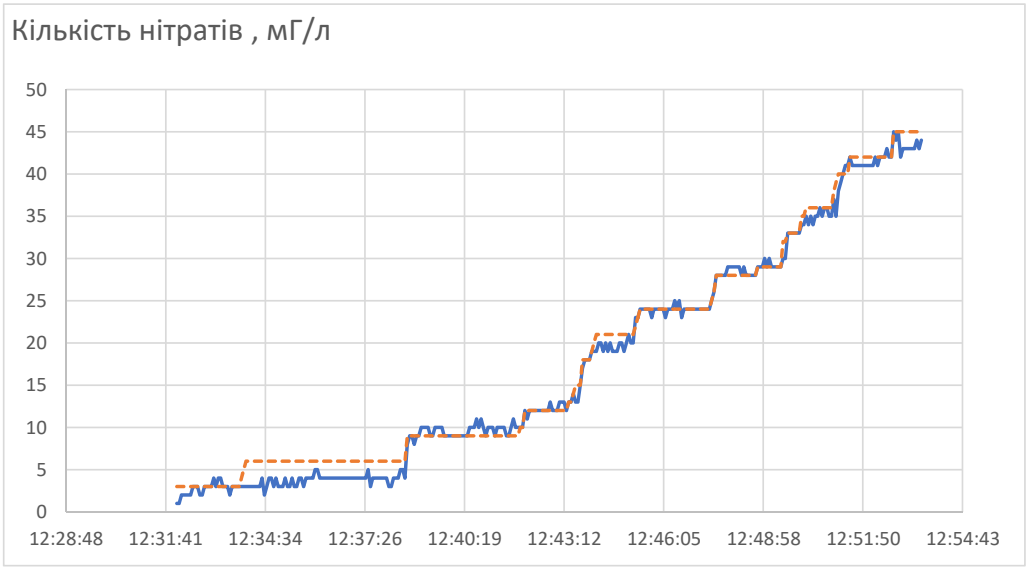
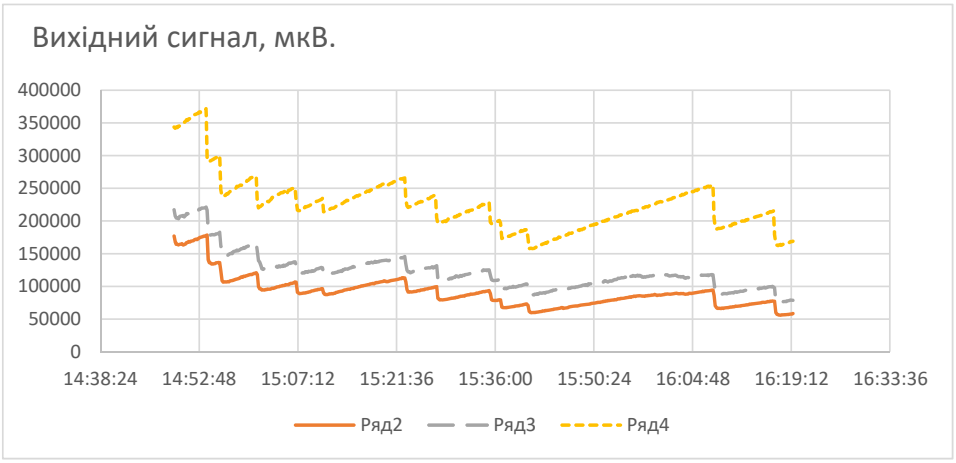
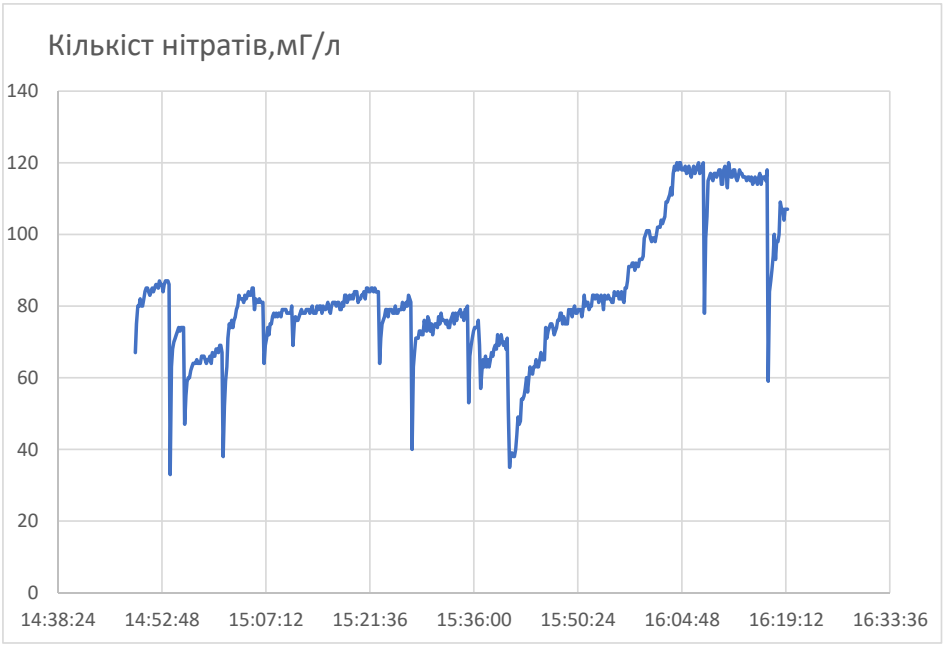


Рис. 3. Стан водного розчину при поступовому введенні нітратів по 3 мГ/л (графік пунктір) та результат обробки водного розчину (графік-безперервна) на протязі 20 хвилин



а)



б)

Рис. 4. Наведено вихідний сигнал на кожному з трьох каналів при проходжені світла водного розчину при поступовому введенні сірої глини та $NaNO_3$ в емність з водою до 1 літра (а) та результат обробки (б) на протязі 60 хвилини

між кожним вимірюванням, як буде показано надалі, ці похибки компенсуються.

Останній приклад стану водного середовища на протязі 60-ти хвилин свідчить, що при додаванні в розчин сірої глини, починаючі з часу в 15:52, прозорость в опорному каналі змінювалась більш як на 50%, а наявність $NaNO_3$ знаходилась в стані приблизно 80 мГ/л. Подальше додавання розчину нітратів в кількості 40 мг/л з –15:50 – привело до підвищення концентрації до 120 мГ/л в –16:04. Результати, отримані в на реальних умовах вже передаються через існуючі інтернет-канали для подальшого аналізу. Прийняття рішення та розробка належних сценаріїв реагування призводить до численних ускладнень використання професійних метрологічних даних фахівцями з інших індустрій. Ризики помилок у реагуванні, можуть спричинити зміни технологічного процесу, зміну якості матеріалів, небажані ситуації після зміни хімічного стану води. Подальший аналіз та адаптація результатів дозволить операторам державних та корпоративних моніторингових систем отримувати готові рішення на основі заздалегідь розроблених алгоритмів, що буде знижувати фактор людських помилок, інтегрувати метрологічні дані до процесів прийняття рішень. В один момент після отримання даних з віддаленого метрологічного обладнання можливо забезпечити оптимальне реагування на потенційні ризики, або ж повністю їх усунути без втручання людини. Для побудови такої взаємопов'язаної та взаємосумісної автоматизованої макро-системи пропонується використання мікро-машинної метрологічної моделі (мММ), наведена на рис. 5 та складається з 3-х компонентів:

1. *Множина засобів метрології* води, атмосфери, машин та мікро-машин, що поєднані через протоколи один з одним, функціонують на базі

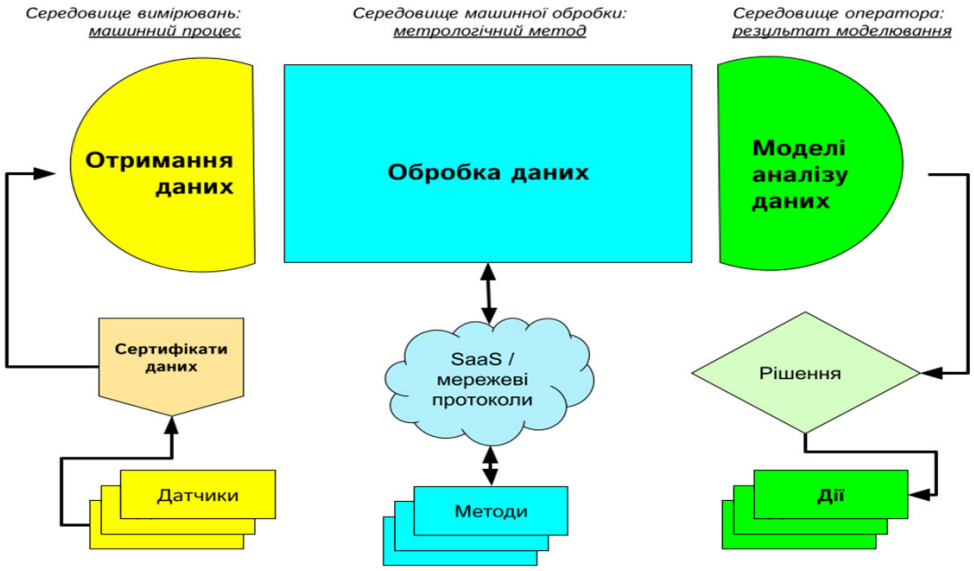


Рис. 5. Схема машинно-метрологічної моделі

IoT-архітектури та мають підтверджений цифровий сертифікат з інформацією про те, як робилось вимірювання, які засоби використовувались, які методи можуть бути застосовані, для вимірювань та передані для подальшої обробки;

2. *Множина метрологічних методів аналізу* та обробки результатів у відповідності з системою мір SI, котрі фіксують науково-обгрунтований результат досліджень у відповідності до стандартів та законів метрології;

3. *Множина моделей реагування на події* у відповідності до бази даних еталонів, переліку загроз, алгоритмів знаходження необхідних хімічних елементів чи сполук, промислове застосування на виробництвах, широкий спектр питань безпеки тощо.

Ключовими результатами впровадження моделі є:

1. Суттєве підвищення умінь операторів за рахунок автоматизованих моделей прогнозування та аналізу.

2. Забезпечення єдності методів та засобів вимірювання.

3. Пряма інтеграція даних в системи прийняття рішень без ризику людської помилки.

В якості середньострокової та довгострокової перспективи важливо розглянути промислову індустрію виробництва продуктів масового та спеціалізованого характеру, адже з моменту впровадження концепції IoT, більш ніж два десятиліття тому, було реалізовано багато покращень у різних комерційних чи соціальних сферах. Немає сумнівів, що точні параметри в процесах виготовлення продукції, обробка великих даних різних етапів виробництва, збір профілів поведінки споживачів, підвищує ефективність виробництва, скорочує час випуску продукції на ринок та зменшує експлуатаційні витрати. На виробництві цей новий підхід, який використовує розумні пристрої та інтелектуальні датчики на основі IoT, називається Промисловий Інтернет речей (Industrial IoT – IIoT). Основні світові компанії з різних секторів, таких як: виробництво, автомобільна промисловість, гірничодобувна промисловість та авіація, користуються перевагами парадигми IIoT. Супутні технології також надають можливості для калібрувальних задач, забезпечуючи синхронізацію й обмін даними між метрологічними пристроями в різноманітних умовах та середовищах [11]. У свою чергу, світ IIoT має бути забезпечений точною та своєчасною інформацією про калібрування, для підвищення ефективності процесів. Наявність багатьох чутливих вимірювальних приладів у споживачів формує потребу калібрування сертифікованими експертами і може бути спрощена за допомогою мережевих та автоматизованих рішень. Це стає можливим завдяки аналізу та порівнянню даних в режимі реального часу за допомогою спеціалізованих інформаційних систем, а також використанню нового підходу до обчислення великих даних за допомогою нейромереж.

Після програмної обробки з урахуванням додаткового каналу, що оцінює прозорий стан водного середовища, отримали рекордний, на сьогодні, результат вимірювання нітрат-іонів до 600 мГ/л. На рис. 6 надано графік зміни, де поступово збільшували концентрацію розчину $NaNO_3$ у воді (де саме у NO_3 належить 73%), а час вимірювання та відображення на екрані монітора був не більш як 2 с. Тобто, реалізовано метод вимірювання стану водного середовища в масштабі реального часу. Звісно такі вимоги важливі саме для слідкування за технологічними процесами як в промисловості, так і в потужних системах очистки, де розрахунок йде на кубометри за хвилини може знадобитися час вимірювання не більш, як 10 сек. В реальних водах для аналізу саме стану малих річок – час може буде збільшений

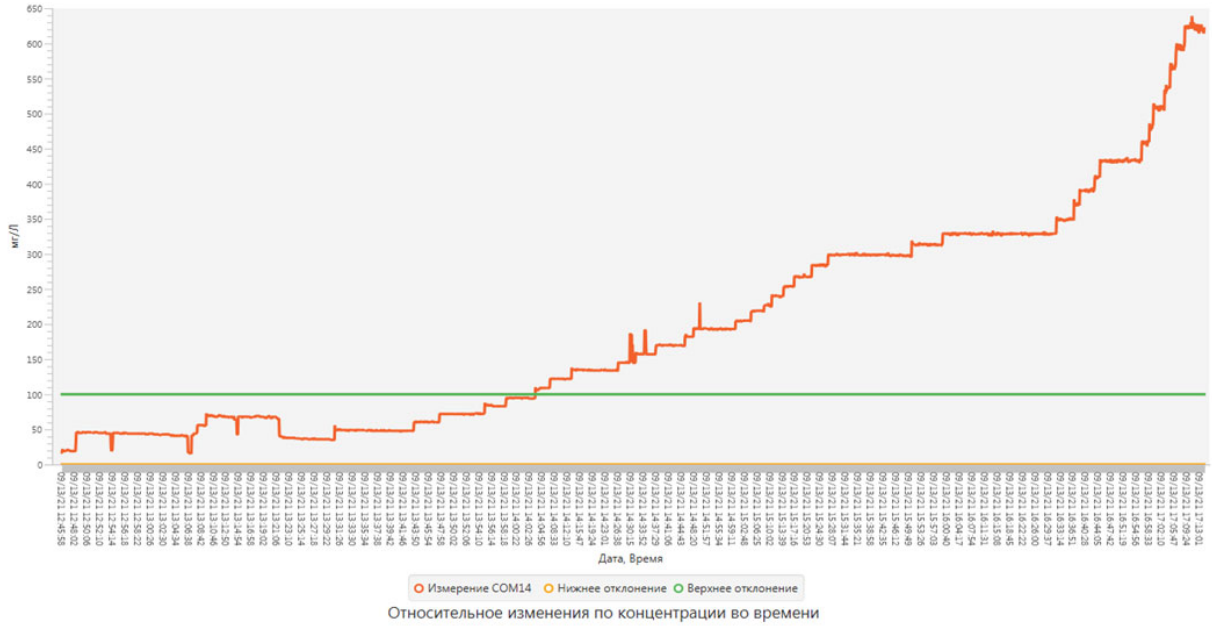


Рис. 6. Реально досягнутий результат при зміні концентрації нітрат-іонів у водному середовищі до 600мг/л, при вимірюванні на протязі 4 годин

до 10–20 хв на кожне вимірювання, що підвищить якість моніторінгу. Саме контроль за водами, які несуть домішки в реальному часі – це шлях до підтримки водного середовища у нормальному стані.

Програмне забезпечення дозволяє в реальному часі не тільки слідкувати за зміною хімічного стану водного середовища, а наводити його інтегральну оцінку та надавати інформацію на монітор оператора, оцінюючи реальний стан, подаючі одночасно сигнал на віддалений компьютер. На рис. 7 наведено результат аналіза води за допомогою умовної позначки, наприклад «зелена», відповідає за задовільний стан

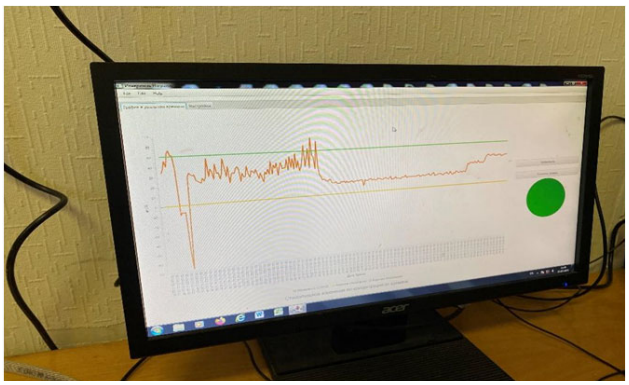


Рис. 7. Реальне зображення контрольного монітора з сигнальними позначками, відповідальними за технологічний контроль водного середовища

водного середовища в цей час. При збільшенні забруднення за допустимий розмір, наприклад для домішків нітратів це 40 мГ/л, змінюється колір на червоний та подається звуковий сигнал.

Головні висновки. В роботі надані перші експеременталні результати по виявленю домішків нітратів за допомогою багатоканального проточного оптичного датчика. Встановлення потужних світлодіодів, з випромінюванням, яке дозволило надати кількісну оцінку нітрат-іона при проходженні довгої кювети. Програмна обробка на 3-х різних спектральних лініях надало можливість врахувати додаткові домішки й покращити достовірність результатів вимірювання. Дослідна конструкція з розташуванням випромінювачів та приймачів в металевих корпусах, які введені в корпус кювети та робота кожного з каналів у різний час дозволила працювати вже на протязі багатьох днів, отримуючі достовірний моніторінг стану водного середовища.

Виготовлення та встановлення серії датчиків в різних місцях, наприклад у притоках вод Дніпровського басейну, дозволить слідкувати за станом та визначати зміну NO_3 у воді, зберегти її та передавати інформацію на віддалений компьютер. Приклад розроблення та виготовлення датчиків: їх випробування вже поширюється на інші хімічні сполуки, надаючи таким чином картину саме тих малих річок які несуть забруднення.

Література

1. Iot sensor market-growth,trends-COVID-19 Impakt.AND Forecasts (2021–2026) / Mordor Intelligence. URL: https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/iot-sensor-market (дата звернення: 1.07.2022).
2. Mahdi Saeedi Nikoo, M. Cagri Kaya, Schwartz, Michael L., Oguztuzun, Halit. Internet of Measurement Things: Toward an Architectural Framework for the Calibration Industry: навч. посібник. Кам (Німеччина): Springer, 2019. С. 81–102.

3. Таранов В.В. Розмірний спектр мікрогених структур як фізико-хімічний стан рідинної системи. *Вісник ХНТУ* № 3(66). Вип. 2, Херсон. 2018. С. 93–101.
4. ДСТУ 7525:2014. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. Київ, 2014. 26 с. Мінекономрозвитку України.
5. Гончарук В.В. Наука о воде : монографія. Київ : Наукова думка, 2010. 512 с.
6. ДСТУ 4078-2001 (ISO 7890-3:1998, MOD). Якість води. Визначання нітрату. Ч. 3. Спектрометричний метод із застосуванням сульфосаліцилової кислоти, 1998. 12 с. Введ. 01.01.2003.
7. Калиниченко И.Е., Демуцкая Л.Н. Определение нитратов в питьевой воде методом трехволновой фотометрии в ультрафиолете. *Журнал аналитической химии*. 2004. Т. 59, № 3. С. 240.
8. Таранов В.В, А. Курлянцева А.Ю. Оптический метод определения концентрации нитратов в воде. *Вісник Львівського університету*. Серія хімічна. 2016. Випуск 57. Ч. 1. С. 226–231.
9. Пристрій для фотометричного визначення нітратів у водних розчинах. пат. № 116728 Україна: МПК G01N 33/18, G01N 21/25, G01N 21/33, G01N 21/25 ; заяв. 26.10.2015, опубл. 12.06.2017, бюл. № 11, 12 с.
10. Салівон О.Ю., Зубчук В.І.,Тарано В.В. Пристрій для експре-метрії нітратів у воді. *Біомедична інженерія і технологія*. 2018, № 1, С. 5–10.
11. Kaya M.C., Nikoo M.S., Schwartz M.L. Internet of measurement things architecture: Proof of concept with scope of accreditation. Oguztuzun, H. Sensors Switzerland. 2020. Vol. 20. № 2. P. 1–3.

УДК 330.15:528.9:004:94
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.7

ЕКОЛОГІЧНІ ВИКЛИКИ ВОЄННОГО ЧАСУ: ОЦІНКА ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ КОСМІЧНИМИ СИСТЕМАМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ТА GPS-НАВІГАЦІЇ

Бондар О.І., Фінін Г.С., Шевченко Р.Ю.
Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ
mapjar@ukr.net

Досліджені питання щодо застосування матеріалів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) для оцінки накопичених екологічних збитків територій внаслідок російсько-української війни. Доведено, що за допомогою аерокосмічних знімків можна ефективно відстежувати та оцінювати патогенний вплив на довкілля, наслідки руйнації господарської діяльності у видобувній, гірничодобувній, збагачувальній, обробній та інших галузях промисловості; визначати кількісні та якісні показники забруднень та розміщення бойових (ракетних) відходів. Визначені особливості методів дистанційного зондування Землі, дешифрування, що використовуються для ідентифікації нафтового забруднення, шляхів стоку забруднених вод, водних об'єктів – берегових ліній та русл, згарищ та вирубок (ступеня їх відновлення), аварійного стану лінійних та майданових об'єктів, небезпечних геоморфологічних процесів, підтоплення доріг, заболочувань, викликаних ракетними ударами та масштабними бойовими діями.

Розглянуто геоінформаційне моделювання та управління в забезпеченні ефективної та обґрунтованої управлінської діяльності у сфері екологічної безпеки під час надзвичайної ситуації воєнного характеру за інтенсивного застосування БПЛА/ДЗЗ-даних. Зазначена актуальність застосування технологій космосфери (ближнього космосу) для документування екологічних злочинів окупаційними російськими військами та подальшого планування ревіталізації (рекультивації) природоохоронних територій, знищених або частково видозмінених внаслідок будівництва земляних фортифікаційних споруд.

Здійснено аналіз сучасної нормативної термінології екологічного геоінформаційного картографування під час бойових дій. За його результатами запропоновано поняття природно-ресурсної геоінформаційної моделі інтерпретації даних ДЗЗ окупованої території. Охарактеризовані її властивості та основні структурні елементи. Підкреслено значення ДЗЗ для природно-ресурсної геоінформаційної моделі як інструмента екологічного моніторингу екологічних ризиків та викликів, а також інтеграції різнорідних ДЗЗ та геодезичних даних про трансформовані війною природні ресурси України.

Наведені розрахунки вартості даних дистанційного зондування Землі (аерофото та космічні знімки), що застосовуються в екологічному моніторингу військових дій. Зроблено висновок щодо доцільності застосування обох типів знімків для визначення локалізації об'єктів накопиченої екологічної шкоди, завданих війною. Зазначено, що для масштабних досліджень (у ціновому вимірі під час калькуляційних розрахунків бізнес-плану), застосування аерофотознімків може бути ефективнішим за рентабельністю. *Ключові слова:* екологічні ризики та виклики, спеціалізована ГІС, спеціалізована аерофотозйомка, космічна зйомка, дистанційне зондування в цілях моніторингу, накопичені екологічні збитки, дешифрування, оцінка сучасного стану довкілля, природно-ресурсна геоінформаційна модель, репарації.

Environmental challenges of wartime: environmental impact assessment by Space Remote Sensing Systems and GPS-navigation. Bondar O., Finin G., Shevchenko R.

The study is devoted to the use of Earth remote sensing (remote sensing) materials to assess the accumulated environmental damage of territories due to the russian-Ukrainian war. It is proved that with the help of aerospace images it is possible to effectively detect and assess the pathogenic impact on the environment, the destruction of economic activity in the mining, mining, concentrating and manufacturing industries; identify quantitative and qualitative indicators of pollution and disposal of combat (missile) waste. There are also special methods of remote sensing of the Earth, decryption, which are used to identify oil pollution, contaminated water runoff, pollution of water bodies – shorelines and channels, fires and felling (degree of recovery), the emergency state of linear and area objects, dangerous geomorphological processes, flooding of roads, waterlogging caused by missile strikes or large-scale hostilities.

The role of geoinformation modeling and management in ensuring effective and sound management activities in the field of environmental security during a military emergency with intensive use of UAVs / remote sensing data is considered. The relevance of the use of space technology (Middle Space) for documenting environmental crimes by the russian occupation forces and further planning of revitalization (reclamation) of protected areas, which are destroyed or partially transformed due to the construction of earthen fortifications.

A summary of the analysis of modern normative terminology of ecological geoinformation mapping during hostilities is given. Based on the results of the analysis, the concept of natural resource geoinformation model of interpretation of remote sensing data of the occupied territory is proposed. Its properties and basic structural elements are characterized. The importance of remote sensing for the natural resource geoinformation model as a tool for environmental monitoring of environmental risks and challenges, as well as the integration of disparate remote sensing and geodetic data on war-transformed natural resources of Ukraine is emphasized.

The article presents calculations of the cost of remote sensing data of the Earth (aerial and space images), which are used in environmental monitoring of hostilities. The conclusion is made about the expediency of using both types of images to determine the location of the objects of accumulated environmental damage caused by the war. However, for large-scale research, in terms of price in the calculation of the business plan, the use of aerial photographs may be better in terms of profitability.

Key words: environmental risks and challenges, specialized GIS, specialized aerial photography, space photography, remote sensing for monitoring purposes, accumulated environmental damage, decryption, assessment of the current state of the environment, natural resource geoinformation model, reparations.

Постановка проблеми. Розвиток та вдосконалення ГІС/ДЗЗ-технологій значно розширює можливості отримання просторової інформації, особливо під час надзвичайної ситуації воєнного характеру. Її цінність полягає в отриманні точної координатної прив'язки об'єктів в системі «воєнний об'єкт – військова технологія – вплив на довкілля».

Активна фаза російсько-української війни, що почалася 24 лютого 2022 р. призвела до формування нового науково-технічного напрямку досліджень – геоінформаційного моделювання та управління екологічними викликами воєнного часу. Це дозволяє вивчати та аналізувати зміст та взаємозв'язки різних складових ландшафтного простору, явищ в екосистемах, що виникають під впливом бойових дій шляхом укладання багатошарових (мультитематичних) цифрових картографічних моделей, що можуть бути реалізовані як у двомірному, так й у трьох- та багатомірному представленні (візуалізації). Базовою інформаційною основою відповідної серії тематичних карт є матеріали БПЛА та космічної зйомки.

Актуальність дослідження. Під час проведення інженерно-екологічних досліджень для оцінки сучасного стану довкілля, що зазнає патогенного впливу внаслідок бойових дій приділяється увага, зокрема, питанням відходів від активних ракетних обстрілів, польових наступальних операцій та, як наслідок, питанням накопичення екологічних збитків.

Екологічні збитки (шкода) внаслідок бойових дій – негативні наслідки військово-технічного втручання, що викликає забруднення довкілля, втрату та виснаження природних ресурсів, руйнуванням екосистем, що створюють реальну загрозу для здоров'я людини, рослинного та тваринного світу, а також для матеріальних цінностей нації.

Дані про бойові відходи можуть бути потрібні при прийнятті управлінських рішень, наприклад, при відновленні житлових об'єктів та оцінки стану зруйнованого підприємства або території у межах реалізації екологічного аудиту. Крім інформаційної функції, наприклад, про факт наявності забруднення, подібні матеріали можуть бути впроваджені в моделі систем підтримки прийняття управлінських рішень, у тому числі за допомогою когнітивного ГІС-моделювання.

Геоінформаційне управління та моделювання екологічних викликів воєнного стану виступає як міцний інструмент для розв'язання різноманітних адміністративних завдань у сфері планування еколого-безпечної роботи різних галузей національної економіки під час війни. Ефективним прикладом цього є робота Світлодарської ТЕЦ, яка безпечно працювала, як стратегічний об'єкт критичної інфраструктури під час важких боїв протягом 2014–2015 рр.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Всі наукові дослідження та програми вишукування у галузі оцінки впливу на довкілля під час бойових дій, а також визначення територіальних особливостей екологічних викликів воєнного часу картографічними методами дослідження регламентуються Указом Президента України № 64/2022 «Про запровадження військового стану на території України», Законами України та нормативно-правовими актами відповідних галузевих міністерств, а також директивами центральних органів виконавчої влади. Для виконання відповідного дослідження були проаналізовані розпорядчі акти Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів, Державного космічного агентства України та Національного центру управління та випробування космічних засобів у контексті застосування ДЗЗ-систем для потреб звільнення території України від російських загарбників та запровадження системного аерокосмічного моніторингу за станом природних ресурсів засобами ГІС-технологій [https://www.kmu.gov.ua/news/mindovkillya-ukrayina-otrimaye-dostup-do-yevropejskih-program-life-ta-copernicus].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Сучасні державні та галузеві стандарти, що регламентують фотограмметричні, геодезичні та картографічні роботи не спрацьовують під час надзвичайної ситуації воєнного характеру. Вони не містять чіткого та однозначного визначення роботи ДЗЗ-копонентів в екологічних ГІС під час реалізації екологічного моніторингу в умовах війни. В них сформульовані тільки поняття просторової моделі місцевості, трансформованого під впливом природного та антропогенного впливу. В них відсутня військова складова впливу надзвичайної ситуації воєнного характеру на стан довкілля. Деякі аспекти застосування ДЗЗ у складанні екологічних ГІС під час війни виявлені в працях військових екологів: проф. А.П. Карпика, Л.М. Залісного та Я. Правди [9].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячена означена стаття. Не достатньо досліджено питання щодо доцільності та доступності застосування даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) для оцінки накопиченого збитків під час надзвичайного стану воєнного характеру (війни). Постає необхідність процедури допроєктних вишукувань, що передує геоінформаційному моделюванню – розроблення алгоритму управління аерокосмічними базами даних, як основи природно-ресурсної геоінформаційної моделі визначення екологічних ризиків на окупованих та звільнених територіях України. Розробка зосереджувальної когнітивної моделі

ДЗЗ-даних передбачатиме просторово розподілені дані про обсяги отруйних речовин, що потрапляють до геосфер від бойових машин, використанні природних ресурсів окупантом, стан водних, земельних, мінеральних, рослинних та фауністичних ресурсах. Це формує геоінформаційний базис для аналізу та оцінки сучасного мілітарного та постмілітарного стану природних ресурсів, планування їх перспективного використання.

Новизна. У сучасних умовах військового стану на всій території України, початок якого можна вважати 20 квітня 2014 р. з моменту оголошення Антитерористичної операції в окремих районах Донецької та Луганської області, спостерігається патогенний вплив конфлікту на стан природних ресурсів, посилення факторів його забруднення та навіть дефіциту. Наприклад, можна констатувати факт зникнення з роздрібної торгівлі міст України побутової солі (місце видобутку місто Соледар).

Застосування наземних та навколоземних методів дистанційного зондування Землі в оцінці екологічних викликів збройного конфлікту зараз постає як одна із найбільш актуальних сфер використання геоінформаційного моделювання на основі аерокосмічних баз просторових даних. Кінцевою метою якої є ревіталізаційне планування відновлення раціонального ресурсо- та природокористування та управління природними ресурсами на звільнених територій, моніторинг екологічних злочинів на окупованих природно-територіальних комплексах, вишукування економічних та ефективних методів використання природно-ресурсного потенціалу для потреб подальшого відновлення конкурентоздатності України в умовах глобальної світової кризи, спричиненої російсько-українською війною.

Методологічне або загальнонаукове значення. Впровадження ГІС/ДЗЗ-моделювання у повсякденну практику управлінської діяльності у сфері екологічної безпеки під час війни, яка має тенденції до затягування та перетворення тактики дій воюючих сторін до «окопного» конфлікту, значно підвищує обґрунтованість екологічних рішень, що оперативно приймаються. При цьому планування, наприклад, природозахисних заходів, можливе під час форс-мажорних обставин за рахунок використання більш широких та сучасних масивів вихідних ДЗЗ-даних та ГІС-аналізу перспективних наслідків проектних рішень.

Виклад основного матеріалу. Під час гібридної війни, її активної фази, дані ДЗЗ все частіше є джерелом інформації про місця розміщення бойових відходів (збитих літаків та крилатих ракет, підбитих самохідних гаубиць та танків, локалізація та розташування мінних полів тощо). Застосування дистанційного зондування Землі здійснюється у практичній діяльності Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів у належному масштабі. З усього різноманіття даних ДЗЗ під час проведення робіт для оцінки впливу на довкілля внаслідок воєнних дій, переважно, застосовуються аеро- (БПЛА) та космічні знімки [4].

Моніторинговою (розвідувальною) аерофотозйомкою називається вид спеціалізованої зйомки, що проводиться з літальних апаратів – літаків, гелікоптерів, БПЛА. Стеля висоти знімання визначається від сотень метрів до десятків кілометрів. Особливості розвідувальної БПЛА-зйомки полягають у наступному [9]:

– фотографування бойової техніки, в тому числі знищеної ворожої, проводиться у польоті із автоматизованою документальною телевізійною онлайн-зйомкою;

– знімки зазвичай мають невелике відхилення від надира, що пов'язано із постійним механізмом інтелектуального уникненням від потрапляння снаряду протиповітряної оборони противника;

– зйомкою покривається значна ділянка місцевості без «мертвих зон» деяким накладанням знімків один на одного для подальшого монтажу фотосхеми без збереження подовжнього та поперечного перекриття, яке застосовується в цивільних інженерно-фотограмметричних зніманнях.

У зв'язку з цим для БПЛА-зйомки наслідків впливу бойових дій на довкілля необхідні спеціальні фотоапарати – сенсорні аерофотоапарати із модулем геоінтелектуальної прив'язки до державної геодезичної мережі. Це забезпечуватиме здатність компенсувати зсув зображення та забезпечити достатню для дешифрування різкість цифрового знімку, а також це потрібне для реалізації технологічного функціонування спеціальних пристроїв, які забезпечують строго горизонтальне положення БПЛА у процесі фотографування [2]. Цифрові сенсорні фотокамери зазвичай застосовуються з борту легких літаків (RV-7, Tecnam p2002, X та ін.), обладнаних модульним фотолюком та ресорною стерео аерофотоапаратурою [1].

Широкоформатні аерофотознімки військової тематики – високоінформативні дистанційні матеріали. За їх допомогою можна отримати достовірну інформацію про трансформацію рельєфу та геоморфологічні процеси, зміни у рослинному покриві, гідрографії, техногенних порушеннях території внаслідок активної фази бойових дій в онлайн режимі. При автоматизованій обробці стереопари аерофотознімків за допомогою спеціальних оптичних пристроїв для отримання об'ємного зображення можна оцінювати глибину траншейних занурень танкових частин противника або висоту деревостою, що використовується, як маскувальні чинники. Паралельно також фіксуються зміни біогеоценозів та знищення біоти. Відповідна технологія БПЛА-аерофотозйомки є надійною основою екологічного геоінформаційного картографування районів бойових дій. Як будь-яке геофотографічне зображення, такий БПЛА-аерофотознімок має дуже високу достовірність, проте вимагає актуалізації щодня або навіть щогодини. Це пов'язано із швидкоплинністю змін

довкілля під час активної фази війни із застосування калібрувальної артилерії.

За неможливості проведення або отримання готової цифрової аерофотозйомки на територію для якої проводиться моніторинг екологічних наслідків бойових дій, вдаються до аерофотозйомки з аерокосмічних лабораторій (метеорологічних повітряних куль-зондів) із GPS/GSM-трекерами та цифровою фотокамерою високої роздільної здатності [11]. Подібною зйомкою можливо покрити локальні території – ключові (типові) ділянки фонових територій, рідкісні спільноти або об'єкти, техногенно-порушені ділянки (точкові та лінійні).

Спеціальна топографо-екологічна зйомка виконується БПЛА з фіксованої висоти (оптимально в діапазоні 300–400 м) наскільки можна суворо вертикально. Вертикальність положення камери можна перевіряти за допомогою прикріпленого до неї гірокомпасу або геодезичного рівня. Подібна зйомка та її функціональна складова повинна перевищувати точність технічних показників цивільної професійної цифрової фотограмметричної зйомки у рази. Знімки, отримані в такий спосіб, вважаються панорамними, оскільки вручну неможливо забезпечити строго горизонтальне положення камери. В більшості випадків за такими знімками автоматично точно визначається масштаб зйомки [10]. Вона може визначатися в залежності від висоти за допомогою технології супутникової альтиметрії. Найзручніше це реалізовується при дешифруванні результатів зйомки об'єктів критичної інфраструктури з відомими розмірами, як правило, за другорядними геотопологічними ознаками, наприклад, природними та техногенними локаціями – балкам, скупченням бойових машин (рис. 1). На рис. 2 показаний знімок палаючого складу ПММ в аеропорту м. Гостомель (Київська область).



Рис. 1. Зруйнований міст через р. Ірпінь (1) та скупчення бойової техніки окупантів (2). (Знімок Махаг, березень 2022 р.)



Рис. 2. Палають склади палива аеродрому Гостомель (Київська область). (Знімок Махаг, березень 2022 р.)

Космічні технології знімання Maxar або технології Космосфери (Ближнього космосу) – це результат зйомки із військових розвідувальних супутників Землі. Науково-дослідницькі сателіти для відповідних цілей є малофункціональними. Військово-розвідувальні супутники є одним з головних джерел геоінформації про територію під час бойових дій і застосовуються також для вивчення виснаження природних ресурсів, вирішення безлічі завдань топографічного та еколого-природоохоронного картографування, а також моніторингу навколишнього середовища в контексті оцінки впливу на довкілля внаслідок бойових дій.

Космічні знімки, що використовуються у військово-екологічному моніторингу (оцінці впливу на довкілля, локалізація джерел екологічних ризиків та ареали впливу екологічних викликів) відрізняються за:

– спектральним діапазоном знімків: оптичної, інфрачервоної, радіолокаційної складової зйомки;

– просторовою роздільною здатністю: від верхнього рівня (менше 1 м) до низького дозволу (більше 1 км);

– набором та кількості спектральних діапазонів, у яких ведеться зйомка: одноканальна (панхроматична), мультиспектральна (зйомка в кількох діапазонах), гіперспектральна (больше сотні діапазонів).

Від типу зйомки залежить кількість та якість отриманої просторової топографо-екологічної інформації про природні та техногенні об’єкти, що зазнали ракетних обстрілів, що можна отримати при дешифруванні та інтерпретації, а також від цього залежить швидкість та якість ідентифікації потенційно небезпечних об’єктів довкілля воєнного призначення [5]. На рис. 3 показана світлина автоматизованої станції дешифрування БПЛА та космічної зйомки ДЗЗ.



Рис. 3. Цифрова камера та станція дешифрування 3-DAS-1, що використовується для потреб військової фотограмметрії

Космічна зйомка при оцінці екологічних викликів воєнного часу здебільшого є головною основою екологічного проблемно-орієнтованого ГІС-картографування та проєктування спеціалізованої геоінформаційної системи на територію об'єкта (територію ландшафту) [6]. Її функціональність є важливою інформаційною основою дистанційного екологічного моніторингу, для будь-яких, але особливо – для важкодоступних, маловивчених з точки зору оцінки впливу на довкілля окупованих територій України. Під час російсько-української війни космічна зйомка – єдиний спосіб оперативного проведення аналізу природної, техногенної та військово-оперативно-тактичної ситуації на досить великі території. На рис. 4 представлене сузір’я супутників,

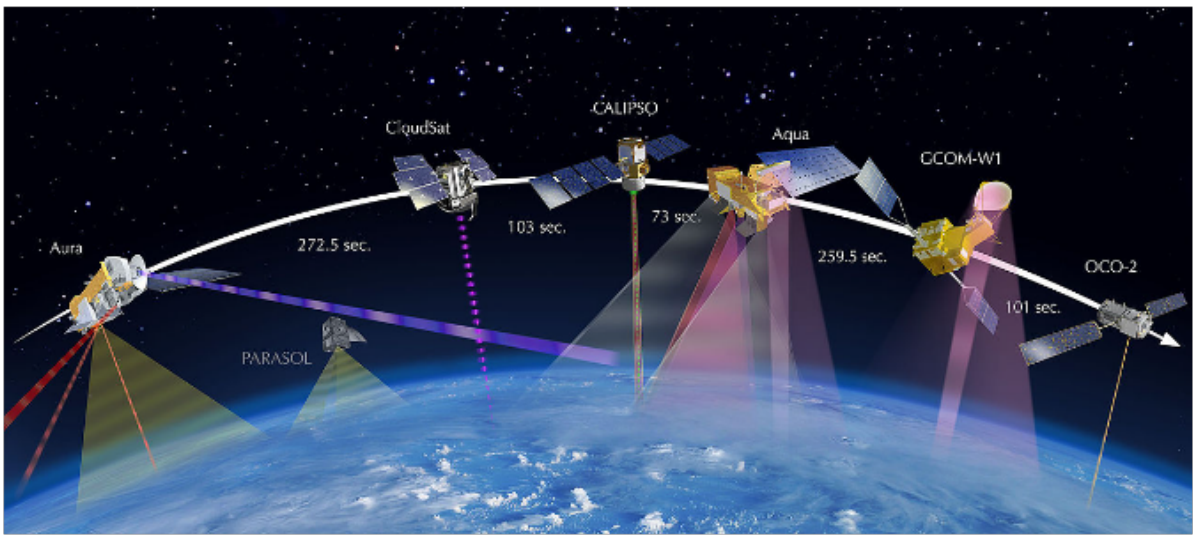


Рис. 4. Орбітальні супутники гібридного призначення, що виконують похідну функцію оцінки впливу на довкілля

що використовується для потреб військової екології та моніторингу довкілля в Україні: Aura, Parasol. CloudSat, Calipso, Aqua, Gcom-W1, Oco-2.

Незважаючи на високу інформативність космічних знімків, вони потребують у воєнний час особливого підходу до дешифрування та залучення додаткових інформативних геопросторових матеріалів: результатів польових робіт військових геодезистів, що входять до підрозділів бойових частин у складі топографо-геодезичного та картографічного забезпечення Українського Війська (польове ландшафтне дешифрування, комплексні військово-географічні та природознавчі описи). Вони забезпечуються похідні фондовими картографічними (е-архівними) та іншими геоінформаційними матеріалами, розміщених у «хмарах баз даних». Використовується сучасна цифрова геодетика, така, як цифровий фото тахеометр (рис. 5).



Рис. 5. Фототахеометр Topcon, модифікації військового призначення: IS-305 / IS-303 / IS-301

Порівняння різночасових космічних знімків, обробка їх за допомогою спеціальних ГІС-програм (ENVI, Erdas, Digitals) [7], допомагає зіставити їх контент із довоєнною топографічною основою, що дає можливість досить повно оцінити поточний зруйнований або пошкоджений екологічний стан та визначити динаміку небезпечних процесів на окупованих територіях. На рис. 6 показаний алгоритм проєктування природно-ресурсної геоінформаційної моделі інтерпретації ДЗЗ-даних окупованої території в контексті виявлення екологічних ризиків та визначення ареалів впливу екологічних викликів та небезпек.

Визначений комплекс роботи моделі спрямований також на вироблення екологічних рішень щодо оптимізації проєктування, будівництва та облаштування природозахисних об'єктів на досліджуваних територіях після закінчення бойових дій: відновлення дамб, моніторинг об'єктів ПЗФ України, захисні екологічні фортифікації із захисту природних ексклюзивів.

Наявні зруйновані потенційно небезпечні техногенні об'єкти та інженерні порушення за матеріалами ДЗЗ виявляються при дешифруванні [8]. В результаті можна отримати еколого-природоохорону геоінформацію про наявність:

– небезпечних техногенних територій: промислових майданчиків, шляхів сполучення, баз зберігання пального противником;

– поширення плям нафтового забруднення у Кременчуцькому водосховищі, внаслідок руйнування Кременчуцького нафтопереробного заводу, шляхи забруднених стічних вод при бомбардуванні водогонів та каналізації м. Одеса;

– визначення стану водних об'єктів: ступені небезпечності забруднення, зміна берегової лінії та русла річок внаслідок руйнування мостів, знищення флори та фауни;



Рис. 6. Функціональна схема роботи проєктування природно-ресурсної геоінформаційної моделі інтерпретації ДЗЗ-даних окупованої території (укладач – Шевченко Р.Ю.)

– пожежі в лісах та несанкціоновані вирубки урочищ противником, оцінка ступеня їх відновлення;

– інженерна оцінка стану аварійності лінійних та майдановихих об'єктів, підтоплення залізничних доріг, руйнування терміналів аеропортів та станцій зберігання пального;

– активізації термокарстових процесів на Західному Донбасі, заболочуванні поліської частини Київської, Житомирської та Чернігівських областей;

– небезпечні геоморфологічні процеси – дефляції, ерозії, а також кріогенні та гідрологічні процеси, що активізуються під час великих вибухів (мікроземлетрусів);

– виявлення потенційно небезпечних ділянок навколо АЕС, ТЕС, ГЕС.

При дешифруванні техногенних та порушених війною природно-територіальних комплексів застосовуються як методи автоматичного, так і візуального дешифрування, з використанням тих самих дешифрувальних ознак як колір, тон зображення, форма об'єктів та їх геотопологічне розташування.

При геоінформаційній обробці матеріалів зйомки у різних комбінаціях каналів можлива оцінка віку вирубок у національних природних парках та заповідниках, при побудові та розміщення в них командних об'єктів протиповітряної оборони, і як наслідок, наявність військово-промислових відходів. Наприклад, подібні методи, спрямовані на виявлення несанкціонованих місць розміщення відходів успішно застосовані при ревіталізації, регенерації, розмінуванні та рекультивації території Бучанського лісу Київської області.

Використання результатів дешифрування матеріалів космічної зйомки та БПЛА-аерофотозйомки на попередньому етапі оцінки впливу на довкілля виявляє суттєві відмінності в стані місцевості, порівняння стану із архівними топографічними абрисами, планами та картами у мобільних (Gadget) ГІС-застосунках. Це дозволяє дослідити трансформацію, руйнування, поточний стан та дає можливість оверлейного порівняльного аналізу топографії природно-техногенних ландшафтів із їхніми попередніми картографо-геодезичними задокументованими станами, який показують актуальні космічні фотографії, а також геотегінгові світлини й фототеодолітні знімки.

Таким чином, за матеріалами ДЗЗ, ще до реалізації проведення уточнювального цільового польового (полігонного) топографо-геодезичного обстеження, можна скласти загальну (оглядову) карту порушення екологічної рівноваги території під час війни та виявити основні природні та техногенні об'єкти, що додаються до проєктних рішень ревіалізації та відновлення екосистеми після закінчення бойових дій. Ці дані дозволяють оптимізувати програми процесу відновлення лінійних об'єктів, поновлення розташування метеорологічних майданчиків та референтних станцій (ландмарків) тощо. Це застосовується як в інженерно-геодезичному, так і в екологічному аспектах польового обстеження демілітаризованих територій. Надалі результати дешифрування доцільно використовувати у проєктних природоохоронних та відновлювальних екорішеннях, оскільки ці дані дозволяють оптимізувати відновлення постраждалих об'єктів ПЗФ України, а також відбудові інженерної інфраструктури, облаштування рятувальних гелікоптерних майданчиків тощо. Це актуально в інженерному та екологічних аспектах оцінки впливу війни на промислові та природно-територіальні комплекси України.

Розробимо методику оцінки накопичених екологічних збитків внаслідок російсько-української війни. Під час бойових дій в Україні віднесення об'єктів до накопичених екологічних збитків законодавчо встановлено.

Екологічні виклики воєнного часу визначаються геохронологічним порівняльним геоінформаційним моніторингом з урахуванням історії минулих екологічних збитків, що були в Україні під час Першої та Другої світових війн. Актуалізуються векторні історичні топографічні карти, що відображають ретроспективні забруднення – наслідки військово-господарської діяльності окупантів у місцях дислокації воєнних гарнізонів у минулому. Із урахуванням минулого досвіду, визначаються поточні аспекти, що зумовлюють нинішнє забруднення територій під час сучасного збройного конфлікту, який завдає неминучої шкоди навколишньому середовищу та перешкоджає використання природних ресурсів у комерційних та господарських цілях держави.

Підсумком впливу на довкілля російсько-української війни є зниження якості життя української нації, підвищення захворюваності та смертності населення. Територіальний розподіл накопичених екологічних збитків в Україні зумовлено поєднанням географічних та природно-ресурсних аспектів, що впливають на розміщення гірничодобувної, важкої та переробної промисловості, військово-промислового комплексу, який, в переважній більшості, є деіндустріалізований та зруйнований ворогом.

Відповідні типи екологічних викликів військового часу можуть бути виявлені за допомогою матеріалів ДЗЗ, а саме:

– результати «господарської» діяльності тилових частин противника, знищення об'єктів видобувної, гірничодобувної та збагачувальної промисловості на території Донбасу;

– нафтовмістні забруднення Азовського та Чорного морів в районі затоплення знищеного крейсера «Москва», патогенні фактори впливу на біоту в акваторії о. Зміїний;

– вплив частково відновлювальної (динамічної, пересувної) промисловості з ремонту військової техніки, що забезпечує окупаційний режим;

– локалізації (кладовища) знищеної техніки.

Методика оцінки накопичених екологічних збитків внаслідок бойових дій в Україні, активно реалізується на звільнених від окупантах територіях (Київської, Житомирської, Чернігівської, Сумської та частині Харківської областях). Наукоємним завданням ДЗЗ-моніторингу є оцінка впливу на довкілля та наслідки окупації Чорнобильської зони відчуження. За допомогою матеріалів ДЗЗ ефективно виявляються основні джерела накопичених екологічних збитків, проте вартість даних матеріалів, їх обробка, отримання бази даних для використання у ГІС, розрахунках збитків досить велика. Витрати на створення відповідного спеціалізованого кадастру екологічних збитків за накопиченими екологічними збитками за матеріалами ДЗЗ, а також порівняльні цінові характеристики матеріалів ДЗЗ за відкритими джерелами наведені у таблицях бізнес-плану 1 та 2.

З наведених авторських розрахунків (бізнес-калькуляції) випливає, що організація БПЛА-зйомки у кілька разів дорожча, ніж покупка космічних знімків. Ймовірно, використання БПЛА-аерофотозйомки може бути доцільним для районів, для яких недоступні космічні знімки, а також для невеликих промислових майданчиків (ЧАЕС). Ще більш економічним методом може вважатися фотографування за допомогою технологій цифрового наземного фототеодолітного знімання або застосування геотегінгових Gadget-девайсів.

Вартість даних аерофотозйомки та технології Космосфери, створення ГІС на основі створених баз даних, поки що не дозволяє окремим науковцям чи групі дослідникам з громадських екологічних організацій використовувати таку технологічну схему. Через високу вартість даних БПЛА-аерофотозйомки та космічної зйомки в умовах поточної війни в країні багато моніторингових організацій не готові фінансувати подібні методи оцінки накопичених екологічних збитків. На сьогодні нормативно-методичного рубрикатора завдань екологічного моніторингу під час військового стану не розроблено.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління має досвід відповідних робіт із партнерами: Державним космічним агентством, Національним центром управління та випробування космічних засобів, які акумулюють відповідну інформацію, що надають союзники України у війні: НАТО, США та ЄС. Серед останніх результатів досліджень – оглядова карта України окупованих територій, складних природних та техногенних систем (рис. 7).

Таблиця 1

Витрати на проведення БПЛА-зйомки для оцінки впливу на довкілля внаслідок бойових дій (ціни вказані на кінець травня 2022 р.)

Технологічний прийом	Витрати, грн.	Джерело комерційної геоінформації
Оренда БПЛА.	120 000,00	Мінімальна ставка за 10 годин роботи та зйомки 10 км^2 (може варіюватися в залежності від регіону та типу БПЛА).
Цифрова аерофотозйомка.	50 000,00	Розцінки прийняті за кон'юнктурою, що складаються у картографо-геодезичній галузі під час воєнного стану.
Роботи з дешифрування цифрових аерофотознімків	80 000,00	
Роботи зі створення ГІС.	80 000,00	
Оформлення картографічних матеріалів	30 000,00	
Загальна калькуляція	253 000,00	

Таблиця 2

Витрати на проведення космічного знімання та створення спеціальної військово-екологічної моніторингової ГІС (ціни вказані на кінець травня 2022 р.)

Технологічний прийом	Витрати, грн.	Джерело комерційної геоінформації
Придбання космічних знімків району	17 000,00	З розрахунку на 10 км^2 по відкритому джерелу даних 25–87 доларів США за км^2 (компанії TVIS Ukraine)
Роботи з дешифрування цифрових рельєфних космічних знімків	85 000,00	Розцінки прийняті за кон’юнктурою, що склалася в галузі під час бойових дій
Роботи зі створення ГІС	85 000,00	
Оформлення картографічних матеріалів (укладання цифрових абрисів, планів, карт, серії карт, атласів та е-глобусів (геопорталу) за методикою викладеною на рис. 6	13 000,00	
Загальна калькуляція	200 000,00	

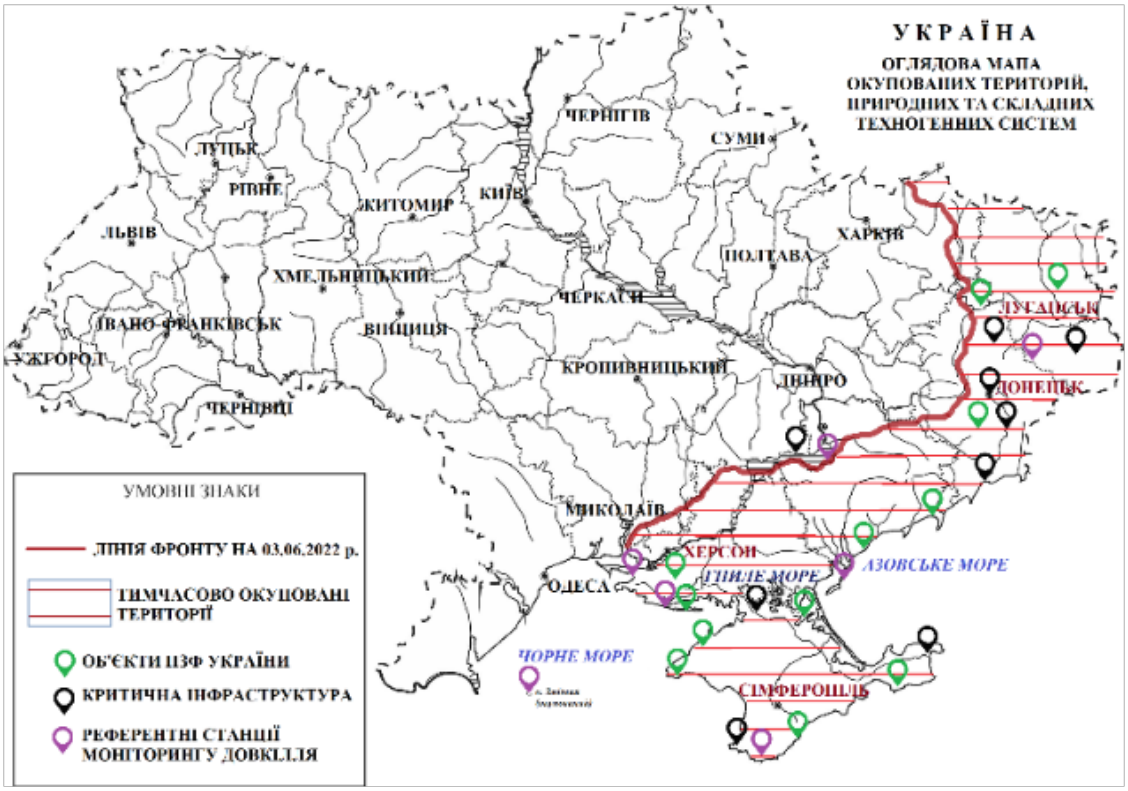


Рис. 7. ГІС-модель окупованих територій та природно-техногенної системи (укладач – Шевченко Р.Ю.)

Висновки. Доведена необхідність та доцільність створення оперативного єдиного (уніфікованого) інструментарію відкритої бази даних наслідків бойових дій в Україні (в обсязі, в якому це не суперечить вимогам законодавства про державну таємницю в частині публікації картографічних матеріалів та документації для окупованих територій). Відповідний геопортал акумулює та розміщує по тематичним директоріям результати ДЗЗ-аудитів. Інфраструктура геопросторових даних екологічних викликів скоротить час прийняття управлінських рішень в результаті ГІС-аналізу екологічних аудитів, а також дозволить значно деталізувати деякі розділи проєктів заходів щодо ревіталізації навколишнього середовища середовища після завершення війни. Пропонується це застосовувати при моніторингу атмосферного повітря, у частині впливу постійно тліючих торф'яних полів навколо Києва, попередження пожеж у лісах, вибухів на об'єктах нафтопереробної промисловості. Спеціалізована база ДЗЗ/ГІС-даних може бути створена лише за активної державної підтримки у прийнятті нормативних актів щодо її створення.

Практичне значення функціонування відповідного геопорталу даних сприятиме використанню даних ДЗЗ (аеро- та космічних знімків) при ефективній оцінці накопичених збитків під час активних бойових дій так й після їх завершення.

Перспективи використання результатів дослідження. Відповідний алгоритм опрацювання даних ДЗЗ-моніторингу для виявлення джерел екологічних ризиків та викликів можна перевтілити (перепрограмувати) до аерокосмічної природно-ресурсної геоінформаційної системи моніторингу довкілля під час бойових дій, як цифрове представлення впорядкованої сукупності просторово розподілених даних про пошкоджені та знищені природно-ресурсні об'єкти територій, отриманих із БПЛА/ДЗЗ-джерел для здійснення геоінформаційного (картографічного) документування екологічних злочинів російської окупаційної влади, що будуть візуалізовані на екологічних космофотокартах та спеціальних ортофотопланах з метою формування правових основ виплати компенсаційних виплат й репарацій.

Література

1. GPS Status & Toolbox PRO v 7.1.142 (Android) URL: http://4pda.info/news/18397/
2. Бондар О.І., Фінін Г.С., Унгурян П.Я., Шевченко Р.Ю. Дистанційні методи моніторингу довкілля : навч. посіб. Київ. 2019. 298 с.
3. Довідка: Мої Карти. URL: https://support.google.com/mymaps#topic=3188329
4. Кохан С.С., Востоков А.Б. Дистанційне зондування Землі: теоретичні основи. К. : Вища школа, 2009. 511 с.
5. Крижановський Є.М. Геоінформаційні системи в екології / під ате. Крижановського Є.М. Винниця : ВНТУ, 2014. 192, с. 28.

6. Мкртчян О.С. Геоінформаційне моделювання в конструктивній географії. Львів : Видавничий центр ЛНУ ат. І. Франка, 2010. 119 с.
7. Моніторинг довкілля [Боголюбов В.М., Клименко М.О., Мокін В.Б. та ат.]; під ате. В.М. Боголюбова. Вінниця : ВНТУ, 2010. 232, с. 30.
8. Моніторинг довкілля [Клименко М.О., Бондар О.І., Пилипенко Ю.В. та ат.]. Херсон : Олді-плюс, 2010. 208 с.
9. Пинаев В.Е., Михеева А.И. Оценка отходов и атеріалам экологического ущерба по матеріалам дистанционного зондирования Земли при проведении оценки современного состояния окружающей среды. Науковедение. Т. 9. № 1. 2017. С. 25–35.
10. Шевченко Р.Ю. Діджиталізація захисту довкілля: геоінформаційний простір та технології Космосфери. Проблеми цивільного захисту населення та безпеки життєдіяльності: сучасні реалії України: тези доп. VIII всеукр. заоч. наук.-практ. конф. (Київ, 28.04.2022 р.). Київ. 2022. С. 153–154.
11. Шевченко Р.Ю. Інновінг-інструментарій екологічного моніторингу довкілля-простору. Екологічні науки. 2020. № 1(28). С. 115–121.

УДК (UDC) 504.064.36]:556.3]:621.8(477.82-22)
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.8

МОНІТОРИНГ ЯКОСТІ ВОДИ ДЖЕРЕЛ НЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ СЕЛА ПОРОМІВ ВОЛИНСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Курганевич Л.П., Андрейчук Ю.М., Бонішко О.С., Хавень В.В.
Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Університетська, 1, 79000, м. Львів
lkurhanevych@gmail.com, yuriy.andreychuk@gmail.com,
oksana.bonishko@lnu.edu.ua, havenvika@gmail.com

Проведено різночасові польові дослідження 40 колодязів с. Поромів Волинської області. Визначено рівень води, загальну мінералізацію, pH, вміст нітратів та загальний санітарний стан території навколо колодязя. Середня відстань рівня підземних вод від денної поверхні становила від 10,95 м до 8,65 м і корелює з кількістю опадів, що випали за період дослідження. Середні значення pH на досліджуваній території у березні 2020 та 2021 років становили 7,7, що відповідає слаболужній реакції води. Помічено таку закономірність: чим менше відстань від джерела забруднення до рівня ґрунтових вод, тим нижче значення pH. Мінералізація води у 2020 році коливалася від 0,212 до 1,353 г/дм^3, у 2021 році – 0,336–1,123 г/дм^3. Поширення мінералізації води характеризується своєрідними ділянками її підвищення, які зосереджені в центральній частині досліджуваної території. Значення мінералізації, які вважаються оптимальними для забору води та її споживання в сільському господарстві, знаходяться в межах 0,3–0,5 г/дм^3. Лише 8 із 40 обстежених колодязів відповідають цим стандартам. Вміст нітратів у підземних водах у березні 2021 року за санітарними показниками перебував у нормативних межах. Проте вода з цих колодязів не відповідає вимогам щодо питного водопостачання дітей до трьох років. Норма вмісту фосфатів у питній воді складає 3,5 мг/дм^3. Це значення було перевищено у всіх відібраних зразках. Основним джерелом забруднення підземних вод фосфатами є мінеральні та органічні добрива, що містять ці речовини. У ході дослідження виявлено перевищення допустимих рівнів мінералізації, жорсткості та вмісту фосфатів. Вміст нітратів відповідає ГДК, але перевищує допустиме значення для дітей до трьох років. Важливим рішенням є контроль за правильним розташуванням господарських будівель (герметизація їх для запобігання потраплянню стічних вод у навколишнє середовище) та контроль за агротехнікою (збалансоване використання добрив та агрохімікатів). Необхідно стежити за станом підземних вод як джерела водопостачання сільської місцевості. *Ключові слова:* джерела водопостачання, підземні води, моніторинг води, якість води, колодязь.

Water quality monitoring of decentralized water supply sources of Poromiv village in Volyn region. Kurhanevych L., Andreychuk Y., Bonishko O.

Multi-temporal field surveys of 40 wells in the village of Poromiv, Volyn region, were conducted. The water surface level, total mineralization, pH, nitrate content and general sanitary conditions of the area around the well were determined. The average distance of the groundwater level from the day surface ranged from 10.95 m to 8.65 m and correlates with the amount of precipitation during the study period. The average pH values in the study area in March 2020 and 2021 were 7.7, which corresponds to a slightly alkaline reaction of water. The following pattern has been noticed: the smaller the distance from the source of pollution to the groundwater level, the lower the pH value. Water mineralization in 2020 varied from 0.212 to 1.353 g/dm^3, in 2021 – 0.336–1.123 g/dm^3. The distribution of mineralization is characterized by the peculiar areas of its increase, which are concentrated in the central part of the study area. The mineralization values considered optimal for water intake and its consumption in agriculture are in the range of 0.3–0.5 g/dm^3. Only 8 of the 40 surveyed wells meet these standards. The content of nitrates in groundwater in March 2021 according to sanitary indicators was within normative limits. However, the water from these wells does not meet the requirements for drinking water supply for children under three. The normative for phosphate content in drinking water is 3.5 mg/dm^3. This value was exceeded in all the selected samples. The main source of contamination of groundwater with phosphates are mineral and organic fertilizers containing these substances. In the course of the study, the excesses of the permissible levels of mineralization, hardness and phosphates content were revealed. The content of nitrates complies with the maximum allowable concentration, but exceeds the acceptable value for children under three. An important decision is to control the proper arrangement of farm buildings (sealing them to prevent sewage from entering the environment) and to control agricultural practices (the balanced use of fertilizers and agrochemicals). It is necessary to monitor the state of groundwater as a source of water supply in rural areas. *Key words:* water supply sources, groundwater, water monitoring, water quality, well.

Постановка проблеми. Належна якість питної води є невід'ємною складовою забезпечення продовольчого благополуччя населення. З міркувань покращення якості вод, призначених для питного водопостачання, Україна доєдналась до Директиви Ради 98/83/ЄС від 3 листопада 1998 року про якість води [15], Директиви 2000/60/ЄС «Про затвердження рамок діяльності співтовариства у сфері водної політики» від 23 жовтня 2000 року [12] та Директиви Ради 91/676/ЄЕС «Про захист вод від забруднення нітратами із сільськогосподарських джерел» від 12 грудня 1991 р [17]. У зв'язку з цим в Україні повномасштабно розбудовується система моніторингу стану поверхневих водних об'єктів, однак відсутній належний державний контроль якості підземних вод. Інформацію про гідрохімічні властивості

цього виду водних ресурсів можна отримати лише із артезіанських свердловин міст, де вони є джерелами централізованого водопостачання. Тут здійснюється періодичний нагляд за даними показниками та оцінка якості води. Інша ситуація складається у сільських населених пунктах із нецентралізованим водопостачанням, де в багатьох випадках відсутній контроль за станом водних ресурсів. Індивідуальні колодязі та свердловини є основним джерелом водопостачання для більше 70 % сільських населених пунктів України [10]. Тому актуальним завданням сьогодення виступає аналіз якості питної води джерел нецентралізованого водопостачання, що вимагає вдосконалення системи її обліку та контролю із застосуванням сучасних інформаційних засобів та технологій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема якості питної води актуалізована у низці наукових публікацій. Зокрема, Мосейчук А. А. у своїй статті детально оцінює стан вод, призначених для питного водопостачання за відповідністю стандартам бактеріологічних та хімічних показників у межах Полтавської області та проводить районування території із використанням індексу забруднення води (ІЗВ) [9]. Такий підхід дозволяє виділити кореляційні залежності між характером соціально-економічного розвитку районів області та рівнем забруднення природних вод з метою окреслення основних причин погіршення якості питної води. У процесі дослідження антропогенного впливу на підземні води важливо враховувати рівень їх захищеності, який обумовлений потужністю та складом покривних порід, рівнем зволоження території та рядом інших показників. Крізь призму таких факторів досліджувала це питання Ємчук Т. В. У своїй статті авторка поряд із аналізом гідрохімічних показників визначила ступінь захищеності підземних вод у басейні річки Прут, використовуючи методику DRASTIC [4]. Водночас спостерігається недостатня кількість досліджень підземних вод у селі Поромів Волинської області та на його околицях. Інформація про гідрохімічний склад даного компоненту довкілля зустрічаються у монографії Євгена Іванова, Івана Ковальчука та Оксани Терещук «Геоекологія Нововолинського гірничопромислового району», де подано загальну гідрохімічну оцінку якості підземних вод досліджуваної території, а також результати детального хімічного аналізу води із створів довколишніх сіл [5]. Уявлення про якість підземних вод даної території можна скласти із статті Хомко Н. Ю., де у процесі аналізу системи централізованого водопостачання м. Нововолинськ подано хімічний склад підземних вод та зафіксовано перевищення за деякими показниками [16].

Актуальність дослідження. Невід'ємним показником, який необхідно враховувати при оцінці якості питної води є вміст нітратів. Нормативне значення вмісту нітратів у підземних водах відповідно до Директиви Ради 91/676/ЄЕС від 12 грудня 1991 р. про захист вод від забруднення, спричиненого нітратами з сільськогосподарських джерел складає 50 мг/дм^3 [13, 17]. Однак численні дослідження вказують, що навіть цей показник є досить високим для дітей до трьох років. Нормативне значення для такої категорії населення складає 10 мг/дм^3 [18]. Тому забезпечення належної системи моніторингу та запобігання нітратного забруднення питної води є важливим завданням будь-якої держави. Україна приєдналась до Директиви ЄС про запобігання нітратного забруднення водних ресурсів, однак процес імплементації залишається під питанням. Регуляція вмісту нітратів обмежується забором відносно незначної кількості проб, що відображається у Національній доповіді про питне водопостачання. Положення даних документів доводять, що досягнення належної якості питної води значною мірою залежить від формування системи детального моніторингу всіх джерел водопостачання. Даний моніторинг повинен включати облік потенційних ресурсів води. Досвід таких держав як Фінляндія, Німеччина, Канада, які входять до десятки країн із високою якістю питної води, вказує на необхідність побудови належної системи моніторингу як поверхневих, так і підземних вод [19]. Зокрема у Німеччині здійснено імплементацію Водної Рамкової Директиви ЄС, яка передбачає виділення масивів підземних вод та створення мережі спостережних пунктів за їхнім якісним та кількісним станом. Тут сформовано 4892 оглядові та 2273 оперативні точки вимірювання [20], де здійснюється спостереження за рівнями підземних вод та кількісним станом вмісту основних забруднюючих речовин.

Методика дослідження. Дослідження проводилось в селі Поромів – головного населеного пункту Поромівської об'єднаної територіальної громади в межах Володимир-Волинського району Волинської області. Площа населеного пункту становить 237,4 га [11]. Станом на 1 січня 2021 року тут проживає 775 осіб. Перед проведенням моніторингових спостережень нами було здійснено попередні обстеження джерел питного водопостачання території досліджень та складено їхні екологічні паспорти [8].

Процес моніторингу якості підземних вод складався із трьох етапів: аналіз загальних гідрохімічних показників 2019-2021 років; побудова на основі зібраних даних карт, кореляційних моделей та схем розміщення колодязів щодо потенційних джерел забруднення; розширене дослідження 10-ти колодязів. Для загального гідрохімічного аналізу нами було підібрано 40 джерел водопостачання, розміщених у різних частинах села. В межах такого дослідження ми визначали щорічні посезонні зміни pH, мінералізації та рівнів води. Шляхом побудови кореляційних залежностей між даними гідрохімічними показниками та особливостями розміщення колодязів населеного пункту було виділено 10 колодязів

для розширеного гідрохімічного аналізу. Зокрема, ми визначали такі показники, як окисно-відновний потенціал, загальну твердість, а також вміст головних іонів та біогенних компонентів: нітратів, іонів амонію, вільного аміаку й фосфатів.

В ході даного дослідження ми використали методи вимірювання, спостереження та картографічного моделювання для пошуку оптимальних точок детального спостереження. Синтезуючи отриману інформацію у картографічні моделі, ми виділили 10 колодязів, для яких використані індуктивні методи у формуванні уявлення про стан ґрунтових вод села Поромів.

Розширений гідрохімічний аналіз було здійснено у акредитованій науково-дослідній лабораторії фізико-хімічних аналізів ґрунтів (Свідоцтво про відповідність системи керування вимірюваннями № РЛ 188/18 від 14 червня 2018 р.) географічного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка. Вміст іонів кальцію, магнію, хлориди, загальну твердість визначено шляхом титрування, а вміст сульфатів – гравіметричним методом. З допомогою полуменевого фотометра визначено вміст іонів калію та натрію. Фотометричним методом визначено вміст фосфатів та іони феруму (III) [2].

Виклад основного матеріалу. На першому етапі дослідження ми отримали систему даних про віддаль дзеркала ґрунтових вод від денної поверхні. Дану інформацію було візуалізовано за допомогою карт сезонних змін даного показника [3, 6].

Із рис. 1 можна помітити, що середня віддаленість рівня ґрунтових вод від денної поверхні у березні 2020 року складала 10,95 м, однак наступного року даний показник зменшився до 8,65 м, що зумовлено сніжною зимою (рис. 2). Фактичне співвідношення показує, що у 2020 році мінімальна віддаль водного шару від денної поверхні складала 5 м, максимальна – 22 м, у 2021 році – 1 та 20 м відповідно. Загалом потужність ґрунтових вод змінилась в межах 2–4 м. Даний показник цілком корелює із сумарною кількістю опадів досліджуваного періоду. Адже у вересні-лютому 2020 року випало 199,6 мм, а у 2021 році – 263 мм [1]. Тобто у зв'язку із збільшенням кількості опадів на 63,4 мм, середній рівень ґрунтових вод піднявся на 2,3 м.

Середні показники pH на досліджуваній території у березні 2020-го та 2021-го складали 7,7, що відповідає слаболужній реакції води. Мінімальне значення становило 7,1 у 2020 році та 7,2 – у 2021 році, максимальне у обох випадках відповідало 8,5. Тобто реакція води варіює від нейтральної до слаболужної. Власне лужність води посилювалась із заходу на схід у 2020 році, а у 2021 – із північного заходу на південний схід (рис. 3–4).

Такі показники свідчать про наявність у воді карбонатів і гідрокарбонатів кальцію та магнію, що цілком типово для даної території.

Норми реакції води призначеної для питного водопостачання знаходяться в межах 6,5–8,5. Тобто допустимою є нейтральна та слаболужна реакція, що спостерігається в межах даної ділянки. Додатковим значенням, яке сприяє виявленню закономірностей впливу допоміжних факторів та нормуванню якісних значень водного ресурсу є фонові значення.

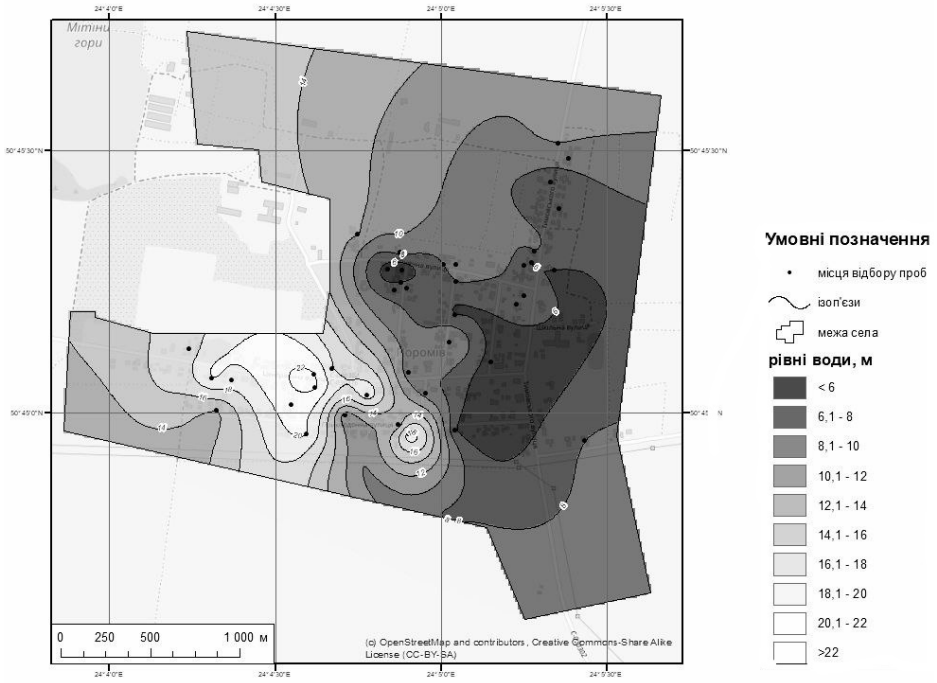


Рис. 1. Карта рівня віддаленості дзеркала ґрунтових вод від земної поверхні у межах села Поромів (березень 2020 р.)

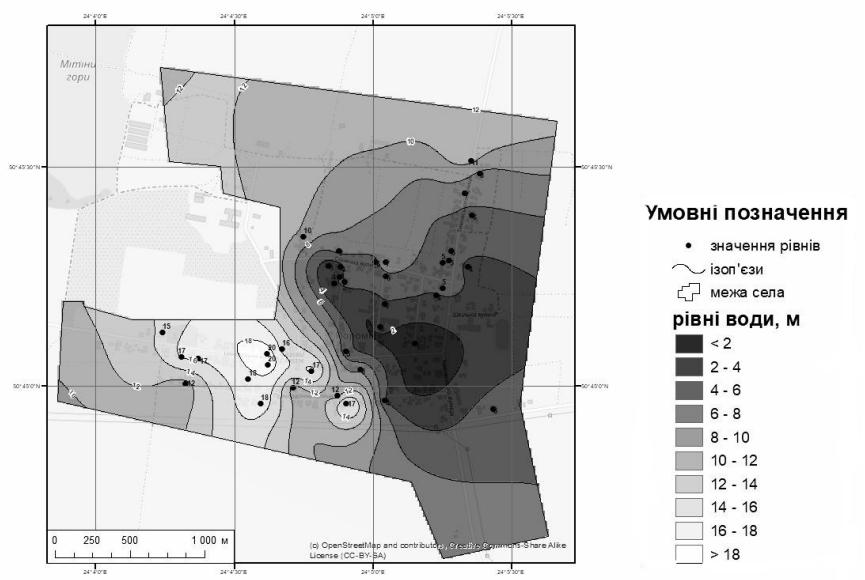


Рис. 2. Карта рівня віддаленості дзеркала ґрунтових вод від земної поверхні у межах села Поромів (березень 2021 р.)

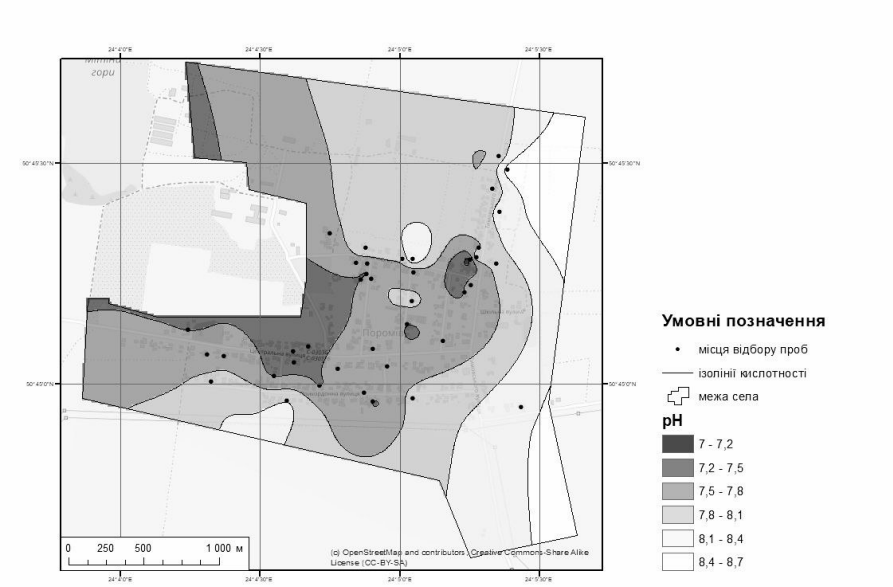


Рис. 3. Карта розподілу показників pH води у колодязях села Поромів (березень 2020 р.)

Дослідження відображають, що фоновий показник pH води у колодязях на території села Поромів відповідає слаболужній реакції. Зміна кислотності зі сходу на захід в бік нейтральної реакції води вказує на вплив додаткових факторів. Зокрема регресійні моделі взаємозалежності показників pH та розміщення колодязів щодо гноєсховищ й господарських споруд вказали на закономірність «чим менша віддаль від джерела забруднення до рівня підземних вод, тим менше значення pH» [7]. Тобто реакція стає нейтральною під впливом потрапляння органічних кислот у ґрунтові води. На картосхемах можна помітити, що ґрунтові води із реакцією 7,0–7,8 зосереджені у центральні частини населеного пункту. Ця ділянка є густо заселеною, характеризується інтенсивним веденням господарства, щільним розміщенням споруд. Зони зменшення pH тяжіють до східної частини села, де розміщені господарські споруди місцевих фермерських господарств.

Мінералізація води у 2020 році варіювала від 0,212 до 1,353 г/дм^3, 2021 року – 0,336–1,123 г/дм^3. Тобто більш диференційованими показники були у попередньому році. Середні значення вказують, що мінералізація у 2020 році була нижчою (0,684 г/дм^3) на 0,022 г/дм^3 у порівняні з 2021 роком. У розподілі мінералізації спостерігаються своєрідні полюси її підвищення, які зосереджені у центральній частині досліджуваної території.

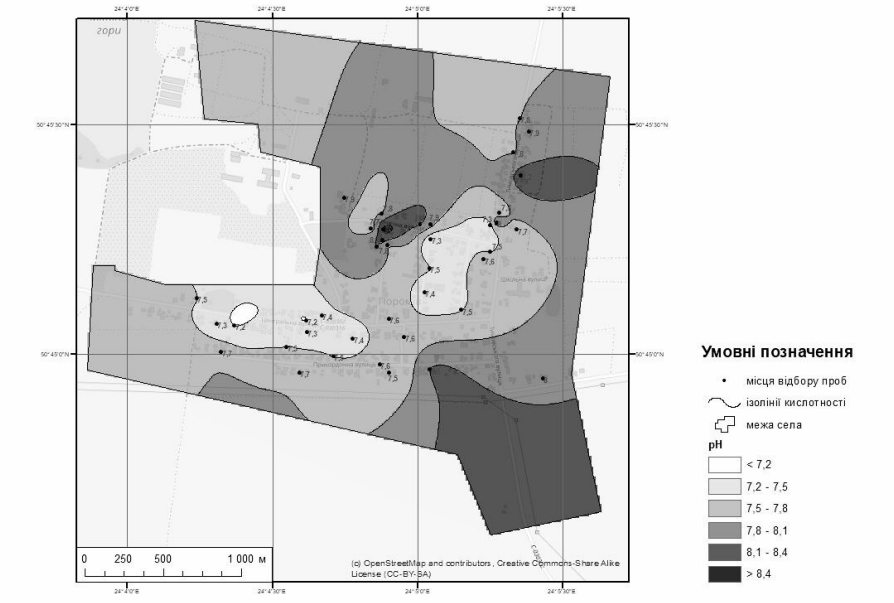


Рис. 4. Карта розподілу показників pH води у колодязях села Поромів (березень 2021 р.)

В середньому вищі показники мінералізації води характерні для заходу та центру села. Крайні північні, південні та східні ділянки характеризуються показниками 0,2–0,6 г/дм^3 (рис. 5–6).

Така закономірність прив'язує процес підвищення мінералізації до рівня антропогенного навантаження і накладає певні залежності між показниками мінералізації та pH води. Нормативне значення мінералізації води, призначеної для питного водопостачання, складає 0,1 г/дм^3 – мінімальне, 1 г/дм^3 – максимальне. У межах досліджуваної ділянки спостерігались перевищення ГДК у трьох колодязях у 2020 році та у двох в 2021 році, солі таких вод при споживанні з організму не вимиваються, а накопичуються та сприяють виникненню серйозних хронічних захворювань як ерозія шлунку, утворення каменів в нирках і жовчі, ішемічної хвороби серця. Ці об'єкти також розміщені в центральній частині села. Поряд із гранично допустимою концентрацією виділяють значення, які є більш оптимальними для споживання води та ведення господарства. Такими значеннями є 0,3–0,5 г/дм^3. Даним межам відповідають лише вісім колодязів.

На цьому ж етапі досліджень за допомогою польових експрес-тестів нами було визначено вміст нітратів у воді досліджуваних колодязів. Такий аналіз покликаний сформувати загальне уявлення про рівень даного показника. Як у попередніх дослідженнях можна помітити, що мінімальний вміст нітратів у воді тяжіє до крайньої східної та південної частин

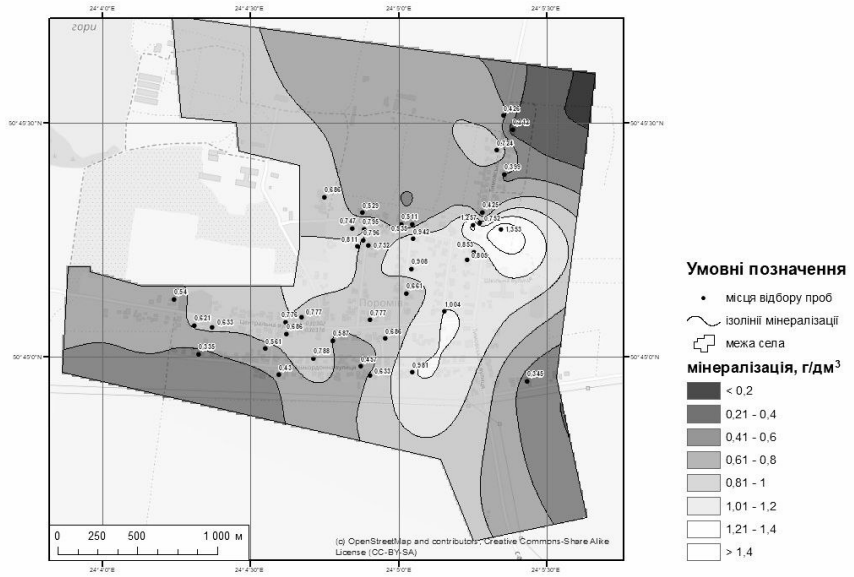


Рис. 5. Мінералізація води у колодязях села Поромів (березень 2020 року)

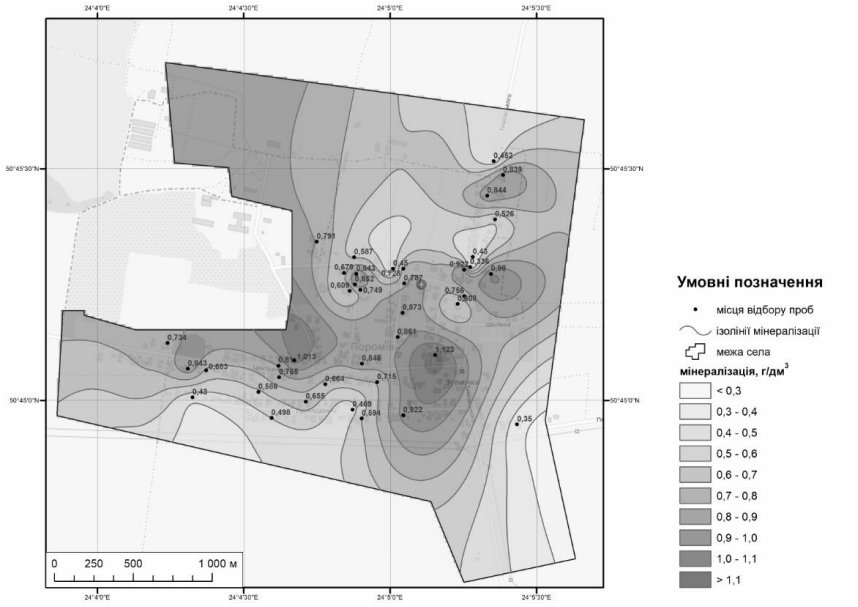


Рис. 6. Мінералізація води у колодязях села Поромів (березень 2021 року)

села, крім того у центральній частині досліджуваної території наявні «острови» пониження вмісту нітратів (рис. 7). Однак як у випадку pH та мінералізації максимальні показники прив'язані до заходу села Поромова та центральної більш заселеної частини. Із картосхеми можна помітити, що вміст нітратів у ґрунтових водах у березні 2021 року відповідно до санітарних показників знаходився в межах норми. Однак вода із даних колодязів не відповідає вимогам питного водопостачання для дітей до 3-х років.

Сформована база даних про сезонні зміни рівнів ґрунтових вод, pH, мінералізації та вмісту нітратів дала нам можливість з допомогою кореляційно-регресійних моделей виділити 10 точок для розширеного гідрохімічного аналізу (табл. 1).

Хімічний склад води представлений гідрогенкарбонатами, сульфатами та іонами кальцію, магнію, калію та натрію. У липні реакція води була нейтральною і варіювала від 7,19 до 7,53. Підвищення мінералізації спостерігалось у двох точках. За твердістю ґрунтова вода села Поромів є дуже жорсткою і лише на сході цей показник відповідав значенню жорсткої води у двох пробах (вул. Тимовського, 19 та Польова, 2).

Норма вмісту фосфатів у питній воді відповідає показнику 3,5 мг/дм³. В усіх відібраних пробах

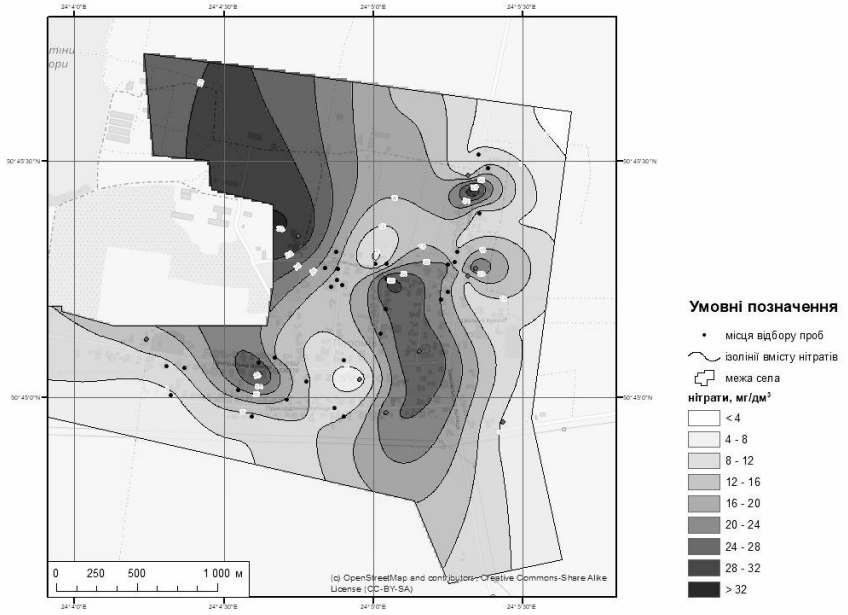


Рис. 7. Вміст нітратів у воді колодязів села Поромів (березень 2021 року)

Таблиця 1

Результати лабораторних досліджень хімічного складу води у десяти колодязях села Поромів (липень 2021)

Адреса	Тимовського, 50	Тимовського, 21	Тимовського, 19	Сонячна, 34	Центральна, 9	Центральна, 27	Центральна, 80	Центральна, 4а	Прикордонна, 10	Польова, 2
T, °C	26,9	25,8	26,4	25,7	25,6	25,4	25,3	25,9	25,5	25,2
pH	7,19	7,33	7,46	7,46	7,42	7,35	7,31	7,37	7,47	7,53
Електропровідність, µСм/см	1132	понад 2000	1234	1384	1378	1478	1473	1725	понад 2000	755
Загальна твердість, ммоль-екв/дм^3	11,5	18	9	14	14	14,5	13	13	19	8
Мінералізація, г/дм^3	0,61	1,09	0,66	0,74	0,73	0,79	0,77	0,93	1,03	0,39
Cl^-, мг/дм^3	10,29	111,59	5,68	19	12,6	57,59	15,09	15,62	59,66	24,9
SO_4^{2-}, мг/дм^3	0,33	85,84	1,5	9,49	0,12	43,39	0,08	0,21	41,63	2,1
HCO_3^-, мг/дм^3	361,7	488,0	396,5	457,5	446,4	427,0	444,5	564,6	518,5	197,7
Сума аніонів, ммоль-екв/дм^3	6,23	12,93	6,69	8,23	7,68	9,53	7,71	9,70	11,04	3,99
Na^+, мг/дм^3	16,8	75,5	76,2	17,5	19,1	13	10,3	115	70,4	19
K^+, мг/дм^3	0	0	0	0	0	0	47	0	0	0
Ca^{2+}, мг/дм^3	190,4	270,5	170,3	180,4	200,4	170,3	230,5	180,4	270,5	110,2
Mg^{2+}, мг/дм^3	24,32	54,72	6,08	60,8	48,64	72,96	18,24	48,64	66,88	30,4
Сума катіонів, ммоль-екв/дм^3	12,23	21,28	12,31	14,76	14,83	15,07	14,65	18	22,06	8,83
NH_4^+, мг/дм^3	0,2	0,2	0,2	0,7	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
NH_3, мг/дм^3	0,001	0,001	0,005	0,018	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,005
PO_4^{3-}, мг/дм^3	5,95	3,49	3,8	4,11	2,5	5,5	4,03	5,24	2,05	5,35
NO_3^-, мг/дм^3	0,05	0,17	0,17	0,17	0,05	0,05	0,05	0,05	0,17	0,17

спостерігалось перевищення цього значення. Як можна помітити із рис. 8 забруднення поширюється зі сходу села, де знаходиться рілля. Така закономірність вказує, що основним джерелом забруднення ґрунтових вод фосфатами є мінеральні та органічні добрива із вмістом даних речовин.

Система моніторингу масивів підземних вод на сьогодні в Україні є не достатньо налагодже-

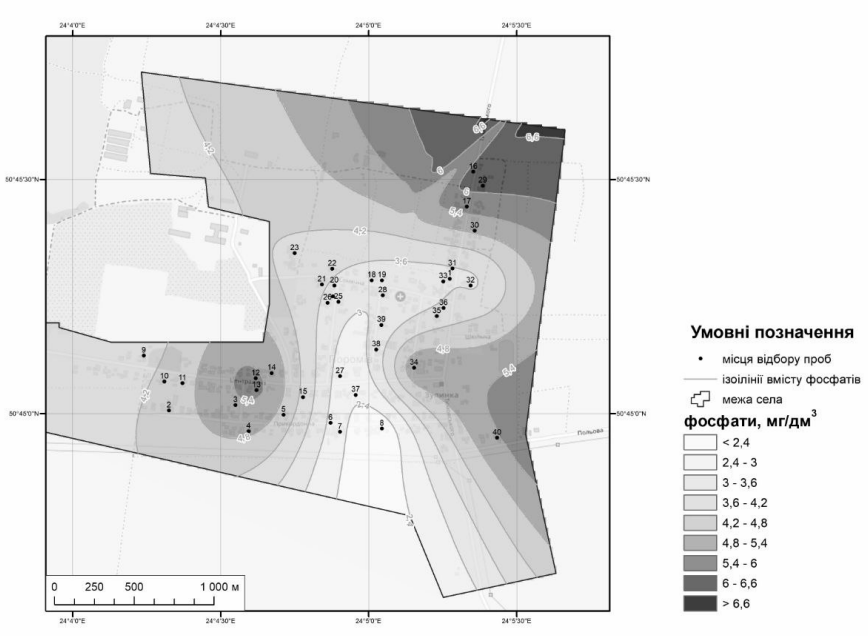


Рис. 8. Вміст фосфатів у воді колодязів села Поромів (липень 2021 року)

ною. Загальні вимоги цього процесу окреслені у Методиці визначення масивів поверхневих та підземних вод [14]. Облік джерел постачання підземних вод стане основою для обґрунтування системи моніторингу, пошуку й облаштування оптимальних точок спостереження за станом питних вод з огляду на допоміжні впливи.

Важливим завданням такого обліку є пошук потенційних джерел нітратного забруднення у сільській місцевості та розроблення кодексів усталеної сільськогосподарської практики.

Головні висновки. У процесі дослідження якості питної води джерел нецентралізованого водопостачання села Поромів Волинської області було виявлено перевищення допустимих показників мінералізації, твердості та фосфатів. Вміст нітратів відповідав гранично допустимій концентрації, однак перевищує прийнятний показник для дітей до трьох років. Гідрохімічні показники, зазначені в екологічних паспортах колодязів відображають рівень антропогенного навантаження на ґрунтові води. Виявлено залежності між щільністю забудови сільського населеного пункту та рівнем посилення мінералізації, pH і вмісту нітратів, обґрунтовано необхідність організації локального моніторингу стану підземних вод як джерел водопостачання сільських населених пунктів.

Перспективи використання результатів дослідження. З огляду на обмеженість території окремого домогосподарства та досвід Німеччини й Канади найбільш доцільним рішенням є перехід населеного пункту на централізовану систему водопостачання, що уможливить достеменний нагляд за якістю питної води. В такому випадку точки, які характеризуються оптимальним розміщенням можна переформувати під пункти спостереження за станом ґрунтових вод у даній місцевості. Важливим рішенням є впровадження контролю за належністю облаштування господарських споруд (їх герметизація для унеможливлення потрапляння стоків у довкілля) та веденням агровиробництва (збалансоване використання добрив та агрохімікаті), а також зобов'язання мешканців сільських населених пунктів вести регулярний нагляд за станом води у колодязях із використанням системи заохочення.

Література

1. ГІС в екологічних дослідженнях та природоохоронній справі : навчальний посібник / Ю. М. Андрейчук, Т. С. Ямелинець. Львів : Простір-М, 2015. 284 с.
2. Загальна гідрологія. Підручник / С. С. Левківський, В.К. Хільчевський, О. Г. Ободовськай, Л. Г. Будкіна, В. В. Гребінь, Д. В. Закрекський, С. М. Лисогор, М. М. Падун, В. І. Пелешенко. Київ : Фітосоціоцентр, 2000. 264 с.
3. Іванов Євген. Геоекологія Нововолинського гірничопромислового району: монографія / Євген Іванов, Іван Ковальчук, Оксана Терещук. Луцьк : Волин. нац. ун-т ім. Лесі Українки, 2009. 208 с.
4. Лабораторний практикум з курсу «Гідрохімія»: для студентів географічного факультету напряму 6.070800 – «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування»/ укдад.: О. С. Бонішко, Л. М. Варга. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2010. 108 с.
5. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні: станом на 1 січня 2020 року / Міністерство розвитку громад та територій України. Київ: Міністерство розвитку громад та територій України, 2020. 192 с.
6. Наказ про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» від 12.05.2010 № 400 / Міністерство охорони здоров'я України URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/z0452-10?find=1&text=суб%27єкт#Text (дата звернення 09.04.2020)
7. Наказ про затвердження Методики визначення масивів поверхневих та підземних вод від 14.01.2019 № 4 / Міністерство екології та природних ресурсів України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0287-19?find=1&text=суб%27єкт#w1_1
8. Поромів Поромівська об'єднана територіальна громада : веб-сайт. URL: http://www.poromivska-gromada.org.ua/поромів/ (дата звернення 03.09.2019)
9. Постанова про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу вод від 19 вересня 2018 р. № 758 / Кабінет Міністрів України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/758-2018-п#n11
10. Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики : Директива Європейського Парламенту і Ради від 23 жовтня 2000 р. 2000/60/ЄС. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962?find=1&text=басейн#Text
11. Щодо захисту вод від забруднення, спричиненого нітратами з сільськогосподарських джерел : Директива Європейського Парламенту і Ради від 12 грудня 1991 р. 91/676/ЄЕС. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/987_002-91#Text
12. Entnahme und Untersuchung von Wasserproben bei Altlasten, schädlichen Bodenveränderungen und Gewässerverunreinigungen : листівка / Bayerisches Landesamt für Umwelt. URL: https://www.lfu.bayern.de/wasser/merkblattsammlung/teil3_grundwasser_und_boden/doc/nr_386.pdf
13. Grundwasser in Deutschland : брошура / Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3642.pdf
14. In search of purity – which country has the cleanest tap water? : веб-сайт. URL: https://www.castlewater.co.uk/blog/which-country-has-the-cleanest-tap-water#castle
15. Protocol for Decentralised Water and Wastewater Systems in First Nations Communities (Decentralised Systems Protocol) : протокол / Indian and Northern Affairs Canada. URL: https://www.aadnc-aandc.gc.ca/DAM/DAM-INTER-HQ/STAGING/texte text/dsp_1100100034992_eng.pdf
16. Wasserwirtschaft in Deutschland. Grundlagen, Belastungen, Maßnahmen : брошура / Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/uba_wasserwirtschaft_in_deutschland_2017_web_aktualisiert.pdf
17. World's Views of Air, Water Quality Highlight Challenges : веб-сайт. URL: https://news.gallup.com/poll/243641/world-views-air-water-quality-highlight-challenges.aspx

ЕКОЛОГІЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ

УДК 502.51(282)
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.9

ІНДЕКСИ ЯКОСТІ ВОДИ: АДАПТАЦІЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ УКРАЇНИ

Заленська Є.А., Войтенко Л.В.
Національний університет біоресурсів і природокористування України
вул. Героїв Оборони, 15, 03041 м. Київ
voitenko@nubip.edu.ua

Традиційна методологія оцінювання якості водних ресурсів для конкретного виду водокористування чи водоспоживання базується на порівнянні експериментально визначених значень параметрів з існуючими нормативами, наприклад, у вигляді ГДК. Але такий підхід не дає можливості оцінити якість води в цілому. Тому, починаючи із 1970-х років, у світову та європейську практику оцінювання екологічного стану водних об'єктів стали широко впроваджуватися індекси якості води (ІЯВ). Це – зручні комунікаційні моделі та інструменти для екологічного моніторингу, оцінювання рівня та періодичності антропічного забруднення, прогнозування впливу змін клімату, які дозволяють «згорнути» багатопараметричні дані в один результат, зрозумілий навіть нефахівцеві. Основна перевага інтегральної оцінки якості води – коректне узагальнення окремих критеріїв з метою оцінювання придатності використання води джерела для певного виду водоспоживання чи водокористування. Запропоновано методологію розрахунку та розроблено програмний продукт для визначення ІЯВ для різних водоспоживачів з урахуванням українських нормативів у області водних ресурсів. Математичний апарат побудовано на використанні функції бажаності Харінгтона. Аналіз часткових бажаностей окремих параметрів дає можливість визначати причину зниження загальної оцінки якості – внаслідок впливу сезонних гідрохімічних факторів чи через антропічне забруднення. На прикладі обробки моніторингових даних питного водозабору м. Біла Церква із річки Рось, розташованого у с. Глибочка Білоцерківського району, показано використання методики ІЯВ для питних цілей та риборозведення. Встановлено, що у літньо-осінній період критично низькою є часткова бажаність параметру ХСК (перманганатної окисності), що робить вододжерело по суті непридатним для питного водопостачання. Проте за шкалою оцінювання якості для риборозведення такого критичного зменшення ІЯВ не виявлено. Аналіз часткових бажаностей виявив факти потрапляння скидів, що містять ртуть на кадмій, які не можна пояснити природними процесами. *Ключові слова:* якість води, функція бажаності Харрінгтона, водоспоживання, водопостачання, нормативи якості.

Water quality indices: adaptation and application for Ukraine. Zalenska Ye., Voitenko L.
The traditional methodology of water quality for a specific type of water use or water consumption is based on a comparison of experimentally determined parameter values with existing standards, for example, in the form of maximum permissible concentrations (MPC). But this approach does not provide an opportunity to assess water quality as a whole. Therefore, since the 1970s, water quality indices (WQI) have been widely introduced into the worldwide and European practice of assessing water bodies' ecological state. These are convenient communication models and tools for environmental monitoring, assessing anthropogenic pollution level and frequency, and forecasting the impact of climate change, which allow you to "collapse" multiparameter data into one result that is understandable even to a non-specialist. The main advantage of the water quality integral assessment is the correct generalization of separate criteria to assess the suitability of using source water for a certain type of water consumption or water use. We have developed a mathematical model and a Python software product for determining the WQI for various water consumers, taking into account Ukrainian regulations in the field of water resources. The mathematical apparatus was built on the use of Harrington's desirability function. The analysis of individual parameters' partial desirability makes it possible to detect the reason for overall quality assessment decreasing – due to the influence of seasonal hydrochemical factors or as a result of anthropogenic pollution. In the example of processing monitoring data of the Bila Tserkva drinking water intake from the Ros River, located in the village of Hlybochka, Bilotserkiv district, the application of the WQI techniques for drinking purposes and fisheries was shown. It has been established that in the summer-autumn period, the partial desirability of theCOD (permanganate index) is critically low, which makes the water source essentially unsuitable for drinking water supply. However, according to the quality assessment scale for fisheries, such a critical reduction of WQI was not detected. The analysis of partial desirability revealed the occurrence of discharges containing mercury and cadmium, which cannot be explained by natural processes. *Key words:* water quality, Harrington's desirability function, water consumption, water supply, quality standards.

Постановка проблеми. Концепція використання узагальнених індексів якості не є новою ідеєю. Вони використовуються у економіці (наприклад, індекс Доу-Джонса). В екології їх застосовують для оцінки біорізноманіття, видового складу (індекси Шеннона, Сімпсона), в медицині – для оцінювання загального стану здоров'я [1], в соціології [2], педагогіці [3] тощо. Індекс якості являє собою об'єднання різнорідних за своєю природою, розмірністю, масштабами впливу на систему факторів впливу в одну чисельну величину, в тому числі для оцінювання якості природних вод [4, 5].

Актуальність питання. Індекси якості води (ІЯВ, англ. WQI) одержали розповсюдження протягом останніх десятиліть, хоча саму ідею вперше

вивловлено понад 150 років назад у Німеччині. Через чисельність, присутність або відсутність певних видів водної біоти оцінювали якість вододжерела для для питного водопостачання [6]. Надалі відбулося стрімке зростання кількості наукових досліджень у цій області. Це доводить мета-аналіз кількості публікацій у базі даних WoS Core Collection, яка включає понад 21 000 рецензованих журналів із більше 250 країн світу. Аналіз динаміки кількості публікацій протягом 2013–2022 рр. наведено на рис. 1.

Перелік рубрик надзвичайно широкий – більше 200. Найбільше – у рубриці наук про довкілля, потім – водні ресурси та харчові технології. Цікаво, що 2318 опублікованих досліджень за вказаний період профінансовано Національною фундацією природничих наук Китаю (NSFC), 510 – Європейською Комісією.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Тематика дослідження відповідає напрямам наукової діяльності та дисертаційних досліджень кафедри аналітичної і біонеорганічної хімії та якості води Національного університету біоресурсів і природокористування України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Моніторинг водного середовища внаслідок його мінливості в часі та просторі, – складна багатокомпонентна задача. Тому за допомогою ІЯВ науковці прагнуть здійснити «укрупнення», перетворити бази даних моніторингу в один показник, виражений у безрозмірній якісній кваліметричній шкалі (дуже добре – добре – задовільно – погано – дуже погано) або у відсотках за 100-бальною шкалою [4–8]. Це – науково обґрунтовані комунікаційні моделі, які дозволяють дати відповідь на просте запитання споживача – яка за якістю вода для задоволення питних потреб, зрошення, рекреації тощо. Історично першою була шкала інтегральної оцінки води, розроблена в 1965 р. Хортоном, де відбір параметрів якості та їхні вагові коефіцієнти визначили методом Делфі – через опитування експертів [9]. Наразі методика значно розширена та удосконалена, особливо із появою нових інструментів – методів «неявної» логіки, ГІС-технологій, нейромереж тощо. Модифікації ІЯВ прийнято у якості регіональних та державних стандартів в США в цілому та в окремих штатах, Канаді, Індії, Британії, Польщі та ін. Найбільш повно стан питання викладено в монографії [6], яка включає класифікацію ІЯВ, аналіз методологічних протиріч, опис програмних продуктів, методи використання ІЯВ. Робота [10] цікава описом ГІС-інтегрованої технології інтегральної оцінки води для зрошення. Автори [11] вказали на організаційно-методологічні проблеми використання ІЯВ у якості інструмента оцінки води через відсутність загальновизнаної методики покрокової розробки. Вибір параметрів, величин вагових коефіцієнтів, методів генерації підіндексів та їхньої агрегації тощо – це авторські методики, які мають як переваги, так і недоліки. Так, в статті [12] автор виконала порівняльний аналіз ІЯВ річки Губісцкалі в Грузії. Підсумок дещо шокуючий: оцінка однієї й тієї ж води коливалася від «доброї» до «незадовільної» залежно від використаної методики.

Невирішені частини загальної проблеми. В Україні для узагальненого оцінювання питної води діє комплексний показник ІЗВ (індекс забрудненості води) (ДСанПіН 2.2.4-171-10, ДСТУ 4808:2007). Проте його розрахунок включає лише вміст речовин I та II класу небезпеки, агрегація результатів проводиться у вигляді середнього арифметичного. Його інформативність низька. Існуюча методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за категоріями [13] непридатна для конкретного виду водоспоживання. В [14] показано, що досвід її використання виявив ряд системних проблем. В 2012 р. методику значно ускладнили, намагаючись більш повно визначити біотичний індекс [15]. Проте знову ж таки він принципово непридатний для оцінки води з точки зору конкретного водоспоживача. Отже, аналіз попередніх досліджень засвідчив, що розроблення ІЯВ, орієнтованих на національну нормативну базу в галузі різних типів водопостачання та водокористування для риборозведення, вирощування продукції

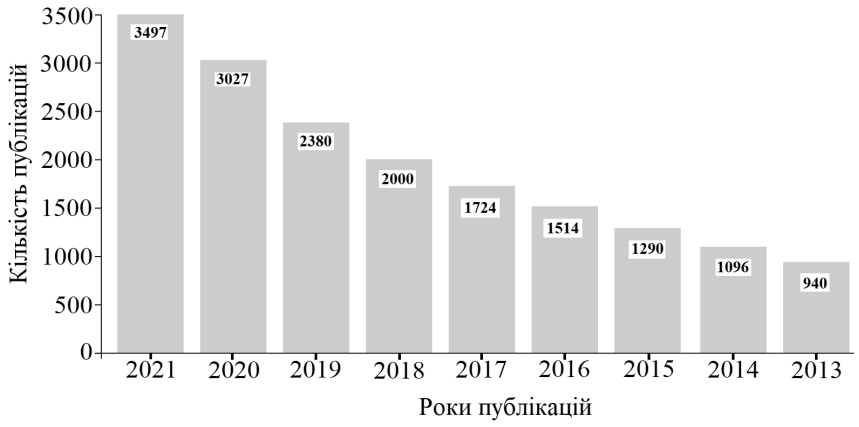


Рис. 1. Аналіз публікаційної активності за запитом "Water Quality Index" (Індекс якості води) протягом 2013–2021 рр. у базі даних WoS Core Collection

на зрошуваних землях, тваринництва, птахівництва, є актуальною науковою та практичною проблемою. Аналогів в Україні наразі немає.

Новизна полягає в розробленні концепції комплексного оцінювання водних ресурсів. Гіпотеза полягає в тому, що якість води можна виразити у вигляді інтегрального показника – узагальненої функції бажаності Харрінгтона, який, на відміну концепції WQI, базується не на суб'єктивних експертних оцінках, а на нормативних вимогах. Використовуючи його, можна спрогнозувати можливі перешкоди і дати науково обґрунтовані рекомендації щодо організації виробництва та придатності вододжерел для задоволення питних потреб людини, тварин та птиці, зрошення, риборозведення та ін.

Методологічне значення. В цілому підхід до розробки концепції ІЯВ [5] описується наступними чотирма кроками:

1. Вибір параметрів: проводиться професійними експертами, агенціями чи державними установами, які визначають законодавче поле. Як правило, рекомендують вибір змінних із 5 класів: вміст розчиненого кисню, показники евтрофікації, гігієнічні, екологічні аспекти тощо. Ми пропонуємо усунути суб'єктивність визначення переліку параметрів складу та властивостей води і включити ті, які представлено у відповідних нормативних документах України стосовно водоспоживання різного призначення: ДСТУ 4808:2007 Джерела централізованого питного водопостачання, Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води та правила вибирання; ДСТУ 2730:2015 Захист довкілля. Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії; ВНД 33-5.5-02-97 Вода для зрошення. Екологічні критерії; СОУ 41.00-37-422:2006 Води поверхневі і підземні. Рекомендації по використанню в тваринництві і птахівництві; СОУ 05.01-37-385:2006 Вода рибогосподарських підприємств. Загальні вимоги та норми.

2. Визначення вигляду кривої функції якості кожного параметру, який має різний фізичний зміст та одиниці вимірювання, та трансформації його в безрозмірні шкали. Ми пропонуємо використати для цього криву бажаності функції Харрінгтона [16].

3. Складання шкал бажаності – це елемент, який викликає найбільше критики щодо критеріїв розподілу за категоріями від «дуже добре» до «незадовільно». Ми базувалися на нормативних документах та виходячи із міркувань, пов'язаних, із відносною точністю аналітичних визначень для високотоксичних сполук (наприклад, важких металів, хлорорганічних сполук).

4. Агрегація підіндексів через математичне перетворення. Найбільш часто використовують розрахунок середнього арифметичного чи середнього геометричного [5, 6]. Ми пропонуємо агрегацію у вигляді середнього геометричного відповідно до узагальненої функції бажаності Харрінгтона.

Методологія розрахунку ІЯВ для різних видів водокористування та водоспоживання втілена у вигляді Python програмного продукту "WODA" (Water Of Different Application), за допомогою якого розрахунок ІЯВ зводиться до введення обраних користувачем параметрів води, обирання ним виду водоспоживання та одержання чисельної відповіді у вигляді ІЯВ за 100-бальною шкалою та словесного опису категорії води (рис. 2).

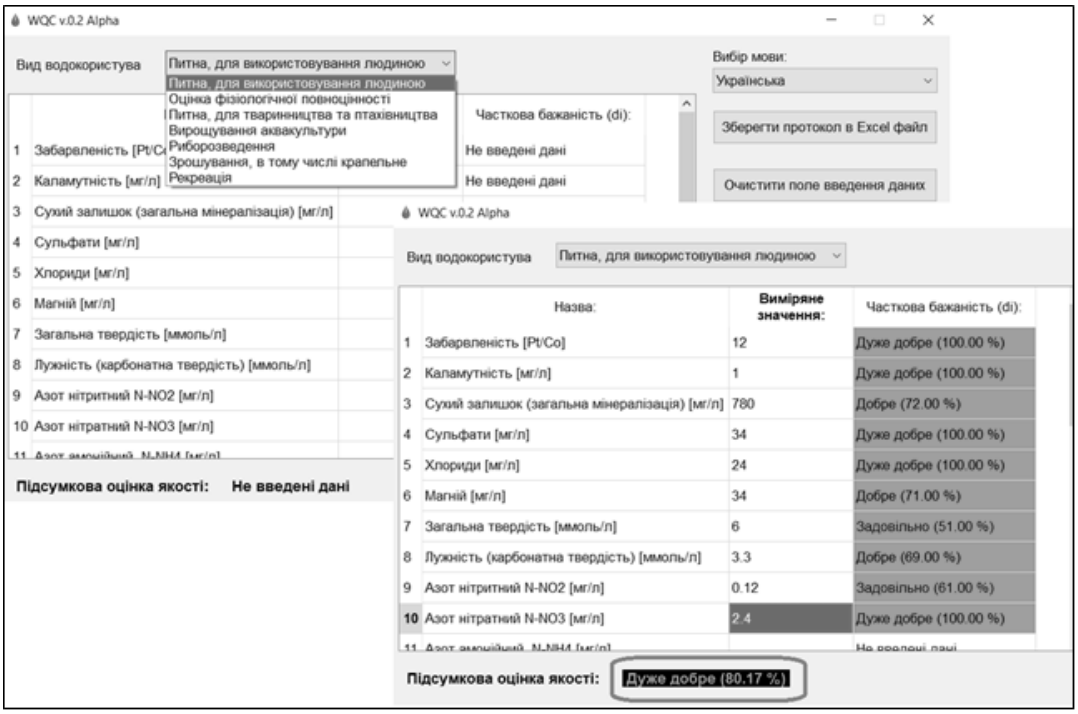


Рис. 2. Загальний вигляд інтерфейсу програми та приклад оцінювання якості питної води для споживання людиною

Таблиця 1

Дані моніторингу складу та властивостей проб води, відібраних на посту спостереження у с. Глибочка Білоцерківського району (питний водозабір м. Біла Церква)

Показник складу та властивостей води	Встановлені значення													
	Січень 2021	Лютий 2021	Березень 2021	Квітень 2021	Травень 2021	Червень 2021	Липень 2021	Серпень 2021	Вересень 2021	Жовтень 2021	Листопад 2021	Грудень 2021	Січень 2022	Лютий 2022
pH, одиниці pH	8,1	8,4	8,4	8,5	8,0	8,2	8,9	8,7	9,2	7,6	8,7	8,4	8,4	8,4
Кольоровість, градуси Co/Pt шкали	12,0	11,5	13,0	12,0	13,2	16,4	15,9	13,0	11,8	10,4	11,8	14,7	12,4	12,4
Розчинений кисень, мг/дм^3	10,7	11,6	9,9	10,8	9,2	8,4	9,0	8,5	7,0	11,5	9,7	10,5	12,5	10,8
Сухий залишок, мг/дм^3	414	356	438	367	420	452	410	329	305	375	386	384	437	433
Фосфор фосфатів, P-PO_4^{3-}, мг P/дм^3	0,052	0,045	0,015	0,016	0,074	0,126	0,041	0,090	0,068	0,019	0,016	0,026	0,039	0,042
Азот амонійний, N-NH_4^+, мг N/дм^3	0,257	0,198	0,443	0,397	0,257	0,832	0,226	0,778	0,475	0,210	0,420	0,506	0,272	0,291
Азот нітритів, N-NO_2^-, мг N/дм^3	0,009	0,007	0,002	0,007	0,009	0,066	0,007	0,007	0,009	0,007	0,007	0,009	0,018	0,018
Азот нітратів, N-NO_3^-, мг N/дм^3	0,79	0,73	0,49	0,24	0,30	0,55	0,64	0,30	0,21	0,46	0,33	0,67	0,73	1,31
ХСК, мг O/дм^3	20,3	23,9	24,7	20,7	23,8	35,2	28,9	30,4	50,0	47,1	26,1	27,9	25,3	22,0
БСК$_5$, мг O/дм^3	2,0	2,2	3,3	3,3	2,5	3,0	3,0	3,3	12,9	12,1	2,0	2,0	1,8	2,1
Залізо загальне, мг/дм^3	0,10	0,11	0,14	0,23	0,33	0,35	0,40	0,46	0,42	0,19	0,13	0,17	0,10	0,11
Марганець, мг/дм^3	0,07	0,05	0,05	0,05	0,09	0,10	0,05	0,05	0,20	0,05	0,05	0,05	0,04	0,06
Кадмій, мг/дм^3	-	-	-	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0051	0,0004	0,0044	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Свинець, мг/дм^3	-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Ртуть, мг/дм^3	-	-	-	-	0,000007	0,000007	0,00025	0,00030	0,000077	0,00030	0,000053	0,000033	0,00129	0,000007

Викладення основного матеріалу. Оцінювання якості поверхневої води для різних видів водоспоживання проведено з використанням даних регіонального офісу водних ресурсів в басейні р. Рось протягом січня 2021 – лютого 2022 р., які знаходяться у вільному доступі. Відбір проб води здійснювали щомісячно у пункті спостереження 218 км, с. Глибочка Білоцерківського району, питний водозабір м. Біла Церква (табл. 1).

На рис. 3 показано, як змінюється значення ІЯВ протягом вказаного періоду для одних і тих же проб води, проте оцінених з точки зору вимог для різних видів водоспоживання: А – для питного водозабору та Б – для риборозведення. Власне, вся наша робота і ставила метою продемонструвати, що якість води – не абсолют, вона повинна оцінюватися по-різному. Так, більшість первинних методик ІЯВ оцінювала якість води з точки зору еколога, якого хвилює проблема функціонування водних екобіоценозів. Тому і відбиралися такі показники складу і властивостей води, які є визначальними для водних екосистем. Самий яскравий приклад – для еколога, фахівця з риборозве-

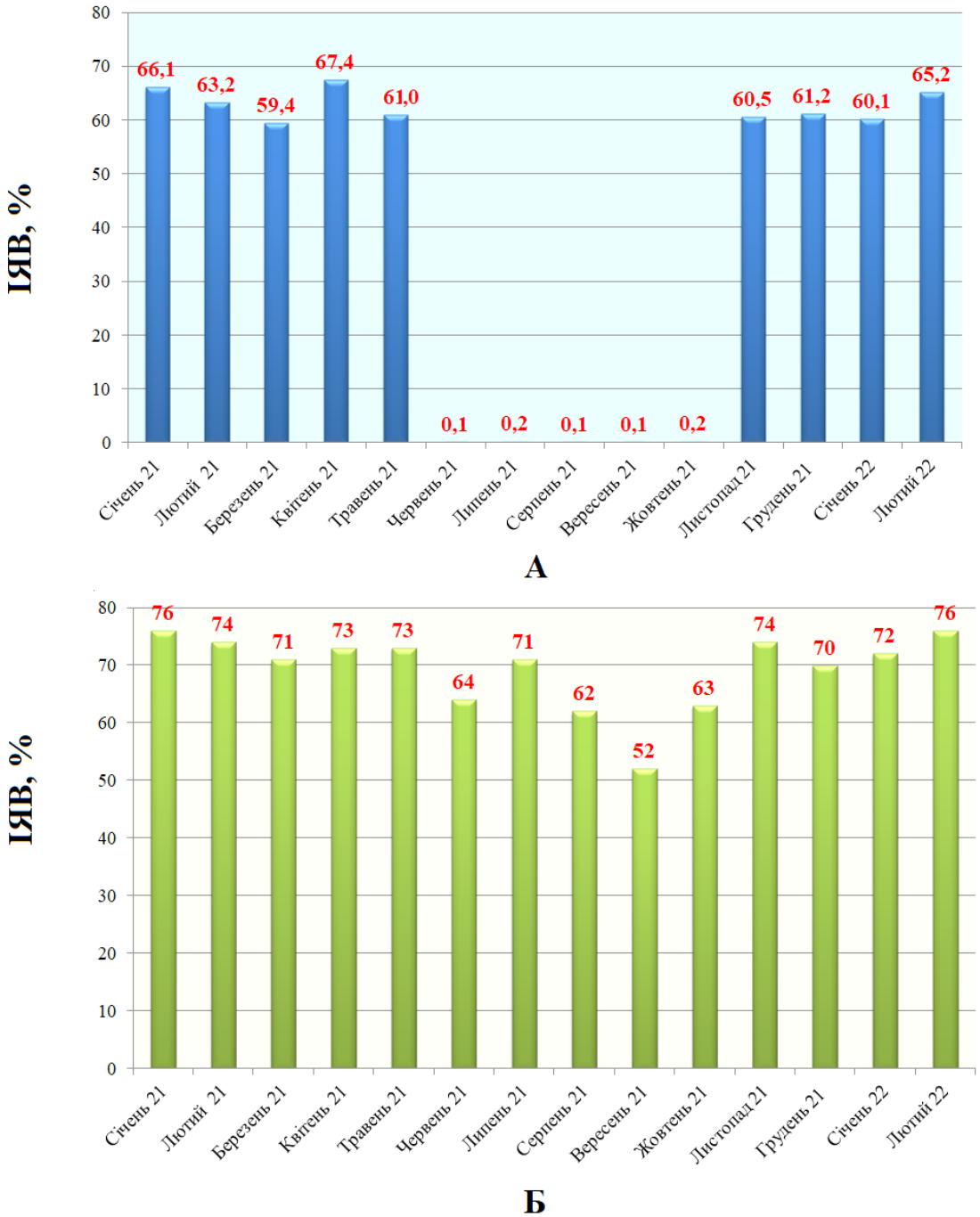


Рис. 3. Порівняння сезонної динаміки ІЯВ для питного водопостачання (А) та для риборозведення (Б) за запропонованою методикою

дення головні показники – вміст розчиненого кисню, температура, показники евтрофікації, тоді як для питного водопостачання вміст розчиненого кисню не має принципового значення і не нормується взагалі.

Аналізуючи дані, представлені на рис. 3, виникає закономірне питання – чому настільки разюче відрізняється оцінка якості води в літньо-осінній період. Судячи із величини ІЯВ для питних цілей (рис. 3А), протягом червня-жовтня вода непридатна для вибирання, тоді як для риборозведення, хоч і спостерігається суттєве погіршення якості (рис. 3Б), але не настільки критичне. Для відповіді слід проаналізувати дані щодо величин часткових бажаностей d_i для окремих параметрів (табл. 2, 3).

Порівняння результатів, наведених в табл. 2 та 3, свідчить про те, що критичним для питного

Таблиця 2

Оцінювання показників якості води для питного водозабору

Місяць, рік	ІЯВ, %	Критичні значення часткових бажаностей d_i, % (категорія – задовільно (67%) та нижче)						
		ХСК	Марганець	Азот амоній-ний	Залізо загальне	Свинець	Кадмій	Ртуть
01,21	66	8	62			*	*	*
02,21	63	3	63			*	*	*
03,21	59	2	63	62		*	*	*
04,21	67	7	63	63	62	63		
05,21	61	3	61		62	63		
06,21	0,1	0,1	60	56		63		
07,21	0,2	0,2	63		57	63		20
08,21	0,1	0,1	63	57	57	63	63	
09,21	0,1	0,1	63	62	57	63		
10,21	0,2	0,2	63			63		
11,21	60	1	61	63		63		
12,21	61	1	62	61		63		
01,22	60	2	63			63		34
02,22	65	5	63			63		

* – дані відсутні

Таблиця 3

Оцінювання показників якості води для риборозведення

Місяць, рік	ІЯВ, %	Критичні значення часткових бажаностей d_i, % (категорія – задовільно (67 %) та нижче)									
		ХСК	$БСК_5$	Азот амоній-ний	Азот нітрит-ний	Розчи-нений кисень	Залізо загальне	Свинець	Кадмій	Ртуть	pH
01,21	76	55		40							
02,21	74	48		51							
03,21	71	47		29							
04,21	73	54		36			62	63			
05,21	73	48		47			59	62			
06,21	64	32		13	48		59	60			
07,21	71	39		49			57	62			53
08,21	62	37		14			55	63	63		58
09,21	52	20	13	24		63	57	62			45
10,21	63	22	15	51				63			
11,21	74	44		32				63			58
12,21	70	41		20				63			
01,22	72	46		46	61			63		34	
02,22	76	52		45	61			63			

* – дані відсутні

водозабору є показник ХСК, тоді як для риборозведення вимоги до цього показника більш м'які. Ще один важливий момент – за даними часткових бажаностей чітко видно, коли саме до річки потрапляють скиди стічних вод, що фіксуються через зростання вмісту амонійного азоту, появу високих концентрацій кадмію та ртуті.

Головні висновки. Ми запропонували універсальну, науково обґрунтовану методику та прикладний інструмент для створення та застосування прикладних ІЗВ, побудованих на національних стандартах та нормативах у області водопостачання та водокористування. Сподіваємося, що цей доробок стане в нагоді як науковцям, так і виробничникам, управлінцям, що керують водними ресурсами України та пересічним громадянам, які запитують – а наскільки якісною є вода, яку я споживаю?

Література

1. Ягенський А.В., Січкарук І.М. Оцінка якості життя у сучасній медичній практиці. *Внутренняя медицина*. 2007. № 3. С. 21–30.
2. Yonk R. M., Smith J. T., Wardle A. R. Building a Quality of Life Index. In: Boas A.A. V., editor. *Quality of Life and Quality of Working Life*. London: IntechOpen; 2017. URL: https://www.intechopen.com/chapters/54577 doi: 10.5772/67821 (cited 2022 Jun 30).
3. Рева О. М., Максимова О.П. Інтегральна оцінка та статистична «норма» недисциплінованості (за даними опитування студентів). *Вісник Національного авіаційного університету. Сер. Педагогіка. Психологія: зб. наук. пр*. 2009. Вип. 1. С. 78–84.
4. Gitau M.W., Chen J., Ma Z. Water Quality Indices as Tools for Decision Making and Management. *Water Resour Manage*. 2016. Vol. 30. P. 2591–2610.
5. Uddin Md. G., Nash S., Olbert A.I. A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. *Ecological Indicators*. 2021. Vol. 122, Article number 107218.
6. Abbasi T., Abassi S. A. Water quality indices. Amsterdam, 2012. 384 p.
7. Tyagi Sh., Sharma B., Singh P., Dobhal R. Water quality assessment in terms of water quality indices. *American Journal of Water Resources*. 2013. Vol. 1, No. 3. P. 34–38.
8. Voitenko L., Voitenko A. Integrated assessment of irrigation water quality based on Harrington's desirability function. *International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences.* 2017. Vol. 1, Issue 1. P. 55–58.
9. Horton R. K. An index number system for rating water quality. *J. Water Pollution Control Federation*. 1965. Vol. 37, Issue 3. P. 300–306.
10. Simsek C., Gunduz O. IWQ Index: A GIS-integrated technique to assess irrigation water quality. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2007. Vol. 128(1–3). P. 277–300.
11. Sutadian A.D., Muttil N., Yilmaz A. Development of river water quality indices – a review. *Environ Monit Assess*. 2016. Vol. 188, Issue 58. URL: https://doi.org/10.1007/s10661-015-5050-0 (cited 2022 Jun 30).
12. Вербецька К.Ю. Порівняльний аналіз методик оцінки якості поверхневих вод (на прикладі типової р. Губісцкалі). *Вісник Нац. ун-ту водн. госп. та природокористування (Серія с.-г. науки).* 2011. Вип. 2(54). С. 91–99.
13. КНД 211.1.4.010-94. Екологічна оцінка якості поверхневих вод суші та естуаріїв України. Методика. Київ. 1994. 27 с.
14. Яцик А.В., Жукинський В.М. Чернявська А.П. Досвід використання «Методики екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями» (пояснення, застереження, приклади). Київ. 2006. 60 с.
15. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. Харків. 2012. 37 с.
16. Bikbulatov E.S., Stepanova I.E. Harrington's desirability function for natural water quality assessment. *Russ J Gen Chem*. 2011. Vol. 81. P. 2694–2704.

УДК 502/504:556.531
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.10

ОСНОВНІ ДЖЕРЕЛА НАДХОДЖЕННЯ СПОЛУК НІТРОГЕНУ ДО ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ

Суходольська І.Л., Басараба І.В.
Рівненський державний гуманітарний університет
вул. Ст. Бандери, 12, 33028, м. Рівне
iryna.sukhodolska@rshu.edu.ua; ilona.basaraba@rshu.edu.ua

У статті розглянуто основні джерела забруднення водойм сполуками Нітрогену. Охарактеризовано точкові та дифузні джерела та підкреслено роль внутрішньоводоймних процесів у формуванні якості води та стану водних екосистем. Точкові джерела (стічні води господарсько-побутових, промислових підприємств та тваринницьких комплексів) мають постійну локалізацію, більш менш постійні кількісні параметри та не залежать від зовнішніх умов. На жаль, недостатнє вилучення нітрогенвмісних сполук існуючими системами очищення стічних вод призводить до їх постійного надходження у водойми. За умов потрапляння з точкових джерел у водоймах переважає Нітроген амонійний. Дифузні джерела (вимивання з водозбірних площ та сільськогосподарських угідь) регулюються властивостями підстильної поверхні та ґрунтів, гідрологічними, кліматичними умовами та рівнем антропогенного навантаження. Інтенсивне використання сільськогосподарських земель зумовлює постійне внесення нітрогенвмісних добрив для отримання високих врожаїв культур. Частина внесених добрив вимивається у водойми та погіршує стан екосистеми. За умов надходження з дифузних джерел у водоймі збільшується вміст нітратів, оскільки вони швидко розчиняються і добре вимиваються з ґрунтів. Швидкість вимивання сполук Нітрогену з сільськогосподарських угідь визначається водним режимом, коефіцієнтами фільтрації верхнього та нижнього шарів ґрунту та значенням балансу Нітрогену. Території вважають вразливими до забруднення, якщо перевищення сумарного вмісту сполук Нітрогену (NO_3^-+NO_2^-+NH_4^+) становить 50 мл/дм^3 (11,3 мл N/дм^3) та прослідковуються ознаки евтрофікації. Водночас надходження сполук Нітрогену до водойм створює сприятливі умови для інтенсивного розвитку гідробіонтів. У процесі своєї життєдіяльність вони можуть як поглинати, так і виділяти нітрогенвмісні сполуки. Саме тому, високі концентрації сполук Нітрогену найчастіше спостерігаються після завершення вегетаційного періоду та відмирання гідробіонтів. *Ключові слова:* нітрогенвмісні сполуки, дифузні джерела, точкові джерела, гідробіонти, евтрофікація.

Main sources of the Nitrogen compounds restocking to water ecosystems. Sukhodolska I., Basaraba I.
The study deals with the main sources of waters pollution with the nitrogen compounds. The author characterizes point and diffuses sources and highlights the role of internal water resources processes in water quality formation and water ecosystems state. Point sources (sewage of household and industrial enterprises, and livestock facilities) have permanent localization, more or less permanent quantitative parameters and do not depend on external conditions. Unfortunately, insufficient extraction of the nitrogen-containing compounds with the existing systems of cleaning systems of sewage causes their permanent restocking to the waters. Under the conditions of point sources restocking the ammonium nitrogen in the waters is increasing. Diffuses sources (leaching from the watersheds and agriculture lands) are regulated with the characteristics of underlying surfaces and soils, hydrological, climate conditions and the level of human induced pressures. Intensive use of agriculture lands causes permanent nitrogen-containing fertilization to get high crops yields. Some part of fertilization is leached to the reservoir and makes ecosystem status even worse. Under the conditions of restocking from diffuses sources the nitrogen content is increasing as they dissolve fast and are well-launched from the soils. The speed of the nitrogen compounds leaching from the agriculture lands is defined with water regime, filtration coefficients of the top layer of soil and the bottom layer of soil and with the meaning of nitrogen balance. Territories are considered as the impressionable to the pollution if the excess of the total content of the nitrogen compounds (NO_3^-+NO_2^-+NH_4^+) is 50 ml/dm^3 (11,3 ml N/dm^3) and the features of eutrophication are noticed. At the same time the nitrogen compounds restocking to the reservoirs forms favorable conditions for intensive development of aquatic organisms. In the process of their vital activity they may either absorb compounds or isolate the nitrogen-containing compounds. That is why high concentrations of the nitrogen compounds are noticed in the most cases after the completion of the vegetative period and aquatic organisms atrophy. *Key words:* the nitrogen-containing compounds, diffuse sources, point sources, aquatic organisms, eutrophication.

Постановка проблеми та актуальність дослідження. Нітроген входить до складу амінокислот, білків, ферментів, нуклеїнових кислот, хлорофілу, вітамінів та багатьох інших біомолекул. У водних екосистемах Нітроген представлений органічними та неорганічними сполуками, які характеризуються різною швидкістю трансформації. Органічні сполуки є більш інертними, а неорганічні здатні швидко змінювати свою форму у середовищі внаслідок додаткового надходження з точкових та дифузних джерел, життєдіяльності гідробіонтів, їх перетворення та зв'язування у мікробіологічних і біохімічних процесах за безпосередньої участі біоти. Вміст та співвідношення неорганічних сполук Нітрогену у водних екосистемах регулюється різними чинниками (O_2, pH, температура води, забруднення металами, біота), але постійне зростання антропогенного тиску суттєво впливає на їх рівновагу [18]. Низький вміст сполук Нітрогену зумовлює порушення ультраструктури хлоропластів, зміну біосинтезу пігментів, уповільнення поглинання CO_2 та інтенсивності фотосинтезу, скорочення фаз вегетації рослин

і відповідно зниження їхньої продуктивності [14]. За оптимальних концентрацій сполуки Нітрогену, навпаки, підвищують біологічну продуктивність водних екосистем. Насамперед зростає продукція фітопланктону, фітобентосу та вищих водних рослин. Перевищення нормативних показників вмісту NO_3^-, NO_2^- та NH_4^+ приводить до погіршення якості води, зниження вмісту розчиненого кисню, підвищення токсичності для гідробіонтів, порушення процесів самоочищення та самовідновлення водойми [1]. Зрештою, високі концентрації сполук Нітрогену у водній екосистемі зумовлюють зміщення рівноваги в системі амоній-нітрити-нітрати, що спричиняє зростання евтрофікації, зміни консортивних зв'язків, швидкості проходження сукцесійних процесів, посилення токсичного ефекту на біоту та відповідно трансформації структурно-функціональної організації водних екосистем. Об'єктивна інформація про джерела надходження сполук Нітрогену до водних об'єктів важлива для розробки дієвих механізмів захисту від забруднення, регулювання та підтримання оптимального екологічного стану водойми.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Збільшення обсягів скиду стічних вод очисних споруд, діяльність підприємств, тваринних комплексів, зростання урбанізації, особливості ведення сільського і комунального господарства та вплив інших чинників призводять до сезонних чи постійних перевищень гранично допустимих концентрацій сполук Нітрогену у водних екосистемах [12]. Внаслідок чого виникла потреба не лише фіксувати ці перевищення, але і пояснити можливі причини їх надходження до водойми. Найчастіше аналізували надходження сполук Нітрогену з точкових джерел. Оскільки вони мають постійну локалізацію, відзначаються відносно постійними кількісними параметрами та не залежать від зовнішніх умов [12]. Вплив точкових джерел визначається за обсягом надходження стічних вод, що враховує сумарний еквівалент навантаження та мінімальний річний стік води. Розраховуючи надходження очищених стічних вод враховують ефективність їх очищення за відповідним показником [15]. Однак досягнути суттєвих змін покращення ситуації, здійснюючи усі необхідні водоохоронні заходи, не вдалося. Основна причина полягає в тому, що не було враховано дії дифузних джерел. Зрештою, цей вплив часто нівелювався через суттєву зміну їх кількісних параметрів та істотну залежність від водного стоку [12]. Згідно [22] саме дифузні джерела зумовлюють 42% загального забруднення річки сполуками Нітрогену. Однак чітко визначити конкретне джерело, що зумовило потрапляння амонію, нітритів чи нітратів до водойми, було досить складно. Проте авторами [16, 17] запропонована методика виділення зон, вразливих до (накопичення) нітратів (наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України № 244 від 15.04.2021), що дозволяє визначити потенційні умови вимивання сполук Нітрогену з водозбірної площі водних об'єктів та шляхи їх потрапляння від джерел сільськогосподарського походження. Згідно запропонованого підходу за умови $NH_4^+ > NO_3^-$ домінують точкові джерела, якщо $NH_4^+ < NO_3^-$ переважають дифузні, а при $NH_4^+ = NO_3^-$ вплив перших та других однаковий [16, 17]. Також ймовірність забруднення від дифузних джерел визначають обчислюючи площу ведення сільського господарства у водозборі (рослинництво) та загальну площу водозбору. Забруднення від дифузних джерел тваринницької галузі визначається за чисельністю поголів'я на гектар або км^2, що відображає узагальнену одиницю поголів'я та площу водозбору [15]. Крім того, важливим джерелом утворення та трансформації сполук Нітрогену у водоймі є процеси життєдіяльності та відмирання гідробіонтів, які важливо враховувати при здійсненні розрахунків забруднення від тих чи інших джерел.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Концентрація сполук Нітрогену у водних екосистемах зазнає нехарактерних змін внаслідок додаткового їх надходження з точкових та дифузних джерел. Очевидно, що вони впливають на процеси амоніфікації, нітрифікації, денітрифікації, азотфіксації та зумовлюють порушення колообігу Нітрогену. Саме тому, концентрації сполук Нітрогену, що надходять до водної екосистеми з різних джерел, необхідно оцінювати та аналізувати з метою регуляції існуючих порушень.

Викладення основного матеріалу. До важливих джерел надходження неорганічних сполук Нітрогену (NO_3^-, NO_2^- та NH_4^+) у водні екосистеми належать комунальне і сільське господарство, промисловість, тваринництво та атмосферні опади [2]. Так, у неочищених міських стічних водах концентрація Нітрогену амонійного складає 8,8–70 мл/дм^3, нітритів – 0,08–0,6 мг/дм^3, а нітратів – 0,6–3 мг/дм^3. Досить висока концентрація Нітрогену амонійного характерна для стічних вод підприємств молочної промисловості (10,6–22 мг/дм^3), м'ясокомбінатів (50–80 мг/дм^3) та рибоконсервних заводів (30–35 мг/дм^3) [5]. У висококонцентрованих стічних водах м'ясопереробних підприємств вміст Нітрогену амонійного може становити 30–180 мг/дм^3. Внаслідок надходження з міськими стічними водами концентрація Нітрогену амонійного становить 15–60 мл/дм^3 [8]. Значні концентрації аміаку та Нітрогену містять стічні води тваринницьких комплексів, тому в разі потрапляння до водойми спричинюють загибель риби та інших гідробіонтів [6]. Вміст аміаку у воді вище 0,2 мг/дм^3 зумовлює зниження життєстійкості риб [21], а вже за більш високих концентрацій проявляються ознаки отруєння. Найбільш помітними з них є порушення координації руху, підвищена рухливість, висока швидкість руху, зростання інтенсивності дихання, судоми, специфічне плавання, спроби

заковтнути повітря з поверхні води, збільшення слизової секреції зябер та поверхневих покривів тіла, крововиливи в зябрах та потемніння шкіри [10].

Загальна кількість Нітрогену у складі стічних вод тваринницьких комплексів визначається не лише чисельністю тих чи інших видів тварин, але і особливостями їх утримання. Загалом вміст Нітрогену у стічних водах коливається від 2,3 до 10,3% [3]. Згідно з [9, 23] стічні води ферм великої рогатої худоби містять 0,5–2,3 гN/дм^3 Нітрогену амонійного, а свиноферми – 2,3 гN/дм^3.

Особливе навантаження викликає сумарна дія впливу декількох джерел на водні екосистеми внаслідок забруднення водозбірних площ, повітряного перенесення і випадіння різних речовин з атмосферними опадами на водну поверхню [6]. Середній вміст Нітрогену амонійного у атмосферних опадах становить 0,45–0,47 мл/дм^3 [4], 1,2 мл/дм^3, а нітратів 3,58 мл/дм^3 [7]. Також з атмосферними опадами до ґрунтів і водойм потрапляють нітрогенвмісні сполуки (NH_3 та NO_x), які утворюються під час спалахів блискавки, інтенсивних лісових пожежах, спалюванні викопних видів палива тощо. Зазначені сполуки впливають на кількісні та якісні показники гідробіонтів. Нітроген, який потрапляє з атмосфери у водойми та ґрунти фіксується водними (5%), наземними організмами і рослинами (81%), а також розчиняється (14%). До атмосфери з наземних екосистем повертається 31% фіксованого Нітрогену, а із водних – 56%. Така суттєва різниця, зважаючи на загальну біомасу екосистем (у водних значно менша ніж у наземних), зумовлена швидкістю «обороту» елементів. У водних екосистем цей процес триває близько 30 днів, а у наземних до 5 років [20].

Інтенсивне використання ґрунтів обумовлює внесення значної кількості нітрогенвмісних добрив, з яких лише 50% споживається рослинами на формування врожаю, а решта внаслідок вимивання потрапляє у водойми [14]. Швидкість вимивання сполук Нітрогену з сільськогосподарських угідь визначається водним режимом ґрунту (промивним, періодично промивним, непромивним). Враховуючи даний показник, коефіцієнти фільтрації верхнього та нижнього шарів ґрунтів та значення балансу Нітрогену виділяють три типи зон ймовірного забруднення води внаслідок вимивання. До першої зони високої ймовірності забруднення вод відносяться території з промивним, періодично промивним водним режимом та позитивним балансом Нітрогену в ґрунті. До другої зони потенційного забруднення вод відносяться території з промивним, періодично промивним водним режимом та дефіцитом балансу Нітрогену в ґрунті. До третьої зони короткострокового забруднення вод відносяться території з непромивним режимом та позитивним балансом Нітрогену в ґрунті [17]. Території вважають вразливими до забруднення, якщо перевищення сумарного вмісту сполук Нітрогену (NO_3^-+ NO_2^-+ NH_4^+) становить 50 мл/дм^3 (11,3 мл N/дм^3) та прослідковуються ознаки евтрофікації. Умова Nнеорг ≥ 11,3 мг N/дм^3 застосовується для річок, що мають коефіцієнт Штрахлера < 5 та підземних вод з показником більше 5 при Nнеорг ≥ 43 мл/дм^3 (9,7 мг N/дм^3). Зазначені коефіцієнти характерні для усіх малих річок (1–3 індекс Штрахлера) та частини середніх (4–7 індекс Штрахлера). Вразливість водойм до забруднення сполуками Нітрогену, що мають коефіцієнт Штрахлера ≥5, визначають за евтрофікацією [16, 17].

Водночас природні біофільтри (луки, ліси, лісосмуги, поля) здатні частково затримувати надходження сполук Нітрогену до водної екосистеми від джерел сільськогосподарського походження. Їхня ефективність регулюється розмірами площі, яку вони займають, станом рослинного покриву, що вкриває ці території, а також потужністю та активністю кореневої системи рослинності [6].

Також органічні мінеральні добрива потрапляють до водних екосистем внаслідок регулювання поживних режимів для забезпечення росту темпів і обсягів виробництва товарної рибної продукції. Нітрогенвмісні речовини, які надходять до водойми внаслідок внесення добрив абсорбуються на зависях, змінюють хімічний склад донних відкладів та води, знижують її прозорість і створюють умови для розвитку бактеріопланктону. Значна кількість речовин може осідати на дно водойми та сприяти масовому розвитку на мілководдях вищої водної рослинності. Крім того, необґрунтовано завищені дози внесення добрив призводять до критично низької концентрації кисню, що зумовлює надходження у водну екосистему недоокиснених отруйних метаболітів. Вони чинять безпосередній вплив на життєдіяльність гідробіонтів [6].

Точкові та дифузні джерела забруднення сприяють активному надходженню сполук Нітрогену до водойми. Точкові місця скиду стічних вод комунально-побутових та промислових вод зумовлюють потрапляння сполук Нітрогену переважно у формі амонію. З розподілених територією водозабору дифузних джерел сільськогосподарського походження (використання добрив, вирощування та випас худоби) вимиваються добре розчинні нітратні форми [11].

Найважливішим внутрішнім джерелом надходження сполук Нітрогену до водойми є біота. Зокрема, водорості, вищі водні рослини, риби та інші гідробіонти у процесі своєї життєдіяльність здатні як виділяти, так і поглинати нітрогенвмісні сполуки. Частина доступних нітрогенвмісних сполук утилізується організмами, беручи участь у процесах їх пластичного і енергетичного обміну [6]. Зокрема, вищі водні рослини та фітопланктон поглинають сполуки Нітрогену для забезпечення процесів фотосинтезу, азотного обміну, а також запасають у значних кількостях для можливого використання

за несприятливих умов. Найчастіше мінімальні концентрації сполук Нітрогену фіксуються у вегетаційний період, далі збільшуються восени і досягають максимуму взимку. Внаслідок мінімального споживання Нітрогену відбувається розкладання органічних речовин і його перехід з органічних форм у неорганічні [13]. Певна частка сполук Нітрогену може надходити до водойми внаслідок відмирання видів після закінчення вегетаційного періоду [18].

Головні висновки. Сполуки Нітрогену надходять до водних екосистем внаслідок повітряного перенесення і випадіння з атмосферними опадами, вимивання з водозбірних площ та сільськогосподарських угідь, забруднення ґрунтових вод, скидання промислових і господарсько-побутових стічних вод, потрапляння стічних вод тваринницьких комплексів, внесення необґрунтовано завищених доз добрив для регулювання поживних режимів з метою збільшення товарної рибної продукції, коливання процесів життєдіяльності та відмирання гідробіонтів. Різноманітність джерел надходження сполук Нітрогену до водних екосистем створює загрози для їх нормального функціонування. Рівень забруднення та небезпеки, внаслідок потрапляння сполук Нітрогену, від точкових та дифузних джерел залежить від їх концентрацій, антропогенного навантаження, особливостей водного об'єкту, геоморфології, рельєфу, властивостей підстильної поверхні, водного режиму ґрунтів, глибини залягання ґрунтових вод, гідрологічних та кліматичних умов. Найбільш суттєві зміни відбуваються у водоймі внаслідок дії декількох джерел одночасно та протягом тривалого інтервалу часу.

Перспективи використання результатів дослідження. Врахування сумарної дії впливу точкових і дифузних джерел дозволить розробити низку ефективних водоохоронних заходів для покращення екологічного стану водних екосистем.

Література

1. Власюк Я.В., Вовкодав Г.М. Оцінка якості води Київського водосховища за еколого-санітарними показниками. *Природні ресурси регіону: проблеми використання, ревіталізації та охорони:* матеріали ІІІ-ого міжнародного наукового семінару. Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2018. С. 66–69.
2. Вовкодав Г.М., Семенов Д.В. Оцінка сучасного стану вод річки Тиса. *Природні ресурси регіону: проблеми використання, ревіталізації та охорони:* матеріали ІІІ-ого міжнародного наукового семінару. Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2018. С. 72–76.
3. Воронцов О.О. Стічні води тваринницьких комплексів як субстрат для анаеробної ферментації. *Наукові праці Національного університету харчових технологій.* 2016. Т. 22, № 6. С. 52–65.
4. Герецун Г.М., Масікевич Ю.Г., Гольонко Р.А. Аналіз забруднення атмосферних опадів домішками на вулицях міста. *Науковий вісник НЛТУ України.* 2019. Т. 29, № 1. С. 66–69.
5. Долина Л.Ф. Очистка сточных вод от биогенных элементов: монография. Днепропетровск : Континент, 2011. 198 с.
6. Дудник С.В., Євтушенко М.Ю. Водна токсикологія: основні теоретичні положення та їхнє практичне застосування: монографія. К. : Вид-во Українського фітосоціологічного центру, 2013. 297 с.
7. Карабин В.В., Рак Ю.М. Хімічний склад атмосферних опадів в околицях м. Борислава. *Збірник наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища.* К. : ІГНС, 2016. Вип. 26. С. 41–49.
8. Ковальчук В.А. Біологічна нітрифікація-денітрифікація у стічних водах із високими концентраціями амонійного азоту. *Комунальне господарство міст* 2012. № 105. С. 315–319.
9. Ковальчук В.А. Очистка стічних вод. Рівне : Рівненська друкарня, 2002. 622 с.
10. Кофонов К., Потрохов О.С., Зіньковський О.Г. Вплив амонійного азоту на біохімічні показники молоді карася сріблястого (*Carassius auratus* Gibelio B.). *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія : Біологія.* 2019. № 1. С. 61–68.
11. Лобода Н.С., Катинська І.В. Визначення антропогенних навантажень та екологічних ризиків в басейні р. Кривий Торець (за програмою підтримки ЄС водної політики України). *Український гідрометеорологічний журнал*, 25. 2020. С. 81–92.
12. Лузовіцька Ю.А., Осадча Н.М., Артеменко В.А. Визначення чинників формування біогенного складу річки Десни за допомогою сумарних та різницевих інтегральних кривих. *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту.* 2016. № 269. С. 86–93.
13. Маджд С.М., Кіпніс Л.С., Франчук Г.М. Перспективи розробки методів біотестування для контролю впливу на довкілля авіатранспортних процесів. *Наука та молодь.* К. : НАУ, 2003. С. 125–129.
14. Макрушин М.М., Макрушина Є.М., Петерсон Н.В., Мельников М.М. Фізіологія рослин / за ред. М.М. Макрушина. Вінниця : Нова Книга, 2006. 416 с.
15. Методичні рекомендації щодо визначення основних антропогенних навантажень та їхніх впливів на стан поверхневих вод / Вихрист С., Мудра К., Осійський Е., Скоблей М., Ярошевич О. Держводагентство. 2018. 21 с.
16. Наказ Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України «Про затвердження Методики визначення зон, вразливих до (накопичення) нітратів» № 244 від 15.04.2021. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0776-21#Text (дата звернення: 25.05.2022).
17. Осадча Н.М., Осадчий В.І., Осипов В.В., Білецька С.В., Ковальчук Л.А., Артеменко В.А. Методика виділення зон, вразливих до забруднення поверхневих і підземних вод нітратними сполуками. *Український географічний журнал : науково-теоретичний журнал.* 2020/2. № 4. С. 38–48. DOI: https://doi.org/10.15407/ugz2020.04.038
18. Суходольська І.Л., Грубінко В.В. Механізми підтримання гомеостазу Нітрогену та його вторинне використання у гідроекосистемах : монографія. Київ : Видавничий дім «Кондор», 2019. 192 с.

19. Ухань О.О., Осадча Н.М. Оцінка антропогенного навантаження біогенними елементами та органічними речовинами у басейні р. Тетерів. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія.* 2021. № 1(59). С. 58–63.
20. Хендерсон-Селлерс Б., Маркленд Х.Р. Умирающие озера. Причины и контроль антропогенного эвтрофирования. Л. : Гидрометеоиздат, 1990. 280 с.
21. Abdalla A., El-Shebly, Heba Allah M.J. Gad Effect of chronic ammonia exposure on growth performance, serum growth hormone (GH) levels and gill histology of nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Microbiol. Biotech. Res.* 2011. 1(4). P. 183–197.
22. Maps of the Danube River Basin District Management Plan 2015. URL: https://www.icpdr.org/main/publications/maps-danube-river-basin-district-management-plan-2015 (дата звернення: 12.06.2022).
23. Moussa V.S. Nitrification in Saline Industrial Wastewater: Dissertation for The Degree Doctor of Philosophy. *Delft University of Technology*, Delft, Netherland, 2004. 176 p.

УДК 582.26/27 (282.247.322)
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.11

ОЦІНКА СКЛАДНОСТІ СТРУКТУРИ ФІТОПЛАНКТОНУ РІЗНОТИПНИХ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ

Шелюк Ю.С.
Житомирський державний університет імені Івана Франка
вул. В. Бердичівська, 40, 10002, м. Житомир
Shelyuk_Yulya@ukr.net

У роботі представлено порівняння інформаційного різноманіття фітопланктону за індексом Шеннона (*Нв*) водних екосистем басейнів головних річок Українського Полісся – Прип'яті і Тетерева – від природних вод до антропогенно змінених та штучних водних об'єктів, які відрізняються умовами існування гідробіонтів та рівнем антропогенного навантаження. З'ясовано вплив факторів середовища на складність структури водоростевих угруповань. Показано, що найбільшу складність структури угруповань мають річкові екосистеми. Його зниження відбувається в напрямку: річки (H_B=1,89±0,02 біт/мг) → водосховища (H_B=1,76±0,03 біт/мг) → озера (H_B=1,64±0,05 біт/мг) → водойми, які виникли на місці кар'єрів із видобутку корисних копалин (H_B=1,62±0,10 біт/мг). Попередніми дослідженнями авторки встановлено, що такий самий ряд формують водні об'єкти поліського регіону й за часткою виявлених у них видів-домінантів, а також видів водоростей планктону із високою частотою трапляння (понад 50%), що пояснюється збільшенням монотонності умов існування при переході від лотичних умов до лентичних.

Зростання вмісту загального нітрогену, а у водосховищах – фосфору фосфатів обумовлює зменшення інформаційного різноманіття водоростевих угруповань, а отже зменшення їх складності. Пряма залежність між середніми значеннями індексу Шеннона і родовими коефіцієнтами є підтвердженням того, що спрощення таксономічної структури фітопланктону обумовлює й зниження інформаційного різноманіття. У штучно створених (кар'єрах) й антропогенно змінених (водосховищах) водних екосистемах зміни інформаційного різноманіття лімітуються температурним чинником (r=0,54 при n=270 і r=-0,19 при n=150), а отже в умовах змін клімату складність структури фітопланктону цих водойм може зазнавати помітних змін.

При усередненні величин індексу Шеннона за рангами біомаси було встановлено, що максимальні значення інформаційного різноманіття у водотоках та створених на них водосховищах знаходяться в діапазоні біомаси від 2 до 5 мг/дм^3, в озерах і кар'єрах – близько 1 мг/дм^3. *Ключові слова:* фітопланктон, інформаційне різноманіття, Полісся, біомаса, індекс Шеннона.

Assessment of the complexity of the phytoplankton structure of different types of aquatic ecosystems of the Ukrainian forest. Sheliuk Yu.

The paper compares the information diversity of phytoplankton according to the Shannon (Hb) index of aquatic ecosystems of the main watercourses Polesye – Prypiat River and the Teteriv River from natural waters to anthropogenically modified and artificial water bodies, which differ in the conditions of existence of aquatic organisms and the level of anthropogenic load. The influence of environmental factors on the complexity of the structure of algae groups has been clarified. It is shown that river ecosystems have the greatest complexity of group structure. Its decrease occurs in the direction: rivers (H_B = 1.89 ± 0.02 bit / mg) → reservoirs (H_B = 1.76 ± 0.03 bit / mg) → lakes (H_B = 1.64 ± 0.05 bit) / mg) → reservoirs that arose on the site of mining quarries (H_B = 1.62 ± 0.10 bit / mg). Previous studies have shown that the same number of water bodies of the Polesye region and the share of dominant species found in them, as well as species of plankton algae with a high frequency of occurrence (over 50%), due to increasing monotony of living conditions in the transition from conditions to tape.

The increase in the content of total nitrogen, and in reservoirs – phosphorus phosphates leads to a decrease in the information diversity of algae groups, and thus reduce their complexity. The direct relationship between the average values of the Shannon index and generic coefficients is evidence that the simplification of the taxonomic structure of phytoplankton leads to a decrease in information diversity. In artificially created (quarries) and anthropogenically modified (reservoirs) aquatic ecosystems, changes in information diversity are limited by the temperature factor (r = 0.54, n = 270 and r = -0.19 at n = 150), and therefore in conditions of change climate complexity of their phytoplankton structure may undergo significant changes.

By averaging the Shannon index by biomass rankings, it was found that the maximum values of information diversity in watercourses and reservoirs created on them are in the range of biomass from 2 to 5 mg / dm^3, in lakes and quarries – more than 1 mg / dm^3. *Key words:* phytoplankton, information diversity, Polesye region, biomass, Shannon index.

Постановка проблеми. Важливим показником стану водних екосистем є складність структури угруповань водоростей: чим вище інформаційне різноманіття, тим стабільніші угруповання. У гідробіологічній практиці для оцінки стану біоти одним із найчастіше вживаних є індекс Шеннона [1].

Актуальність дослідження. Пізнання закономірностей структурно-функціональної організації екосистем формує теоретичне підґрунтя для оцінки їх стану, прогнозу змін, раціонального використання водних ресурсів. Досі у науковій літературі немає чіткого уявлення про механізми формування складності структури фітопланктону в градієнті залежності від антропогенного навантаження попри регулярність його вивчення на окремих водних об'єктах.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Українське Полісся багате на водойми й водотоки різних типів із відмінним рівнем антропогенного навантаження. Визначення та порівняння інформаційного різноманіття фітопланктону за індексом Шеннона (H_B) водних екосистем поліського регіону – від природних вод до істотно змінених та штучних водних об'єктів, які відрізняються умовами існування гідробіонтів, дозволило виявити основні закономірності формування складності структури автотрофної ланки водних екосистем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Структурно-функціональні характеристики фітопланктону водних екосистем є чутливим індикатором умов існування, що відображає особливості природничо-історичного розвитку та ступінь антропогенного навантаження [2, 3]. Альгофлористичними дослідженнями від середини минулого століття було охоплено багато регіонів світу [4–6]. Однак, накопичені в літературі дані переважно стосуються окремих типів водних екосистем [7–9]. Низкою авторів показано, що зміни, обумовлені надходженням біогенів у континентальні води, створюють умови для розвитку процесу антропогенного евтрофування, який викликає перебудови водних екосистем, зміни їх складності [10–12].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Не зважаючи на значну регулярність вивчення окремих водних об'єктів, досі серед дослідників нема єдиної думки щодо механізмів, які впливають на складність структури фітопланктону.

Новизна. Уперше здійснено оцінку складності структури фітопланктону з використанням басейнового підходу, з'ясовано особливості впливу чинників середовища на різноманіття угруповань планктону.

Методологічне або загальнонаукове значення. Вивчення закономірностей формування складності структури фітопланктону у типологічно різних водних об'єктах під впливом природних та антропогенних чинників із використанням басейнового принципу на прикладі Українського Полісся можуть сприяти подальшому розвитку уявлень про зміни різноманіття угруповань гідробіонтів.

Викладення основного матеріалу. Матеріалом для роботи слугували проби, відібрані упродовж 2005–2021 рр. на різнотипних водних об'єктах Українського Полісся. Дослідженнями були охоплені річки Прип'ять, Тетерів, Горинь, Случ, Уж, Уборть, Жолобниця, Корчик, Вілія, Ікопоть, Полква, Синявка, Бересток, Кремно, Деревичка, Гнилоп'ять, Кам'янка Лісова, Путятинка, Лісна, Крошенка, Коднянка, Бобрівка, Зелена, Гуйва; озера карстового походження Лукомське, Воронківське й Острівське; озеро постгляціального похождення Дідове і заболочене озеро Горохівка; водосховища: Денишівське, Житомирське (р. Тетерів), Бердичівське (р. Гнилоп'ять), Новоград-Волинське (р. Случ); а також затоплені кар'єри із видобутку корисних копалин: гранітні (Богунський, Соколовський, Крошенський і Сонячний (м. Житомир), Цегельний (м. Коростень) і Морозівський (м. Корець); силікатні (Селецький і Слобідський (м. Житомир); ільменітовий кар'єр Іршанського гірничо-збагачувального комбінату.

Проби відбирали переважно щомісяця впродовж не менше 3-х вегетаційних сезонів (березень – листопад) і опрацьовували за загальноприйнятими методиками [13]. У цілому було відібрано 2065 альгологічних проб. Оцінку трофічного статусу вод проводили згідно [13].

Паралельно з відбором альгологічних проб вимірювали температуру води ртутним термометром ТБ-3-М1; прозорість – за диском Секкі; кольоровість – за допомогою біхроматно-кобальтової шкали; *pH* – pH – метром 150М [14]; вміст нітрогену нітратів – за ГОСТ 18826-73 [15], нітрогену амонійного й нітритного – за ГОСТ 4192-82 [16] із подальшим перерахунком у загальний нітроген; фосфору фосфатів – за ДСТУ ISO 6878-2003 [17]. Гідрохімічні й гідрофізичні аналізи проводили посезонно впродовж 2010–2020 рр.

Індекс Шеннона визначали за біомасою фітопланктону, оскільки біомаса є мірою реалізованої у процесі фотосинтезу первинної продукції.

Статистичну обробку отриманих даних проводили за допомогою стандартних методів, реалізованих у пакеті статистичних програм Microsoft Excel та STATISTICA 6.0. У роботі обговорюються лише значимі кореляції (p<0,05). Середні значення показників, які аналізувалися, виражали як середнє значення ± стандартна похибка (x ± SE). Гідрохімічні параметри досліджуваних водних об'єктів, особливості їх таксономічного складу і кількісних показників фітопланктону наведено авторкою у попередніх її публікаціях [18, 19].

За період досліджень (2005–2021 рр.) у водних об'єктах поліського регіону загалом ідентифіковано 814 видів (879 внутрішньовидових таксонів із номенклатурним типом виду включно), що належать до 15 класів, 43 порядків, 99 родин і 263 родів. Узагальнені дані щодо структури фітопланктону досліджуваних водних екосистем наведено у таблиці 1.

У досліджуваних поліських річках середні значення індексу Шеннона варіювали від 1,07 до 2,94 біт/мг. Значення H_B вказують на переважання полідомінантної структури фітопланктону у річках Тетерів, Горинь, Случ, Кремно, Зелена, Коднянка, Лісна і Жолобниця (2,03–2,94 біт/мг), олігодомінантної – Гнилоп'ять, Уж, Уборть, Корчик, Вілія, Деревичка, Крошенка, Корчик, Полква, Путятинка, Бобрівка і Синявка (1,54–1,92 біт/мг). Найнижчі значення індексу Шеннона спостерігали в річках Гуйва, Бересток та Ікопоть (1,07–1,40 біт/мг). Переважання

Таблиця 1

Показники розвитку фітопланктону різнотипних водних об'єктів Українського Полісся

Показники	Типи водних об'єктів			
	Водотоки	Водосховища	Озера	Кар'єри
Кількість видів	106,8±5,29	118,8±2,82	58,4±2,44	98,7±3,00
Чисельність, млн кл./дм^3	5,58±0,98	9,29±1,45	1,38±0,25	1,79±0,09
Біомаса, мг/дм^3	2,30±5,29	2,88±0,37	1,36±0,15	1,95±0,15
H_B, біт/мг	1,89±0,02	1,76±0,03	1,64±0,05	1,62±0,10

моно- і олігодомінантної структури фітопланктону зазначених водотоків значною мірою обумовлено антропогенним навантаженням на їх екосистеми. Аналіз залежності індексу Шеннона від дії різних чинників середовища показав, що абіотичним параметром, який визначає величину H_B у річках, є вміст загального нітрогену: r= -0,67, p=0,000001, n=63. Вплив *pH* на H_B був прямим (r=0,474, p=0,000007, n=63), а кольоровості вод – зворотнім (r= –0,248, p=0,0005, n=63).

Позитивну кореляцію виявлено між середніми значеннями індексу Шеннона і родовими коефіцієнтами фітопланктону водотоків (r=0,52, p=0,000002, n=210). Встановлена залежність вказує на те, що спрощення таксономічної структури фітопланктону супроводжується й зниженням інформаційного різноманіття.

Досліджуваним озерним екосистемам властиве переважання монодомінантної та олігодомінантної структури фітопланктону (H_B=0,94±0,05 – 1,93±0,04 біт/мг), окрім Острівського озера з полідомінантною структурою (H_B=3,06±0,11 біт/мг). Аналіз зв'язку інформаційного різноманіття з концентрацією біогенів показав помірний вплив вмісту загального нітрогену на H_B: r= –0,45, p=0,000001, n=30. Як і у водотоках, фосфор фосфатів не мав достовірного впливу на складність структури водоростевих угруповань (p=0,06). Виявлено тісніший, ніж у поліських річках, зв'язок H_B із *pH* озерної води (r=0,83, p=<0,000001, n=30), із кольоровістю він майже відсутній (r= –0,05, p=0,01, n=30). Зміни інформаційного різноманіття не визначалися температурою води (r=-0,11, p=0,06, n=60).

У досліджуваних водосховищах відмічали переважання олігодомінантної структури фітопланктону – середні значення індексу H_B в окремих водосховищах варіювали від 1,46 до 1,81 біт/мг. Встановлено, що абіотичним параметром, який визначає величину інформаційного різноманіття у водосховищах був вміст фосфору фосфатів (r=-0,73, p=<0,000001, n=30), при цьому зв'язок H_B із вмістом загального нітрогену виявився недостовірним (p=0,09). Залежність індексу Шеннона від *pH* була прямою (r=0,63, p=0,000001, n=30), із кольоровістю води – зворотною (r= –0,62, p=0,000001, n=30). Вплив температури води на зміни інформаційного різноманіття виявився слабким (r=–0,19, p=0,0006, n=150).

У водоймах, які утворилися на місці затоплених кар'єрів із видобутку корисних копалин, інформаційне різноманіття змінювалося у широких межах: у Соколовському, Іршанському, Богунському, Сонячному, Цегельному та Селецькому кар'єрах H_B рівне 0,98±0,04–1,94±0,12 біт/мг, що відповідає моно- та олігодомінантній структурі фітопланктону; у Морозівському, Крошенському і Слобідському кар'єрах середні значення H_B сягають 2,03±0,01–2,88±0,01 біт/мг (полідомінантна структура). Зростання вмісту загального нітрогену обумовлює зниження H_B у кар'єрах (r=-0,36, p=0,000007, n=46, температури води – його зростання (r=0,54, p=0,000001, n=270).

При усередненні величин індексу Шеннона за рангами біомаси було встановлено, що максимальні значення інформаційного різноманіття у водотоках та створених на них водосховищах знаходяться в діапазоні біомаси від 2 до 5 мг/дм^3, в озерах і кар'єрах – трохи більше 1 мг/дм^3.

Отже, у ряду: річки → водосховища → озера → кар'єри зменшується H_B. Такий самий ряд формують водні об'єкти поліського регіону й за часткою виявлених у них видів-домінантів, а також видів водоростей планктону із високою частотою трапляння (понад 50%) [20], що пояснюється збільшенням монотонності умов існування при переході від лотичних умов до лентичних.

Головні висновки. Аналіз інформаційного різноманіття за індексом Шеннона, розрахованого за біомасою фітопланктону різнотипних водних екосистем Українського Полісся, показав, що найбільшу складність структури угруповань мають річкові екосистеми. Його зниження відбувається в напрямку: річки (H_B=1,89±0,02 біт/мг) → водосховища (H_B=1,76±0,03 біт/мг) → озера (H_B=1,64±0,05 біт/мг) → кар'єри із видобутку корисних копалин (H_B=1,62±0,10 біт/мг).

Зростання вмісту загального нітрогену, а у водосховищах – фосфору фосфатів обумовлює зменшення інформаційного різноманіття водоростевих угруповань.

Пряма залежність між середніми значеннями індексу Шеннона і родовими коефіцієнтами є підтвердженням того, що спрощення таксономічної структури фітопланктону обумовлює й зниження інформаційного різноманіття.

У штучно створених (кар'єрах) й антропогенно змінених (водосховищах) водних екосистемах зміни інформаційного різноманіття лімітуються температурним чинником (r=0,54 при n=270 і r=-0,19 при n=150),

а отже в умовах змін клімату складність їх структури фітопланктону може зазнавати помітних змін.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані результати дослідження можуть бути використані для подальшого прогнозування сценаріїв змін угруповань гідробіонтів під дією природних і антропогенних чинників, розробки заходів щодо запобігання деградації водних екосистем.

Література

1. Одум Ю. Экология. Москва : Мир, 1986. Т. 1. 328 с.
2. Barinova S. S., Klochenko P. D., Belous Y. P. Algae as indicators of the ecological state of water bodies: methods and prospects. Hydrobiological Journal. 2015. 51(6). P. 3–21.
3. Deng J., Qin B., Sarvala J., Salmaso N., Zhu G., Ventelä A.-M., Zhang Y., Gao G., Nurminen L., Kirkkala T., Tarvainen M., Vuorio K. Phytoplankton assemblages respond differently to climate warming and eutrophication: a case study from Pyhäjärvi and Taihu. Journal of Great Lakes Research. 2016. 42(2). P. 386–396.
4. Barinova S. Algal diversity dynamics, ecological assessment, and monitoring in the river ecosystems of the eastern Mediterranean, 2011. New York : Nova Science Publishers. 363 p.
5. Omar W. M., Makhlough A. Water quality of tropical reservoir based on spatio-temporal variation in phytoplankton composition and physico-chemical analysis. International Journal of Environmental Science and Technology. 2014. 12(7). P. 1735–1472.
6. Xuehual L., Xiaofei L., Lin, W., Zhaoxue T. Diversity in phytoplankton communities: a field test of the intermediate disturbance hypothesis. Ecological Engineering. 2019. 129. P. 54–60.
7. Santana L. M., Crossetti L. O., Ferragut C. Ecological status assessment of tropical reservoirs through the assemblage index of phytoplankton functional groups. Brazilian Journal of Botany. 2017. 40. P. 695–704.
8. Rodrigues L. C., Pivato B. M., Vieira L. C., Bovo-Scomparin V. M., Bortolini J. C., Pineda A., Train S. Use of phytoplankton functional groups as a model of spatial and temporal patterns in reservoirs: a case study in a reservoir of central Brazil. Hydrobiologia. 2018. 805(1). P. 147–161.
9. Cupertino A., Gücke B., Rückert G., Figueredo C. Phytoplankton assemblage composition as an environmental indicator in routine lentic monitoring: taxonomic versus functional groups. Ecological Indicators. 2019. 10. P. 522–532.
10. Kozak A., Budzynska A., Dondajewska-Pielka R., Kowalczewska-Madura K., Gołdyn R. Functional groups of phytoplankton and their relationship with environmental factors in the restored Uzarzewskie Lake. Water. 2020. 12. P. 313.
11. Reynolds C. S., Huszar V., Kruk C., Naselli-Flores L., Melo S. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. Journal of Plankton Research. 2002. 24(5). P. 417–428.
12. Polimene L., Brunet C., Butenschön M., Martinez-Vicente V., Widdicombe C., Torres R., Allen, J. Modeling a light-driven phytoplankton succession. Journal of Plankton Research. 2014. 36(1). P. 214–229.
13. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / за ред. В. Д. Романенка. Київ : ЛОГОС, 2006. 408 с.
14. Лурье Ю. Ю. Унифицированные методы исследования качества вод. Москва : Изд-во СЭВ, 1977. Ч. 3. 91 с.
15. ГОСТ 18826-73. Вода питьевая. Методы определения содержания нитратов. Москва : Изд-во стандартов, 1972. 6 с.
16. ГОСТ 4192-82. Вода питьевая. Метод определения минеральных азотсодержащих веществ. Москва : Изд-во стандартов, 1983. 13 с.
17. ДСТУ ISO 6878:2008. Якість води. Визначення фосфору. Спектрометричний метод із застосуванням амонію молібдату. Київ : Держспоживстандарт України, 2011. 6 с.
18. Шелюк Ю.С. Фітопланктон різнотипних водних екосистем Полісся : автореф. дис. … доктор. біол. наук. Київ, 2020. 35 с.
19. Shelyuk Yu. S. Formation of energy fluxes in small reservoirs. Hydrobiological Journal. 2020. 56(2). P. 17–32.
20. Shelyuk Yu. S. Regularities of primary production formation in river ecosystems (the basins of the Pripyat' and Teterev Rivers, Ukraine). Hydrobiological Journal. 2019. 55(4). P. 38–54.

УДК 628.33
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.12

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА МЕТОДІВ ОЧИСТКИ ГАЛЬВАНІЧНИХ СТОКІВ МАШИНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Босюк А.С., Шестопалов О.В.
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
вул. Кирпичова, 2, 61002, м. Харків
bosuyk0614@ukr.net, pheonixalex@gmail.com

Екологічна безпека – одна з головних задач сучасності, при вирішенні якої гостро стоїть питання щодо контролю над рівнем забруднення навколишнього середовища та раціонального використання водних ресурсів. На сьогодні, залишається не вирішеним питання очищення стічної води промислових підприємств, у т.ч. машинобудівних, від екологічно небезпечних домішок, які негативно впливають на природне середовище. Тому, у статті було вирішено актуальне науково-практичне завдання – підвищення екологічної безпеки машинобудівних підприємств шляхом удосконалення вже існуючих методів очистки стічної води, та зниження впливу забруднюючих речовин на довкілля. Обґрунтовано актуальність теми статті, сформульовано мету та завдання. Проведено аналіз науково-технічних джерел інформації, щодо використання сучасних технологій та методів очистки гальванічних стоків машинобудівних підприємств. Було виявлено, що стічні води від гальванічного виробництва є одним із небезпечних забруднювачів довкілля, тому у статті визначено основні чинники їх впливу на навколишнє середовище. Проведено аналіз чинників забруднення у галузі машинобудування. Проаналізовано склад та характер впливу забруднювачів гальванічних стоків на природне середовище, а також сучасні технології та методи очистки гальванічних стоків машинобудівних підприємств. Обрані критерії оцінювання дають змогу виявити наслідки прояву ризиків для виробничої діяльності. Встановлено, що небезпечні відходи мають канцерогенну, токсичну і мутагенну властивості. Була наглядно представлена принципова схема реагентної очистки стічних вод від іонів важких металів, як найпоширеніший метод. Виявлено, що універсального способу очистки стічної води не існує, тому було запропоновано використовувати комбіновані методи для більш ефективної очистки. *Ключові слова:* гальванічне виробництво, стічні води, машинобудування, реагентні технології, вплив на довкілля.

Analysis of modern technologies and methods of purification of galvanic waste in machine-building industry. Bosiuk A., Shestopalov O.
Environmental safety is one of the main problems of modern times, in the solution of which the issue of control over the level of environmental pollution and the rational use of water resources is acute. Today, the issue of wastewater treatment of industrial enterprises remains unresolved, including engineering, from environmentally hazardous impurities that negatively affect the natural environment. Therefore, the article solved an actual scientific and practical task – increasing the environmental safety of machine-building enterprises by improving existing methods of wastewater treatment and reducing the impact of pollutants on the environment. The relevance of the topic of the article is substantiated, the goal and task are formulated. The analysis of scientific and technical sources of information on the use of modern technologies and methods of cleaning galvanic effluents of machine-building enterprises was carried out. It was found that wastewater from galvanic production is one of the dangerous pollutants of the environment, so the main factors of their impact on the environment are defined in the article. An analysis of pollution factors in the field of mechanical engineering was carried out. The composition and nature of the impact of galvanic effluent pollutants on the natural environment, as well as modern technologies and methods of cleaning galvanic effluents of machine-building enterprises are analyzed. The selected evaluation criteria make it possible to identify the consequences of the manifestation of risks for production activities. It has been established that hazardous waste has carcinogenic, toxic and mutagenic properties. The principle scheme of reagent purification of wastewater from heavy metal ions, as the most common method, was clearly presented. It was found that there is no universal method of wastewater treatment, so it was suggested to use combined methods for more effective treatment. *Key words:* galvanic production, wastewater, mechanical engineering, reagent technologies, impact on the environment.

Постановка проблеми. Водоспоживання України становить близько 8% від світового [1]. Промислові підприємства (ПП) витрачають величезну кількість води, а деякі вимагають навіть безперервної її подачі. Крім того, споживання води збільшується зі збільшенням потужності підприємств та використанням складних технологічних процесів [2]. Охорона навколишнього середовища та раціональне використання водних ресурсів в Україні має досить велике значення. Збільшення потужності виробництва, у тому числі машинобудівного, викликає необхідність у створенні сучасних технологій захисту навколишнього середовища задля попередження негативного впливу виробничих стічних вод на водойми.

Стічні води гальванічного виробництва відносяться до найбільш шкідливих рідких відходів промислових підприємств. У зв'язку із різноманіттям складу, властивостей та витрати стічних вод таких підприємств необхідно передбачати використання

спеціальних методів, а також споруд з попередньою та повною очисткою цих вод.

Стічні води гальванічного виробництва розрізняють за концентрацією домішок, режимом скиду та складом забруднень.

За концентрацією забруднення стоки гальванічного виробництва поділяються на концентровані (відпрацьовані технологічні розчини, електроліти, розчини ванн уловлення) і розведені (промивні води після різних технологічних операцій). Концентрації забруднень у концентрованих стоках зазвичай складають 10–400 г/л, а у розведених стоках – 1–100 мг/л.

За режимом скиду, стічні води ділять на періодичні (відпрацьовані технологічні розчини, електроліти, розчини ванн уловлювання, стоки від промивки фільтрів витяжної вентиляції і технічного миття обладнання) і ті, які постійно надходять (промивні води, що утворюються при митті виробів у проточних ваннах після обробки).

За складом забруднень стічні води гальванічного виробництва поділяють на: кислотні, лужні, хромовмісні, ціановмісні, фторовмісні, іони важких металів (мідьвмісні, нікель та ін.).

Такий поділ стічної води за складом зазвичай є умовним, оскільки у воді може міститись декілька забруднень одночасно. Сумісне або роздільне відведення різних категорій стічних вод у подальшому визначається за допомогою методів, які будуть використовувати для їх знешкодження, очистки чи утилізації цінних компонентів, які містяться у цих водах.

З недостатньо очищеними гальваностоками щороку у водні об'єкти потрапляють такі високотоксичні важкі метали, як: цинк – 3,3 тис.т, нікель – 2,4 тис.т, хром – 0,5 тис.т та ін.

У галузі очищення стічних вод основним завданням є розробка водовідвідних та водоочисних систем, які використовують сучасні методи очистки, автоматизацію процесів водоочищення та можливість повторного її використання.

Стічні води виробництва у своєму складі містять неорганічні кислоти, луги, солі важких металів, нафтопродукти, а також поверхнево-активні речовини. Гальванічні стоки, в залежності від виду забруднюючих речовин та їх концентрації (хромовмісні, кислото-лужні, ціановмісні) відводять декількома потоками на очисні споруди. Очистка забруднених стічних вод є обов'язковим технологічним процесом перед скидом їх за межі цеха чи території підприємства загалом. Значне скорочення обсягів скидів й перехід до замкненого циклу водокористування є головним та пріоритетним напрямом захисту водного середовища у промисловості, що дасть можливість зменшити негативний вплив на оточуюче середовище та здоров'я людини. Саме тому розробка та вдосконалення методів очищення стічної води є актуальним науковим завданням сьогодення.

Мета і завдання дослідження. Метою статті є аналіз впливу гальванічних стоків машинобудівних підприємств на навколишнє середовище та пошук сучасних прогресивних технологічних методів очистки стічних вод, які відповідають останнім досягненням у сфері електрохімії, розділу фаз, седиментації, фільтрації через полімерні матеріали і т.д. відносно технології водоочищення.

Для досягнення цієї мети у статті необхідно було вирішити наступні завдання:

– дати загальну характеристику впливу машинобудівельної галузі на довкілля;

– проаналізувати склад стоків гальванічного виробництва та описати вплив стічних вод на довкілля;

– класифікувати методи очищення стічних вод машинобудівної промисловості;

– виділити перспективні технологічні напрями та рішення задля більш ефективного очищення гальванічних стоків.

1. Аналіз впливу стічних вод гальванічного виробництва на довкілля. Гальванічне виробництво є одним з найбільш поширених та небезпечних антропогенних забруднювачів навколишнього середовища. Це пов'язано з утворенням висококонцентрованих токсичних стічних вод, орієнтовний об'єм яких в Україні сягає понад 500 млн м^3 на рік [3]. Гальванічні стоки містять солі важких металів, кислоти, луги, поверхнево-активні речовини та ін. Зазначимо, що під час технологічного процесу втрачається 50–70% кольорових металів та 80-95% кислот та лугів. Іони металів, що безповоротно втрачаються зі стічними водами, після видалення та переробки могли б повторно використовуватися: в гальванічних цехах як анодні матеріали (наприклад, мідь, цинк, нікель), в лакофарбових виробництвах для отримання пігментів (сполуки хрому, ZnO, ZnS, оксид міді), в деревообробній промисловості ($ZnSO_4$, $ZnCl_2$), у хімічних процесах отримання сахарину, гідрохинону, пористих пластиків та шліфувально-полірувальних паст (Cr_2O_3, солі хрому), виготовленні акумуляторів, каталізаторів для знешкодження газових викидів та в інших галузях [4].

Технологія гальванічного виробництва в тій чи іншій мірі впливає на довкілля та життєдіяльність людини. Вирішення цього екологічного питання потребує детального розгляду.

До найбільш небезпечних відносять стічні води, що містять токсичні сполуки Cr^{6+}, активність якого має міграційний потенціал у природному середовищі, що, в свою чергу, негативно позначається на стані всієї екосистеми та призводить до порушення екологічної рівноваги у навколишньому середовищі. Також, небезпеку довкіллю несуть тверді відходи, які при неналежному захороненні і при порушеннях в захисному екрані сховища забруднюють ґрунти та ґрунтові води.

Розв'язання даної задачі неможливе без застосування методів прогнозування і математичного моделювання, адже це основні інструменти системного

аналізу, які в певних випадках дозволяють обійтися без трудомістких і дорогих експериментів [5].

2. Методи очищення стічних вод. Очищення стічних вод – обробка стічних вод з метою руйнування або видалення з них шкідливих речовин, що проводиться механічними, хімічними, фізико-хімічними та біологічними методами, коли ж вони застосовуються разом, то досягається висока якість очищення. Застосування того чи іншого методу в кожному конкретному випадку визначається характером виробничих процесів, ступенем шкідливості домішок, складом забруднень [6].

У своїй більшості на підприємствах використовують такі процеси: тверде хромування, електрополірування, хімічне нікелювання, спеціальне нікелювання, електрохімічне нікелювання, анодне оксидування деталей із алюмінієвих сплавів, анодне та хімічне оксидування магнію, хімічне оксидування сталі, хімічне фосфатування, катодне хромування, ціаністе цинкування та кадмування, декоративне покриття нікель-хром для латунних деталей.

На сьогоднішній день не існує універсального методу очистки стічних вод гальванічного виробництва за усіма видами забруднень. Тому, очистка стоків відбувається, як правило, комбінацією методів, кожний з яких має як переваги, так і недоліки. Вибір методу очистки обумовлюється кількісною та якісною характеристикою стічних вод, вимогам до якості очищеної води та можливістю придбання необхідних реагентів та обладнання.

Найбільш поширені методи очистки стічних вод від важких металів – реагентні, фізико-хімічні (у т.ч. електрохімічні), іонообмінні, мембранні, біохімічні. Загалом, ці методи відрізняються один від одного застосуванням реагентів, апаратним оформленням та ступенем автоматизації.

Реагентні технології очищення стічних вод галузей приладо- та машинобудування дотепер є найпоширенішими (понад 80%). Ці способи застосовуються практично у всіх схемах, заснованих на фізико-хімічних методах очищення стічних вод або у вигляді окремих технічних рішень в інших методах для попереднього знешкодження і очищення стоків, що містять хром, з великим вмістом фосфатів, висококонцентрованих фторовмісних стоків та інших [7].

Технічний процес такого методу містить наступні операції: розділ стоків на кислото-лужні, хромо-, фторо- та ціановмісні; накопичення і усереднення стоків за видами; знешкодження хромо- та ціановмісних стоків реагентами у реакторах періодичної або безперервної дії; нейтралізація стоків; виділення утворених гідроксидів у вигляді осаду у відстійниках або на флотаційних апаратах; скид висвітленої води у каналізацію або подання на повторне використання.

Для забезпечення ефективного очищення попередньо виконується обробка окремо ціано-, хромо- і фторовмісних стічних вод, після чого вони нейтралізуються спільно з кислото-лужними стоками. Після чого іде стадія осадження гідроксидів металів та інших нерозчинних з'єднань, а при необхідності очищення на механічних та сорбційних фільтрах [7]. На рис. 1 зображена принципова схема реагентної очистки стічних вод від іонів важких металів.

При об'ємах стічних вод до 30 $м^3$/год зазвичай рекомендується періодична схема очистки, а при великих – змішана або безперервна [7].

До недоліків методу слід віднести утворення великої кількості осаду гідроксиду заліза, що в свою чергу збільшує навантаження на вузол освітлення та механічного зневоднення осаду (фільтрпрес) очисних споруд.

В наш час у технології очистки стічних вод гальванічних виробництв все частіше використовують електрохімічні методи: електрохімічне відновлення та окислення; електрокоагуляція; електромагнітна очистка; гальванокоагуляція (мікроферитизація); електродіаліз. Головною перевагою електрохімічних методів у порівнянні з реагентними є зниження витрат реагентів, що призводить до зниження засолення води в процесі її очистки та сприяє використанню очищеної води у гальванічному виробництві.

Іонообмінні методи очистки води від розчинних домішок основані на тому, що катіони та аніони іонообмінних смол мають здатність обмінюватись на катіони і аніони, що містяться у стічних водах. Метод рекомендується для очистки промивних стічних вод з невеликими концентраціями забруднень, а також для очистки стічної води після реагентних або електрохімічних методів, окрім стоків, що містять поверхнево-активні речовини, органічні сполуки та масла.

Метод іонного обміну забезпечує глибоку очистку стічних вод і подачу до цеху гальванопокриттів води високої якості, значно перевищуючого якість води міського водопроводу, що забезпечує збільшення терміну служби технологічних розчинів. Після вичерпання обмінної ємності катіонів та аніонів здійснюється їх регенерація, яка включає в себе наступні операції: розпушування навантаження, сама регенерація та відмивка завантаження.

Мембранні методи очистки стічних вод засновані на виділенні з води забруднюючих речовин фільтруванням під надмірним тиском через напівпроникні мембрани. В залежності від розміру пор напівпроникних мембран розрізняють процеси ультрафільтрації і гіперфільтрації (зворотній осмос). Ультрафільтраційні мембрани дозволяють виділити з води речовини колоїдної ступені дисперсності за тиском фільтрування до 1 МПа. Гіперфільтраційні мембрани дозволяють виділити з води розчинні солі при надмірному тиску до 10 МПа.

У випадку очистки мембранними методами суміші різних стічних вод, виникає складність з подальшою обробкою розсолів, кількість яких досягає 30% від об'єму води, яку очищають.

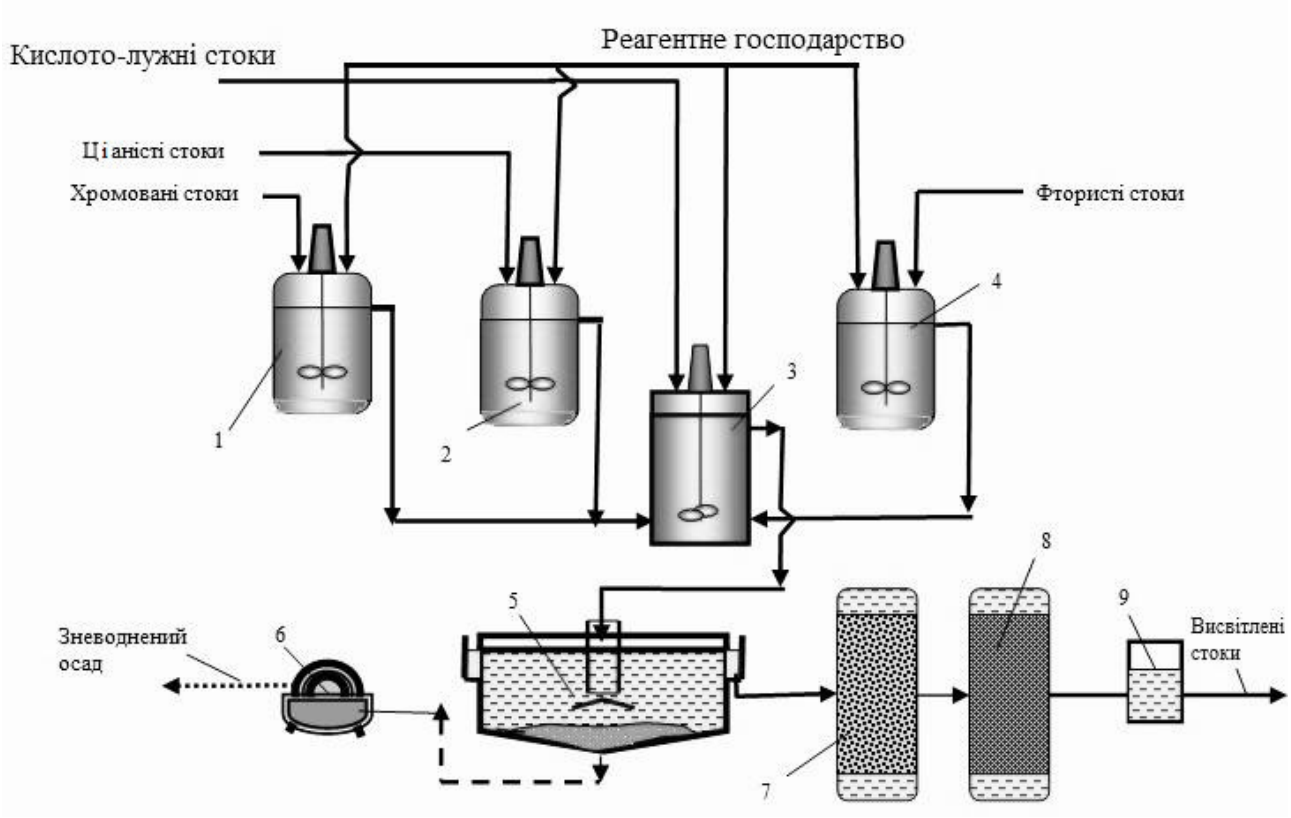


Рис. 1. Принципова схема обробки стоків реагентним методом
1 – лінія обробки стоків, які містять Cr6+; 2 – лінія обробки стоків, які містять CN- ; 3 – лінія нейтралізації всіх видів стоків; 4 – лінія обробки стоків, які містять фториди; 5 – блок висвітлення стоків; 6 – ділянка зневоднення осаду; 7 – механічні фільтри; 8 – сорбційні фільтри; 9 – ділянка висвітлення осаду

3. Повторне використання води – один із шляхів вирішення питання екологічної безпеки. Для розробки раціональної схеми водовідведення і оцінки можливості повторного використання виробничих стічних вод визнають їх склад і режим водовідведення. При цьому аналізують фізико-хімічні показники стічних вод і режим надходження в каналізаційну мережу не тільки загального стоку промислового підприємства, але й стічних вод від окремих цехів [2].

Виробництво чистої води на промисловому підприємстві – невід'ємна частина безвідходного виробництва. При створенні замкнутої системи передбачається обробка та повернення у виробництво слабоконцентрованих промивних вод, переробка відпрацьованих технологічних розчинів з виділенням, використанням корисних компонентів та знешкодження всіх утворених відходів. У замкненій системі водопостачання відбувається локальне очищення хром-, мідьвмісних і кислото-лужних промивних вод методом нейтралізації, осаджування та сорбції з метою виділення основної частини забруднень. Потім окремі потоки промивних вод об'єднуються в один загальний потік і направляються для демінералізації на зворотно-осмотичні установки. Отриманий в результаті обробки концентрат відправляють на установку доупарювання. Фільтрат після зворотно-осмотичних установок і конденсат використовують для технологічних потреб виробництва. Концентрат з установками доупарювання подають на установки спалювання спільно з відходами.

Висновки. Під час аналізу публікацій виявлено, що машинобудівельна галузь характеризується наступними видами впливу: концентрацією домішок, режимом скиду та складу забруднень.

Завдяки складу стічних вод гальванічного виробництва визначається метод за допомогою якого буде здійснюватися подальша очистка стічної води.

Спостерігаються наступні напрями впливу на довкілля: водне середовище, ґрунтові води, що призводить не лише до інтоксикації водних організмів, але і до подальшого забруднення інших природних компонентів, у т.ч. ґрунтів.

У статті було вирішено актуальне науково-практичне питання щодо зниження екологічної небезпеки використання гальванічних стічних вод за рахунок удосконалення виробничих схем та із застосуванням комбінованих методів очистки стічних вод, що забезпечить раціональне використання природних ресурсів та додержання нормативів шкідливих впливів на довкілля.

Серед вже існуючих технологій та методів очистки стічних вод гальванічних виробництв машинобудівної галузі найбільш ефективним можна вважати

реагентні технології. Але в поєднанні з іншими методами ефективність очистки буде збільшуватись. Тому, можна сказати, що застосування комбінованих способів, на сьогодні, є найбільш результативним і дозволяє забезпечити більш високий ступінь очищення від домішок, що містяться у високих концентраціях та характерні для підприємств машинобудівної галузі.

Увесь світ, Україна в тому числі, прагне у виробництві використовувати лише безвідходні технології. У галузі очистки гальванічних стоків – це створення замкнених водооборотних схем та повторне використання вже очищеної води у виробництві. Це дасть можливість значно зменшити навантаження на навколишнє середовище та підвищити рівень екологічної безпеки населення країни та світу загалом. Вибір того чи іншого методу очищення води конкретного підприємства залежить від кількісного та якісного складу забруднюючих речовин та обов'язкового проведення експериментальних досліджень для розуміння ефективності обраного методу очистки.

Література

1. Петрук В.Г., Северин Л.І., Васильківський І.В., Безвозюк І.І. Природоохоронні технології: навчальний посібник. Ч. 2: Методи очищення стічних вод. Вінниця : ВНТУ, 2014. 5 с.
2. Айрапетян Т. С. Конспект лекцій з дисципліни «Технологія очистки промислових стічних вод» для студентів 4 курсу денної та 5 курсу заочної форм навчання напряму підготовки 6.060103 – Гідротехніка (Водні ресурси), фахове спрямування «Раціональне використання і охорона водних ресурсів». Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017, 5 с.
3. Пляцук Л.Д., Мельник О.С. Аналіз технологій очистки гальванічних стоків в Україні. Вісник СумДУ. 2008. № 2. С. 116–121.
4. Терещенко А.Д., Фарафонова И.А., Таратуто А. С. Катализаторы, полученные на основе отходов гальванических производств. Экотехнологии и ресурсосбережение. 1999. № 3. С. 86–90.
5. Бевза А.Г., Кутлахмедов Ю.О. Моделювання впливу гальванічного виробництва на навколишнє середовище та людину. Екологічна безпека. 2011. № 2/2011. С. 112.
6. Шестопалов О.В., Гетта О.С., Рикусова Н.І. Сучасні методи очищення стічних вод харчової промисловості. Екологічні науки. 2019. № 25. С. 23.
7. Урецкий Е.А. Ресурсосберегающие технологии в водном хозяйстве промышленных предприятий : монография / под редакцией зам. директора по научной работе Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси д.г.н. Волчека А.А., 2007. 86 с.

УДК 504.06
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.13

ТИПОЛОГІЯ, МОРФОМЕТРІЯ І КІЛЬКІСТЬ ПОРОДНИХ ВІДВАЛІВ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ В УКРАЇНІ

Зубов А.О.[1], **Зубов О.Р.**
[1]Інститут агроекології і природокористування Національної академії аграрних наук України
вул. Метрологічна, 12, 03143, м. Київ
zuboval195@gmail.com

Актуальність статті обумовлена високим рівнем екологічної небезпеки породних відвалів вугільних шахт для довкілля, яка є характерною як для України, так і всіх інших вугледобувних країн світу. Виходячи з необхідності розробки системи моніторингу небезпечного впливу відвалів, була поставлена мета кількісної та якісної характеристики відвалів в Україні. В результаті використання методичного підходу, що заснований на використанні сервісу Google Earth та запропонованих авторами розрахункових формул, встановлена точна кількість відвалів вугільних шахт у Центральному Донбасі, яка складає 1290. Разом з відвалами Західного Донбасу кількість відвалів в українській частині усього Донецького кам'яновугільного басейну складає 1301 одиницю. З урахуванням Львівсько-Волинського басейну в Україні налічується 1356 відвалів вугільних шахт. Запропоновано новий варіант типізації відвалів за їх формою та розміщення. З урахуванням знайденої кількості відвалів у Східному Донбасі – 306 од., визначена їх кількість у всьому (Великому) Донбасі – 1607 од. Отримано середні значення основних морфометричних показників відвалів – їх висоти, площі та периметру основи, площі бокової поверхні та плоскої верхівки, об'єму, розроблено гістограми розподілу відвалів за цими показниками. Отримані результати сприятимуть більш точній оцінці екологічної небезпеки відвалів та розробці проектів природоохоронних заходів. Апробований методичний підхід до визначення морфометричних показників за космічними знімками та визначення захисної лісистості поверхні відвалів. Встановлено, що лісистість відвалів Центрального Донбасу має вкрай низький рівень, що є дуже актуальною проблемою. Отримано рівняння залежності між показниками, які спрощують їх визначення і можуть бути використані для подальшого дослідження особливостей відвалів як вугледобувних, так і інших гірничих підприємств України, для її районування за рівнями екологічно небезпечного впливу відвалів на елементи ландшафтів та розробки системи моніторингу проявів цього впливу. *Ключові слова:* породний відвал, екологічна небезпека, морфометричні показники, типологія.

Typology, morphometry and quantity of waste heaps of coal mines in Ukraine. Zubov A., Zubov O.
The relevance of the article is due to the high level of environmental hazard of waste heaps of coal mines for the environment, which is typical both for Ukraine and all other coal-mining countries of the world. Based on the need to develop a monitoring system for the hazardous impact of waste heaps, the goal was to quantitatively and qualitatively characterize the dumps of Ukraine. As a result of using a methodical approach based on the use of the Google Earth service and the calculation formulas proposed by the authors, the exact number of heaps of coal mines in the Central Donbass was established, which is 1290. Together with the dumps of the Western Donbass, the number of heaps in the Ukrainian part of the entire Donetsk coal basin is 1301 units. Taking into account the Lviv-Volyn basin in Ukraine, there are 1356 heaps of coal mines. A new variant of typification of dumps according to their shape and location is proposed. Taking into account the found number of heaps in the Eastern Donbass – 306 units, their number in the entire (Greater) Donbass was determined – 1607 units. The average values of the main morphometric indicators of dumps were obtained – their height, area and perimeter of the base, the area of the side surface and flat top, volume, and histograms of the distribution of heaps according to these indicators were developed. The results obtained will contribute to a more accurate assessment of the environmental hazard of dumps and the development of projects for environmental protection measures. A methodical approach to the determination of morphometric indicators from satellite images and the determination of the protective forest cover of the heap surface has been tested. It has been established that the forest cover of dumps in the Central Donbass has a very low level, which is a very urgent problem. An equation of the relationship between the indicators is obtained, which simplifies their determination and can be used for further research of the features of heaps of both coal mining and other mining enterprises in Ukraine, for its zoning according to the levels of the environmentally hazardous impact of heaps on landscape elements and the development of a system for monitoring the manifestations of this influence. *Key words:* waste heap, environmental hazard, morphometric characteristics, typology.

Постановка проблеми. Однією з важливих екологічних проблем в Україні є забруднення довкілля внаслідок діяльності підприємств гірничодобувної промисловості, у тому числі вугільних шахт з їх породними відвалами.

Екологічна небезпека відвалів пов'язана з їх горінням та винесенням в атмосферу твердофазних забруднювачів та небезпечних газів [1]. Небезпека як палаючих, так і всіх інших відвалів пов'язана й з катастрофічною водною ерозією на їх схилах і дуже інтенсивною дефляцією, які супроводжуються винесенням на прилеглі території величезної кількості токсикантів та їх міграцією на значні відстані. Багато які з відвалів характеризуються зсувними явищами, іноді з катастрофічними наслідками [2].

Проблема зниження небезпеки відвалів може бути вирішена за рахунок використання їх породи при корінній меліорації земної поверхні, в основах автодоріг, як матеріалу для будівництва дамб та виробництва будівельних матеріалів, отримання вісмуту та інших металів. Плоскі відвали можуть бути використані у вітроенергетиці [2]. У Франції конічні

відвали (терили) використовуються як об'єкти туризму. Комплексний – екологічний та політичний ефект має використання території відвалів та шахтних комплексів у проектах міжнародного значення – для вирішення проблеми депонування вуглекислого газу та збереження біорізноманіття шляхом використання їх у регіональних екологічних мережах [2].

За ствердженням авторів [3], «одним із механізмів оптимізації природогосподарювання під час переходу до стійкого розвитку екосоціотехнополісної системи є створення єдиної загальнодержавної системи моніторингу навколишнього природного середовища як складника світової інформаційної екологічної системи».

Основою для створення такої системи моніторингу, а також для розробки проектів з використання відвалів є розробка бази даних з кількісті відвалів, особливостей їх форми, розташування, їх параметрів, об'єму та займаної площі.

Актуальність дослідження. Екологічна небезпека відвалів для довкілля та порушена природна рівновага в районах вуглевидобутку є загальносвітовою проблемою, характерною як для України, так і для інших країн з найбільшими запасами вугілля: США; Росії; Китаю; Індії; Австралії та Німеччини, так і всіх інших із 70 країн, що добувають вугілля [4]. Тому розробка системи моніторингу впливу гірничодобувної промисловості на аграрні та природні ландшафти, селітебні території та розробка вищезгаданої бази даних є важливою науковою та прикладною задачею.

Інтенсивність ерозії та дефляції, кількість токсикантів, що надходять у довкілля, багато в чому пов'язані з висотою відвалів, площею поверхні, що еродує або дефлює. А площа, що забруднюється, багато в чому залежить від довжини фронту надходження на неї кислих стоків і продуктів ерозії, тобто визначається периметром основи відвалів. Тому знання кількості та морфометричних показників породних відвалів має велике практичне значення. Параметри відвалів визначають також зручність та економічність їх розробки [5].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. В різні часи дослідження виконувалися згідно з Держбюджетною темою МОН "Розробка наукових та прикладних основ отримання металів з породи териконів вугільних шахт Донбасу та підвищення екологічної безпеки прилеглої до них території", тематичним планом ННЦ «Інститут грунтознавства та агрохімії ім. О.Н.Соколовського», тематичним планом УкрНДІЛГА ім. Г.М. Висоцького на 2020–2024 рр. (НДР «Розробити методику оцінювання меліоративних функцій полезахисних лісових смуг та насаджень, створених на об'єктах лісової рекультивації»).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розглядаючи, перш за все, питання кількості породних відвалів вугільних шахт в Україні, можна привести відомості з роботи співробітників ВП «УкрНДІпроект [6], у якій відмічається, що за весь період вуглевидобування в Україні з'явилося понад 1500 відвалів різної місткості, геометричних розмірів, у яких накопичено понад 4 млрд т породи. У роботі [5] повідомляється про кількість відвалів України, що дорівнює 1200. На території Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну налічується 55 відвалів, у тому числі 44 недіючі [7]. У Західному Донбасі (Дніпровській області) розташовані 11 відвалів загальним обсягом 100 млн т, які займають площу 200 га [8].

Кількість відвалів на території Центрального Донбасу за різних джерел інформації відрізняється. За даними Обласного управління екології (2011 р.), на території Луганської області налічується 537 відвалів (зокрема 70 палаючих). За даними ДОД ДК «Укруглереструктуризація» на 2010 р. в Донецькій області було 596 шахтних відвалів загальним об'ємом понад 1 млрд м^3.

За даними часто цитованої [9], в Донбасі налічується 1257 породних відвалів вугільних шахт. Відповідно до [10] в Донбасі налічується 1185 відвалів, що займають площу 7 тис. га і містять близько 1,7 млрд м^3 породи. З них 804 недіючих, 381 діють, 397 відвалів горять. Згідно з [11] у Донецькій області є 582 відвалів вугільних та збагачувальних фабрик, у тому числі 132 палаючих.

При розгляді всього Донецького кам'яновугільного басейну (Великого Донбасу) виникає питання про кількість відвалів у його східній частині – Східному Донбасі (в Ростовській області). Щодо цього питання нам не вдалося отримати достовірні цифри. Так за [12] їх 452 (загальний об'єм 270 млн м^3, а площа порушених земель у зв'язку з вуглевидобуванням та вуглезбагаченням – 7 тис. га. У роботі [13] повідомляється про наявність не менше 600 відвалів. Згідно з [14], кількість відвалів у всьому Донбасі дорівнює 1500, їх загальний об'єм та займана площа перевищують 1 млрд м^3 та 8000 га.

На підставі аналізу підходів до типізації породних відвалів гірничодобувної промисловості у працях [15–22], В.В. Попович із співавт. у роботі [23] розробив власні підходи до їх типології: за розміром (великі, середні, малі); формі (неправильної та правильної); піддані рекультивації та нерекультивовані; за горінням (ті, що палають, що згасають, згаслі, негорілі); з експлуатації (діючі та недіючі); за ступенем заростання (без фітомеліоративного покриву та з ним); за порушеністю поверхні (з наявністю або відсутністю ерозійних та зсувних деформацій); щодо наявності або відсутності необхідності проведення гірничотехнічного етапу рекультивації.

Аналіз геометричних параметрів понад 650 відвалів вугільних шахт Донецької, Дніпропетровської, Львівської та Волинської областей, виконаний у [5], дозволив встановити, що найбільш поширеною їхньою формою є плоска та конусна (по 38% від

усіх): усічені становлять 24%. Середні значення висот конічних, усічених та плоских відвалів становлять 45, 37 та 36 м; середній об'єм породи у яких – 0,5; 1,1 та 2,1 млн т; середня займана площа – 4,4; 7,6 та 46 га.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Через велику поширеність відвалів в Центральному Донбасі та інші причини точних відомостей з їх кількості нема. Існуючі типізації відвалів за їх формою та параметрами обмежуються лише співвідношенням різних форм, середньою висотою відвалів та площею їх основи, об'ємом. Інші дуже важливі параметри не визначені.

Новизна роботи полягає у визначенні точних показників кількості відвалів Центрального та Східного Донбасу, розподілу їх за висотою, площею плоскої верхівки та відкосів, за периметром основи та її площею; у розробці емпіричних рівнянь зв'язку цих та інших параметрів. Запропоновано новий варіант типології відвалів, дано оцінку залісненості відвалів.

Методологічне або загальнонаукове значення. Методологічне значення мають розроблені підходи до визначення залісненості відкосів та верхівки відвалів. Отримана кількість відвалів різної форми, параметри відвалів та їх залісненість мають як інформаційне, так і прикладне значення, яке полягає у можливості більш точно визначати масу небезпечних речовин, що виносяться з відвалів внаслідок ерозії та дефляції з урахуванням захисної дії рослинності.

Викладення основного матеріалу. Враховуючи значення питання морфометрії відвалів та їх точної кількості у Центральному Донбасі, була поставлена мета кількісної та якісної характеристики відвалів.

Завдання досліджень: 1) визначити кількість відвалів загалом та за їх типами; 2) визначити середні значення висоти відвалів, середні та сумарні значення їх об'єму, займаної площі, площі поверхні в цілому та окремо за елементами поверхні; 3) визначити середні та сумарні значення периметра основи відвалів; 4) встановити розподіл відвалів за інтервалами всіх показників; 5) встановити взаємозв'язок параметрів та оцінити можливість їх непрямого визначення. 6) оцінити залісненість відвалів загалом і за елементами їх поверхні.

Як вихідні дані для характеристики відвалів Донецької області використані дані ДОД ДК «Укрвуглереструктуризація» на 2010 рік. В результаті їх обробки для кожного з 3-х типів відвалів отримані їх кількість в шт. та в %, середні значення їхньої висоти, площі основи, об'єму (табл. 1). Встановлен, що понад 50% відвалів області (314 шт.) мають конічну форму. Площа під відвалами всіх типів – 3533 га, сумарний об'єм – 1,045 млрд м^3.

Для Луганської області наші дослідження проводились шляхом аналізу космознімків за допомогою сервісу Google Earth (Гугл Земля). Аналіз форми відвалів дозволив отримати наступну їх класифікацію (табл. 2).

В результаті прямого підрахунку встановлено загальну кількість відвалів у межах області – 694 од., що перевищує офіційну. Як показано у табл. 3, крім відвалів трьох типів, існують інші види складування відходів, які важко віднести до відвалів: групи виїмок та відвалів, розташованих на їх дні та поруч, названі нами як «відвально-кар'єрні комплекси» (ВКК); групи невисоких плоских відвалів, які розташовані на значній площі, названі нами як «поля», діючі

Таблиця 1

Осереднені показники відвалів Донецької області

Тип відвалу	Кільк.		Висота	Площа основи, га		Об'єм, млн м^3	
	шт	%		середня	сумарна	середній	сумарний
Конічні	314	52,5	48,6	3,8	1170	1,05	318,0
Усіч. конус	102	17,1	44,1	5,21	540	1,53	154,3
Пласкі	180	30,4	35,9	10,4	1828	3,22	573,5
Усього	596	**100**			3533		1044,8

Таблиця 2

Розроблена класифікація відвалів вугільних шахт

Типи (I–III) та підтипи відвалів		
I. Конічні	**II. Усічені конічні**	**III. Плоскі**
а) поодинокі та групи	а) поодинокі та групи	а) насипні одноярусні
б) радіально-розбіжні (з накладенням і без)	б) радіально-розбіжні (з накладенням і без нього)	б) насипні крутосхилові та балкові (яружні)
в) з плато у основи	в) з плато у основи	в) насипні багатоярусні східчасті
	г) переформовані, іноді з спіральним заїздом	г) насипні, поєднані з відстійниками
	д) спарені, із загальною верхівкою (і спіральним заїздом)	д) сформовані з усічених шляхом подальшого зниження та переформування

відстійники продуктів вуглезбагачення (хвостів) та заповнені хвостосховища. ВКК, поля та хвостосховища у сумі становлять 50 од. У сумі з відвалами ці форми зберігання відходів становлять 744, а разом із невизначеними формами, якими є відвали «сумнівні», більш схожі на звалища, виробничі ділянки, білі відвали відходів видобутку та виробництва будматеріалів, їх 766 (табл. 3).

Для більш детального аналізу відвалів області сформовано рендомізовану вибірку з 234 відвалів. Із загальної кількості відвалів (генеральної сукупності), що дорівнює 694, обсяг вибірки становить 33,7%, тобто третину.

Методика робіт. Вимірювання виконувались за допомогою відкритого сервісу Google Earth. Використовуючи його інструменти вимірювали:

– довжину осі L та ширину B_o основи конічних та усічених відвалів;

– довжину та ширину основи плоских відвалів;

– азимут (А) осів від хвостової частини до лобової конічних і усіч. відвалов;

– периметр та площу основи (P та F_o) всіх відвалів;

– периметр та площу плато (p та $F_{пл}$) усічених та плоских відвалів;

– площу лісових насаджень на плато $F_{л.пл}$;

– проекцію обліснених ділянок на відкосах відвалів $F'_{л.відк}$;

– довжину проекцій лобової та двох бічних відкосів конічних та усічених відвалів; чотирьох відкосів плоских відвалів;

– довжину проекції ребра хвостової конічної частини.

Висоту відвалу h визначали двома способами:

а) як різницю середніх позначок плато та підніжжя відвалів;

б) по середній довжині укосів l' як добуток $l' \cdot \mathrm{tg}\alpha$, де α – кут укосу (30–35°).

Віднімаючи від площі основи F_o площу плато $F_{пл}$ отримували площу проекції відкосів $F'_{відк}$.

Істинну площу відкосів $F_{відк}$ визначали за формулою: $F_{відк} = F'_{відк}/\cos\alpha$.

Об'єм конічних відвалів визначали за формулою конуса: $V = F_{осн} \cdot h_{ср}/3$; усічених і плоских – за формулою: $V = h \cdot [F_o + F_{пл} + (F_o \cdot F_{пл})^{0,5}]/3$.

Залісненість відкосів і плато визначали як відношення площі лісу на цих елементах до їх площі.

Осереднені значення параметрів відвалів зведені у табл. 4.

Площа під відвалами вибірки становить 1110 га, об'єм – 173 млн м^3. Виходячи з частки вибірки від генеральної сукупності (33,7%), можна припустити, що площа під усіма відвалами в Луганській області та їх об'єм можуть становити відповідно 3294 га та 0,514 млрд м^3. Ураховуючи показники, отримані для Донецької обл., можна припустити, що площа під відвалами Центрального Донбасу та їх об'єм складають 6827 га та 1,56 млрд м^3.

Оскільки вимірювання площі основи відвалів є складнішим, ніж довжини лінійних елементів, виявлено її залежність від більш простого параметра – довжини осі відвалу L. Високий ступінь зв'язку з нею має і периметр основи.

Найбільш визнаним заходом боротьби з дефляцією та ерозією поверхні відвалів є їхнє заліснення. Тому для оцінки реальної небезпеки відвалів було було визначено ступінь їх залісненості. У Донецькій обл., за даними ДП ОК «Укрвуглереструктуризація», є 24 повністю та 10 частково залісненних відвалів.

Визначення залісненості відвалів Луганської області, що увійшли до дослідженої вибірки, показали, що середня площа насаджень на всій поверхні відвалу будь-якого типу не перевищує 1 га і становить 23.6, 21.9 та 18.8% від середньої площі конічних, усічених конічних та плоских відвалів. Доля відвалів, залісенних менш ніж на 10% їх поверхні

Таблиця 3

Складуваня відходів вугільної промисловості у Луганській області

Типи складуваня відходів								Всього
Відвали і їх види				Інші				
Конічні	Усічені конічні	Плоскі	Всього	ВКК	Поля	Хвосто-сховища	Всього	
219/8	289/16*	186	694	18	14	18	50	744

Примітка: * спарені або строєні відвали

Таблиця 4

Осереднені показники вибірки з відвалів Луганської області

Тип відвалу	Кількість		Висота, м	Площа, га				Периметр основи, км	Об'єм, млн м^3
	шт.	%		основи	плато	відкосів	поверхні		
Конічні	76	32,3	47,4	2,87	-	3,50	3,50	0,581	0,552
Усічені конічні	87	37,1	30,5	3,07	0,74	2,85	3,66	0,620	0,606
Плоскі	72	30,6	35,5	8,60	2,99	6,92	9,88	1,161	2,886
Всього (вибірка)	234	100		1110	280	1019	1303	166,9	173,2
Всього (область)	694			3294	830,9	3866	3866	495,25	513,9

дорівнює відповідно 36, 47 і 61% з кількості конічних, усічених і плоских відвалів; менш ніж наполовину поверхні заліснено 87, 85 і 92%; більш ніж на половину відповідно лише 13, 15 та 8% відвалів.

Для більш детальної характеристики відвалів Центрального Донбасу побудовано гістограми їхнього розподілу за інтервалами діапазону зміни кожного з параметрів у відсотках від загальної кількості (рис. 1–3).

Зв'язок висоти конічних, усічених і плоских відвалів Донецької області h (м) та площі їх основи (га) виражається рівняннями:

$$h_к = 32{,}1F_о^{0{,}341},\ h_{ус} = 21{,}73\ F_о^{0{,}441},\ h_{пл} = 18{,}381\ F_о^{0{,}312},$$

(коефіцієнти детермінації R^2 дорівнюють відповідно 0,56; 0,49; 0,38).

Зв'язок об'єму відвалів області V (млн м^3) та їх висоти h (м) виражається рівняннями:

$$V_к = 6\cdot10^{-5}h_к^{2{,}36},\ V_{ус} = 0{,}001h_{ус}^{1{,}82},\ V_{пл} = 0{,}001h_{пл}^{2{,}03},$$

(коефіцієнти R^2 відповідно дорівнюють 0,67; 0,64; 0,51).

Зв'язок об'єму відвалів V (млн м^3) та площі їх основи $F_о$ (га) виражається рівняннями:



Рис. 1. Розподіл конічних, усічених конічних і плоских відвалів Донецької області (зліва направо) за їх висотою

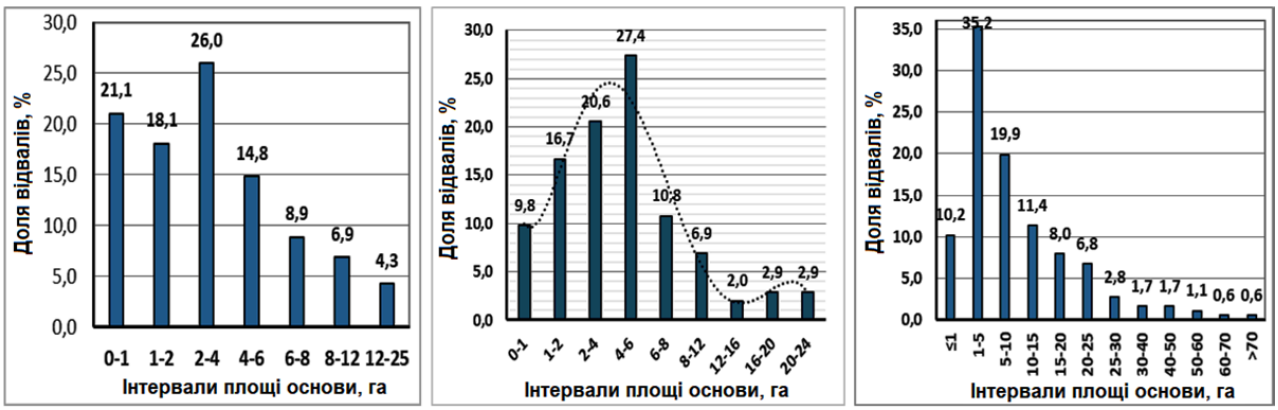


Рис. 2. Розподіл конічних, усічених і плоских відвалів за площею їх основи

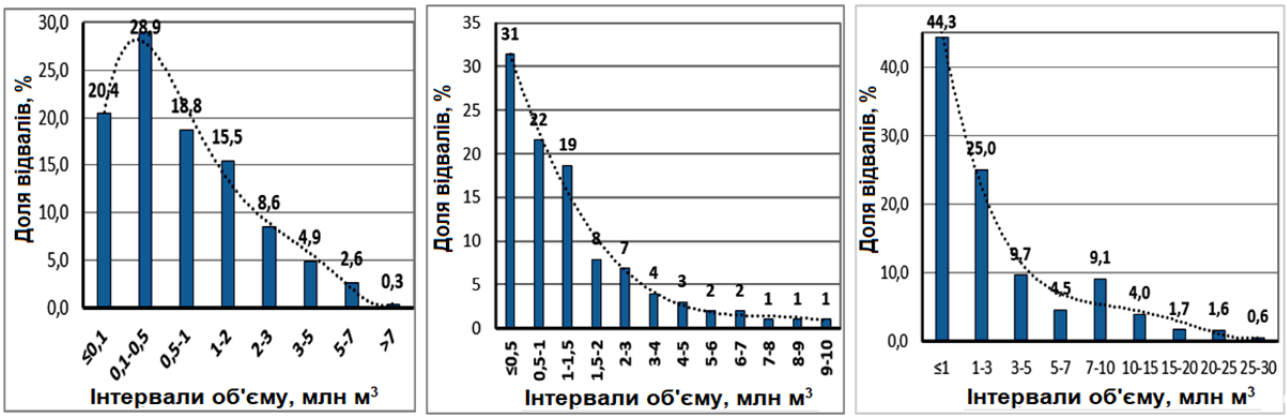


Рис. 3. Розподіл конічних, усічених конічних та плоских відвалів за їх об'ємом

$V_к = 0{,}162F_о^{1{,}18}$, $V_{ус} = 0{,}137F_о^{1{,}345}$, $V_{пл} = 0{,}149F_о^{1{,}183}$,

(коефіцієнти R^2 відповідно дорівнюють 0,80; 0,85; 0,73).

Для характеристики відвалів Луганської області збудовано гістограми розподілу відвалів різних типів за їх показниками (рис. 4–6).

Зв'язок ширини і довжини конічних і усічених відвалів Луганської області h (м) виражається рівняннями прямої: $B_к = 0{,}743L$, $B_{ус} = 0{,}725L$, ($R^2 = 0{,}85$ і 0,72.

Для конічних, усічених і плоских відвалів середні значення довжини їх осі дорівнюють відповідно 216,5; 227,5 и 419,5 м; ширини осі: 158,5; 166,1 і 269,5 м. Середні значення їх висоти дорівнюють 47,4; 30,5 и 35,5 м.

Зв'язок об'єму плоских відвалів і площі їх основи выражається рівнянням:

$V = 0{,}088F_о^{1{,}4}$. Коэффициент детерминации $R^2 = 0{,}86$.

Для оцінки можливості використання відвалів із плоскою вершиною, наприклад у вітроенергетиці, важливо знати її площу. Гістограми розподілу усічених та плоских відвалів за цим параметром представлені на рис. 7. Майже половина усічених відвалів (48,2%) мають плато площею від 0,5 до 3 га. Тільки чверть відвалів (25,4%) характеризуються площею плато понад 1 га, що дозволяє розмістити принаймні одну щоглу з вітрогенератором. Більш високі перспективи для використання мають плоскі

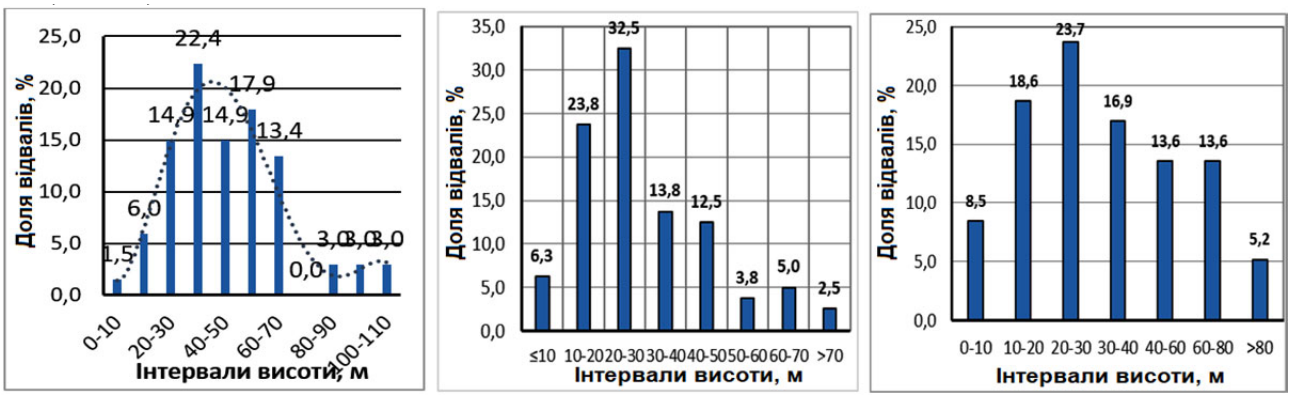


Рис. 4. Розподіл конічних, усічених і плоских відвалів Луганської області (зліва направо) за їх висотою

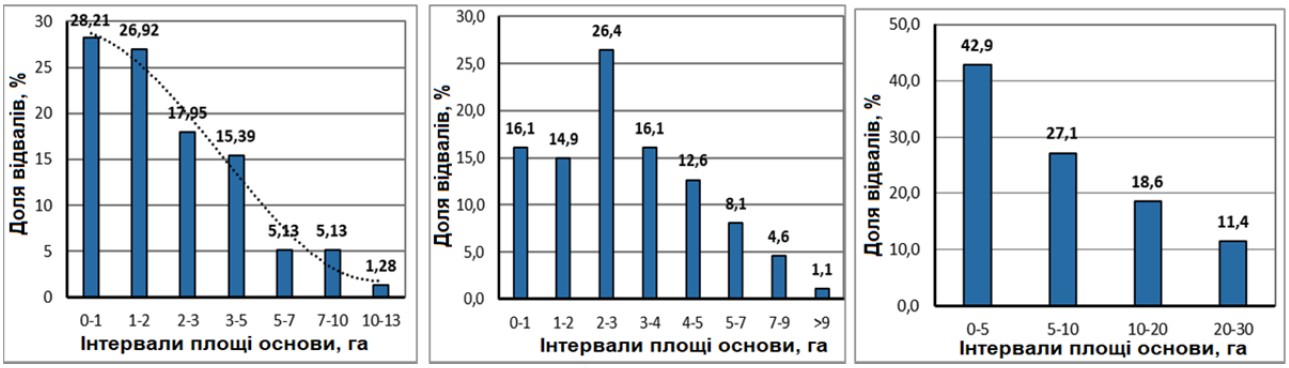


Рис. 5. Розподіл конічних, усічених і плоских відвалів за площею їх основи

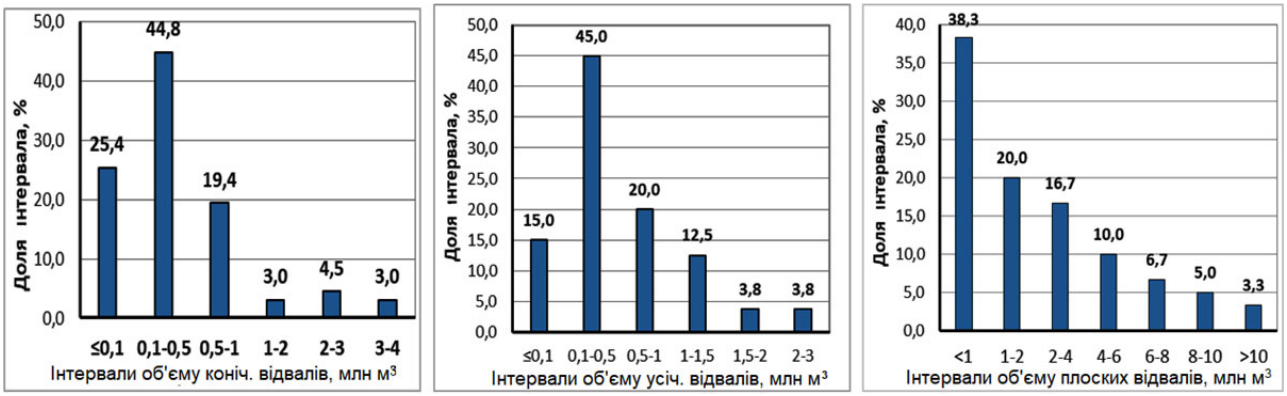


Рис. 6. Розподіл конічних, усічених і плоских відвалів за їх об'ємом

відвали. Їх більше, і понад 50% з них мають площу плато від 2 до 12 га і більше, достатню для встановлення кількох щогл.

Важливим параметром є периметр основи відвалу, що визначає довжину фронту надходження шкідливих стоків на прилеглу територію. На рис. 8 представлено часткові гістограми розподілу відвалів за цим параметром.

Оскільки вимір площі основи відвалів та її периметра складніше, ніж вимір довжини прямих ліній, виявлено їх залежність від простішого для виміру параметра – довжини осі відвалів (L).

Отримані емпіричні рівняння () свідчать про високий рівень зв'язку площі основи (*F*) отвалов всех типов с довжиною їх осі *L*. Для конічний, усічених та плоских відвалів вони мають вигляд:

$$F=7\cdot10^{-5}L^{1,94},\ F=7\cdot10^{-5}L^{1,95},\ F=2\cdot10^{-4}L^{1,82},$$

(R^2 равны 0,93; 0,86 и 0,88).

Зв'язок площі основи конічних, усічених і плоских відвалів Луганської області з довжиною їх осі виражається рівняннями :

$$F_к = 7\cdot10^{-5}L^{1,94};\ F_{ус} = 7\cdot10^{-5}L^{1,94};\ F_{пл} = 0,0002L^{1,82}.$$

(коефіцієнти R^2 дорівнюють відповідно 0,92; 0,86; 0,87).

Високий рівень зв'язку з довжиною осі має і периметр основи відвалів. Для конічних, усічених і плоских відвалів Луганської області цей зв'язок виражається рівняннями: $P_к$ = 2,74*L*; $P_{ус}$ = 2,73*L*; $P_{пл}$ = 2,69*L* (коефіцієнти R^2 дорівнюють відповідно 0,93; 0,87; 0,89).

Еквівалентом площі основи F може стати добуток довжини осі та ширини основи відвалів – *LB*. Аналіз зв'язку площі *F* з її еквівалентом показав, що для конічних, усічених та плоских відвалів він з високою точністю виражається рівняннями: *F* = 0,755(*LB*); *F* = 0,724(*LB*); *F* = 0,719(*LB*) (R^2 = 0,97; 0,93; 0,81).

Існування тісних зв'язків багатьох параметрів відвалів з довжиною їх осі, дозволяє отримати достатнє уявлення про відвали, вимірюючи на знімках і місцевості тільки один цей показник.

Розподіл усіх 694 відвалів, у т.ч. 219 конічних, 289 усічених та 186 плоских за довжиною *L* в кількісному та відсотковому вираженні показано на рис. 9.

Вивчення морфометрії породних відвалів Східного Донбасу та визначення їх кількості (табл. 6) виконувалося шляхом пошуку відвалів та їх прямого перерахунку на знімках сервісу Google Earth за наведеною вище методикою.

Головні висновки. В результате використання методичного підходу, що заснований на

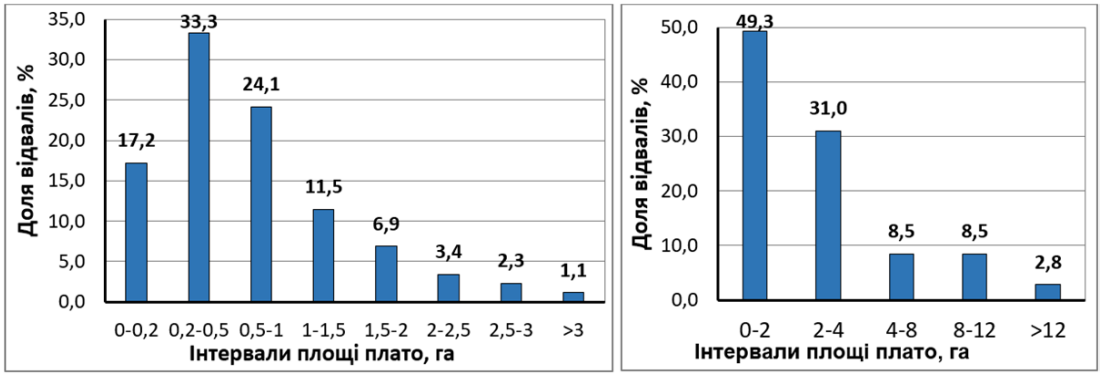


Рис. 7. Розподіл усічених конічних (ліворуч) та плоских відвалів Луганської області за інтервалами площі їхньої плоскої вершини (плато)

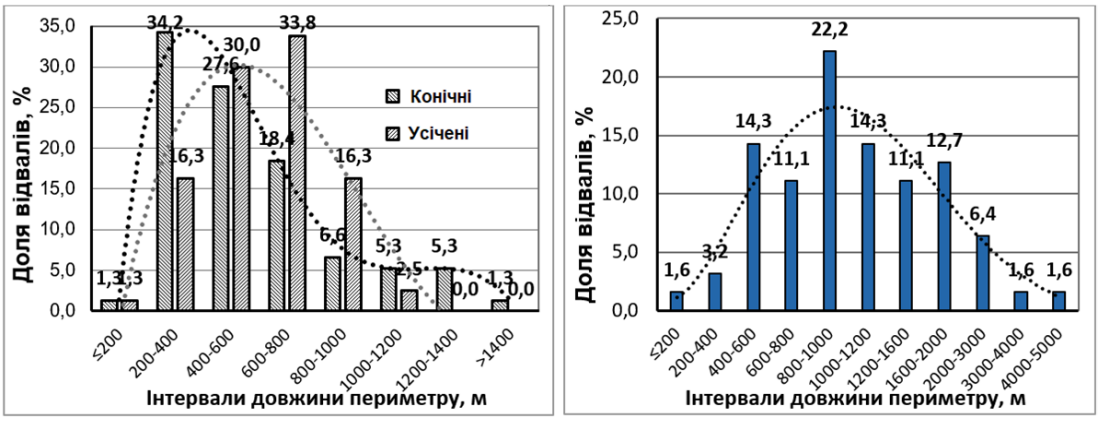


Рис. 8. Розподіл конічних, усічених і плоских відвалів (праворуч) Луганської області за інтервалами довжини периметру їх основи

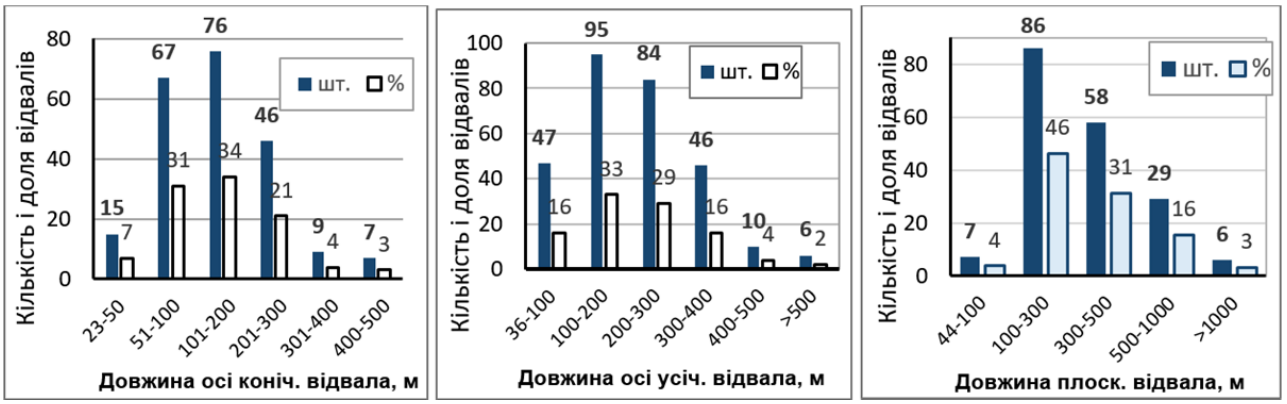


Рис. 9. Розподіл усіх 694 відвалів Луганської області за довжиною осі їх основи

Таблиця 6

Кількість і осереднені показники відвалів Східного Донбасу

Тип	Кількість		Осереднені параметри		
	шт	%	$L_{оси}$	B_o	$H_{ср}$
Конічні	98	32,0	127	86,5	28,7
Усічені	107	35,0	214	148	20,5
Плоскі	91	29,7	370	219	15,5
Хребтові	3	1,0	438	151	17,3
Хвосто-сховища	7	2,3	413	193	6,3
Усього:	306	**100**			

використанні сервісу Google Earth та запропонованих авторами розрахункових формул, доведено, по-перше, зручність та інформативність даного сервісу для вимірювання параметрів породних відвалів та більш складних за формою місць складування крупнотонажних відходів гірничої промисловості та природних мезоформ рельєфу; а по-друге встановлена точна кількість відвалів вугільних шахт Луганської області в межах усіх її районів – 694, що суттєво перевищує відомості з літературних джерел. З урахуванням офіційної, але поки ще не перевіреної кількості відвалів у Донецькій області (596), кількість відвалів у Центральному Донбасі складає 1290. Разом з відвалами Західного Донбасу кількість відвалів в українській частині Великого Донбасу (увесь Донецький кам'яновугільний басейн) складає 1301, а з урахуванням Львівсько-Волинського басейну в Україні налічується 1356 відвалів вугільних шахт. Враховуючи підраховану кількість відвалів вугільних шахт Східного Донбасу (306) встановлен, що увесь (Великий) Донбас налічує 1607 відвалів. Отримані середні морфометричні показники відвалів та гістограми їх розподілу сприятимуть більш точній оцінці екологічної небезпеки відвалів та розробці природоохоронних заходів.

Перспективи використання результатів дослідження. Апробований методичний підхід, рівняння залежності між різними морфометричними показниками, що спрощують їх визначення можуть бути використані для подальшого дослідження особливостей відвалів як вугледобувних, так і інших гірничих підприємств всієї України, для її районування за рівнями екологічно небезпечного впливу відвалів на елементи ландшафтів та розробки системи моніторингу проявів цього впливу.

Література

1. Пашковский П.С., Попов Э.А., Яремчук М.А. Контроль теплового состояния породных отвалов. Уголь Украины, 2000. № 7. С. 27–29.
2. Зубова Л.Г., Зубов А.Р., Зубов А.А. и др. Терриконы: монография. Луганск: «Ноулидж», 2015. 712 с. http://www.geokniga.org/books/16806.
3. Бондар О.І., Машков О.А., Міхеєв В.С., Жукаускас С.В., Нігородова С.А. Технологія побудови автоматизованої системи екологічного моніторингу з використанням дистанційно пілотованих літальних апаратів. Екологічні науки № 4(31). С. 11–19. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.4-31.2
4. Зубов О.Р., Зубова Л.Г., Зубов А.О. Оцінювання впливу териконів на екологічний стан агроландшафтів. Науковий вісник НЛТУ України. Львів. 2019, Т.29, № 9. С. 50–59.
5. Петльований М.В., Гайдай О.А. Аналіз накопичення і систематизація породних відвалів вугільних шахт, перспективи їх розробки. Геотехнічна механіка. 2017. № 136. С. 147–158.
6. Радченко В.В., Куліш В.А., Чепіга Є.В., Сторожчук В.С. Стан породних відвалів вітчизняних вугільних шахт. Уголь Украины, № 12, 2013. С. 44–49.
7. Піндер В., Попович В. Рекультивація породних відвалів ліквідованих шахт Львівсько-Волинського вугільного басейну, Науковий вісник НЛТУ України, 27(3), 27(3), 2017. 113–116. https://doi.org/10.15421/40270325
8. Petlovanyi, M. V. & Medianyk, V. Yu. (2018). Assessment of coal mine waste dumps development priority. Naukovyi Visnyk NHU, No. 4, 28–35 ISSN 2071-2227, https://doi: 10.29202/nvngu/2018-4/3

9. Панов Б.С., Проскурня Ю.А. Модель самовозгорания породных отвалов угольных шахт Донбасса. Геология угольных месторождений: Межвузовский научный тематический сборник. Екатеринбург, 2002. Вып. 12. С. 274–281.
10. Kolesnikova V.V. Improving technologies for preparing rock spoil heap slopes for planting of greenery. Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону, 2013, № 1(13). Donetsk, Donetsk National Technical University. С. 31–34.
11. Хоменко Я.В., Солдатова А.С. Оценка проблемы терриконов Донбасса. Економічний вісник Донбасу. № 1(39), 2015. С. 12–19.
12. Козленко О.П. Изучение растительности терриконов г. Донецка Ростовской области. 2012. URL: https://pedportal.net/starshie-klassy/ekologiya/izuchenie-rastitel-nosti-terrikonov-g-donecka-rostovskoy-oblasti-prodolzhenie-issledovatelskoy-raboty-566317
13. Закруткин В.Е., Петрова А.В. О химическом составе твердофазных атмосферных выпадений на территории углепромышленных районов Восточного Донбасса [Текст]. Науки о Земле: вчера, сегодня, завтра: материалы Междунар. науч. конф. (г. Казань, май 2015 г.). Казань : Бук, 2015. С. 7–14.
14. Alekseenko V.A., Bech, Jaume; Alekseenko A.V. & Shvydkaya N.V. (2018). Environmental impact of the disposal of coal mining waste in soils and plants in the Rostov Oblast, Russia Journal of Geochemical Exploration Volume 184, Part B, January, P. 261–270. DOI: 10.1016 / j.gexplo.2017.06.003 [In English].
15. Бакланов В. И. Классификация терриконов шахт и обогатительных фабрик Донбасса в целях озеленения. Зелёное строительство в степной зоне УССР. К. : Наук. думка. 1970. С. 75–83.
16. Колесников Б.П., Пикалова Г.М. К вопросу о классификации промышленных отвалов как компонентов техногенных ландшафтов. Растения и промышленная среда. 1974. Сб. № 3. С. 3–28.
17. Лобов І.М. Функціонально-планувальна реабілітація забудови порушених територій (на прикладі Донецько-Макіївської агломерації): автореф. дис. … канд. арх. наук : 18.00.04. Київ, 2002. 20 с.
18. Сметана С.М. Екологічна класифікація техногенних ландшафтів гірничо добувних регіонів. Екологія і природокористування, 2008. Вип. № 11. С. 30–41.
19. Попович В.В., Підгородецький Я.І., Піндер В.Ф. Типологія териконів Львівсько-Волинського вугільного басейну. Науковий вісник НЛТУ України, 2016. Вип. 26.8. С. 238–243. https://doi.org/10.15421/40260837
20. Война І. М. Особливості ландшафтного різноманіття гірничопромислових ландшафтів у зв'язку з їх висотною диференціацією. Наукові записки Вінницького педуніверситету. Сер. Географія. 2013. Вип. 25. С. 40–47.
21. Киричек Л.С. Типологія териконів вугільних шахт Донбасу за лісорослинними умовами. Науковий вісник УкрДЛТУ. 2003. Вип. № 13.3. С. 123–127.
22. Павличенко А.В., Коваленко А.А. Дослідження екологічних наслідків розміщення вугледобувних підприємств у навколишньому середовищі URL: http://rr.nmu.org.ua/pdf/2014/20140926-68.pdf
23. Смирный М.Ф., Зубова Л.Г., Зубов А.Р. Экологическая безопасность терриконовых ландшафтов Донбасса : монография. Луганск : Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2006. 232 с.

УДК 574.4+581.5(477.63)
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.14

ТРАНСФОРМАЦІЯ ТЕХНОТОПІВ ТА ТЕРИТОРІАЛЬНИЙ РОЗПОДІЛ ЕКОТОПІЧНИХ СТРУКТУР НА ЗАЛІЗОРУДНИХ ВІДВАЛАХ КРИВБАСУ

Красова О.О., Павленко А.О.
Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України
вул. Маршака, 50, 50089, м. Кривий Ріг
kras.kbs.17@gmail.com, anolpavl@gmail.com

Стаття присвячена виявленню специфіки динамічних змін технотопів залізорудних відвалів Криворізького залізорудного басейну та систематизації відомостей щодо територіальної структури новоутворених біотопів постмайнінгових ландшафтів. Наразі у класифікаційній схемі біотопів степової зони України технотопи не розглядаються, хоча їх частка невпинно збільшується у територіальній структурі індустріальних регіонів; не розроблені і питання їх динаміки. Відповідно до періодизації сингенетичних процесів, ми розглядаємо генезис технотопів регіону як процес, що проходить чотири стадії – технотопів, «пробіотопів», біотопів, сформованих господарською діяльністю людини та напівприродних біотопів. У процесі трансформації технотопів (екотопів без ознак присутності біоти) виникають екосистеми, які мають перехідний характер – «пробіотопи». Перехід від «пробіотопів» до біотопів, сформованих господарською діяльністю людини відбувається з набуттям ценотичних відносин між популяціями рослин у певному локалітеті. Специфіку цих біотопів визначає рудеральна рослинність, угруповання якої належать до трьох класів – *Stellarietea mediae* Tx. et al. in Tx. 1950, *Artemisietea vulgaris* Lohmeyer et al. in Tx. ex von Rochow 1951 та *Robinietea* Jurko ex Hadač et Sofron 1980. Подальше формування екосистем призводить до появи напівприродних трав'яних біотопів, подібних до зональних степових, але зі збідненим флористичним складом угруповань. Зазначено, що деревні біотопи, на відміну від трав'яних, не мають перспективи наближення до природних. В аспекті територіальної структури *території старих відвалів є комбінаціями технотопів та новоутворених біотопів. Технотопи приурочені виключно до схилових поверхонь*. Деревно-чагарникові біотопи надають перевагу скельним субстратам як на схилах, так і на площинах. Напівприродні біотопи з розвиненим трав'яним покривом займають виключно платоподібні форми рельєфу. Перспективою використання проведених досліджень є розробка рекомендацій щодо формування основ менеджменту постмайнінгових територій. *Ключові слова:* технотоп, біотоп, залізорудні відвали, територіальна структура, Кривбас.

Transformation of technotopes and territorial distribution of ecotopic structures on iron ore dumps of Kryvyi Rih Area. Krasova O., Pavlenko A.

The article is devoted to the identification of the specifics of dynamic changes in technotopes on iron ore dumps of the Kryvyi Rih iron ore basin and the systematization of information on the territorial structure of newly formed biotopes of post-mining landscapes. Currently, technotopes are not considered in the classification scheme of biotopes of the steppe zone of Ukraine, although their share is constantly increasing in the territorial structure of industrial regions; questions of their dynamics are not developed either. According to the periodization of syngenetic processes, we consider the genesis of technotopes of the region as a process that goes through four stages: technotopes, "probiotopes", biotopes formed by human economic activity and semi-natural biotopes. In the process of transformation of technotopes (ecotopes without signs of biota), ecosystems of transitional nature ("probiotopes") emerge. The transition from "probiotopes" to biotopes formed by human economic activity occurs with the acquisition of coenotic relationships between plant populations in a certain locality. The specificity of these habitats is determined by ruderal vegetation, the communities of which belong to three classes – *Stellarietea mediae* Tx. et al. in Tx. 1950, *Artemisietea vulgaris* Lohmeyer et al. in Tx. ex von Rochow 1951 and *Robinietea* Jurko ex Hadač et Sofron 1980. Further formation of ecosystems leads to the emergence of semi-natural grassland habitats, similar to zonal steppes, but with depleted floristic composition of communities. It is noted that woody habitats, unlike grassy ones, have no prospects of approaching natural ones. In terms of territorial structure, the territories of old dumps are combinations of technotopes and newly formed biotopes. Technotopes are confined exclusively to sloping surfaces. Tree-shrub habitats prefer rocky substrates both on slopes and on planes. Semi-natural habitats with developed grass cover occupy exclusively plateau-like landforms. The prospect of using the conducted research is the development of recommendations for the formation of the foundations of management of post-mining areas. *Key words:* technotope, biotope, iron ore dumps, territorial structure, Kryvyi Rih Area.

Постановка проблеми. Криворізький залізорудний басейн належить до українських регіонів, які зазнали найпотужнішої техногенної трансформації і характеризується найвищою у світі концентрацією підземних і відкритих гірничих робіт. Досвід природничих досліджень Кривбасу показав, що з часом постмайнінгові території (такі, що виникли після завершення видобування і збагачення корисних копалин) стають ареною формування вторинних екосистем, розвиток яких підпорядковується загальним природним закономірностям [9]. При цьому існуюча система оптимізації стану промислових відвалів базується на застарілих уявленнях про рекультивацію як єдиний дієвий спосіб відтворення біотичного потенціалу трансформованих територій. Новітня парадигма вилучення природних ресурсів із довкілля має включати узгодження техногенної діяльності з законами природи шляхом максимального використання природних ефектів і явищ для підтримки самовідновлення новостворених екосистем [30].

Актуальність досліджень. Сучасні щорічні об'єми проведення рекультивації у Кривбасі через відсутність фондів складають менше 1% від кількості порушених гірничими роботами земель. За таких умов спонтанне формування екосистем у постмайнінгових ландшафтах починає відігравати провідну роль у покращенні стану довкілля. Всебічне вивчення новоутворених біотопів постмайнінгових ландшафтів індустріального регіону надасть змогу здійснювати диференційований підхід при плануванні рекультиваційних заходів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основна увага вітчизняних спеціалістів зосереджена на дослідженні природних біотопів ботаніко-географічних зон та окремих регіонів України [2–4, 7, 10, 29]. Однак в індустріально розвинутих регіонах стрімко зростають площі технотопів – екосистем, позбавлених біоти. Відомості щодо різноманіття технотопів наразі представлена у нечисленних публікаціях [13, 24, 31].

Відомо, що провідними механізмами трансформації техногенних екотопів є біологічні процеси. Щодо розвитку рослинності, прогнозні схеми включають чотири стадії: бур'янову, пирійну, перехідно-степову, степову [15], або ж початкову, активного розвитку, стабілізації, остепніння [8].

Мета дослідження. Метою дослідження є виявлення специфіки динамічних змін технотопів залізорудних відвалів Криворізького залізорудного басейну та територіальної структури новоутворених біотопів постмайнінгових ландшафтів.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Наразі у класифікаційній схемі біотопів степової зони України технотопи взагалі не розглядаються, хоча їх частка невпинно збільшується у територіальній структурі індустріальних регіонів в межах цієї природної зони. Не розроблені питання динаміки технотопів.

Матеріали та методи досліджень. Регіон досліджень розташований на південному сході Центральної України, переважно у Дніпропетровській області. За геоботанічним районуванням майже вся територія досліджень входить до Бузько-Дніпровського (Криворізького) округу різнотравно-злакових степів, байрачних лісів та рослинності гранітних відслонень; лише крайня південна частина її належить до Бузько-Інгульського округу злакових степів, подових луків і рослинності вапнякових відслонень [14].

У Криворізькому басейні налічується більше 110 залізорудних відвалів; нами обстежено 27 з них. Платоподібні тераси (берми) і вершини відвалів можуть бути відносно рівними, плоскими, також можуть мати пагорбисту поверхню. Крутизна схилів досягає 45°. Літологічною основою технотопів виступає велика кількість різновидів гірських порід, винесених на денну поверхню з шахт та кар'єрів (лесовидні суглинки, леси), карбонатні, сланцеві та масивно кристалічні породи, серед яких переважають різноманітні кварцити). У південній частині Кривбасу істотний відсоток розкривних порід становлять вапняки; участь пісків і супісків в утворенні поверхонь відвалів невелика. Значна частина контурів техногенних екотопів відсипана сумішами гірських порід.

Для аналізу використано 640 геоботанічних описів, виконаних впродовж польових сезонів 2004–2021 років із застосуванням стандартних геоботанічних методів [32]. При ідентифікації біотопів керувалися методичними підходами, які використані у монографії «Біотопи степової зони України» [12]. Технотопи систематизувались відповідно до класифікації EUNIS [34]. Картування старовинних відвалів із виділенням контурів технотопів та біотопів здійснено з використанням ортофотокарт (Google Maps) [24].

Виклад основного матеріалу. Відповідно до періодизації сингенетичних процесів, ми розглядаємо генезис технотопів регіону як процес, що проходить чотири стадії – технотопів, «пробіотопів», біотопів, сформованих господарською діяльністю людини та напівприродних біотопів.

Нещодавно відсипані відвали, поверхня яких являє собою «мертвий ландшафт», є типовими технотопами. Їх місце в системі EUNIS деталізоване до п'ятого рівня і визначається наступним чином:

J – Промислові та інші штучно створені екотопи (технотопи)

J3. Індустріальні технотопи (гірничо-видобувної промисловості)

J6. Відкладення відходів

J6.5. Промислові відходи

J6.5.1. Відвали пустих порід.

Розроблена нами деталізована класифікація технотопів об'єктів гірничо-видобувної промисловості Криворізького регіону тільки в межах залізорудних відвалів нараховує 6 одиниць п'ятого рівня (враховуються гірські породи) та 14 – шостого (диференціюються певні компоненти мезорельєфу) [21]. Параметри диференціації технотопів визначають і тривалість їх існування. Вона становить 1–2 роки для екотопів площин, відсипаних потенційно родючими пухкими породами кайнозою та десятки років для сипких кам'янистих схилів та пагорбів, сформованих із фітотоксичних порід.

Оскільки попередніми дослідженнями встановлено, що на залізорудних відвалах формуються специфічні біокомплекси – пробіогеоценози [15], логічно припустити, що в процесі трансформації цих територій, виникають екосистеми, які мають перехідний характер між технотопами та біотопами – «пробіотопи» [22].

Початок біологічного освоєння субстратів як природного, так і антропогенного походження, зазвичай пов'язують із розвитком мікробо- та альгоценозів. Колонізація субстрату мікроорганізмами

відбувається протягом року після відсипки [28]. Ґрунтові водорості, ініціюючи первинні етапи ґрунтоутворення, сприяють не лише накопиченню органічної речовини, але й скріпленню часток субстратів, активізації діяльності гетеротрофної мікрофлори тощо [1].

Існує думка щодо піонерної ролі мохів у заростанні різних субстратів на відвалах [15], проте, за нашими спостереженнями, мохоподібні з'являються пізніше вищих рослин, оскільки для свого існування потребують стабілізації рухомого субстрату. Те ж стосується і лишайників: саме нестабільністю субстрату дослідники пояснюють невисокий рівень їх видового різноманіття на відвалах, відсипка яких припинена 30–60 років тому [5–6]. Піонерами заростання пухких незасолених порід (суглинків, вапняків) та подрібнених кам'янистих субстратів (у яких, як правило, присутні домішки продуктів гіпергенезу) є *Kochia scoparia* (L.) Schrad. та *Polygonum aviculare* L. – трав'яні однорічники із вираженими експлерентними властивостями. В екотопах, сформованих супісками, першими з'являються експлеренти *Eragrostis minor* Host та *Psammophiliella muralis* (L.) Ikonn.

На великоуламкових скельних субстратах, якими здебільшого відсипані схили берм, першими оселяються лігнозні біоморфи: переважно види роду *Populus* L. [11]; *Betula pendula* (у північній частині регіону) [23] та *Cerasus mahaleb* (L.) Mill. (у південній частині).

Перехід від «пробіотопів» до біотопів, сформованих господарською діяльністю людини відбувається з набуттям ценотичних відносин між популяціями рослин у певному локалітеті. Специфіку цих біотопів визначає рудеральна рослинність, угруповання якої належать до трьох класів – *Stellarietea mediae* Tx. et al. in Tx. 1950, *Artemisietea vulgaris* Lohmeyer et al. in Tx. ex von Rochow 1951 та *Robinietea* Jurko ex Hadač et Sofron 1980 [17–18, 27, 35]. Такі біотопи добре ідентифікуються за візуальними ознаками до третього-четвертого рівнів, у деяких випадках – до п'ятого. Схема синантропних біотопів має наступний вигляд:

I. Біотопи, сформовані господарською діяльністю людини

I:2 Спонтанні біотопи під постійним антропогенним впливом

I:2.1 Рудеральні трав'яні біотопи

I:2.11 Рудеральні угруповання однорічників і малорічників

I:2.111 Угруповання однорічних ксерофітних злаків (ас. *Brometum tectorum* Bojko 1934)

I:2.112 Угруповання рудеральних малорічників на бідних ґрунтах (ас. *Berteroetum incanae* Sissingh et Tideman ex Sissingh 1950; *Kochietum densiflorae* Gutte et Klotz 1985; *Melilotetum albo-officinalis* Sissingh 1950 [26])

I:2.12 Рудеральні угруповання багаторічників (ас. *Achilleo millefolii-Grindelietum squarrosae* Kostylev in Solomakha et al. 1992; *Carduo acanthoidis-Onopordetum acanthii* Soó ex Jarolímek et al. 1997; *Calamagrostietum epigei* Kostylev in Solomakha et al. 1992; *Falcario vulgaris-Elytrigietum repentis* T. Müller et Görs 1969; *Melico transsilvanicae-Agropyretum* T. Müller in Görs 1966; *Poo compressae-Tussilaginetum farfarae* Tx. 1931, *Potentillo argenteae-Artemisietum absinthii* Falicski 1965 [26]; DC *Artemisia absinthium-Phragmites australis* [*Onopordetalia acanthii/Phragmitetalia australis*], DC *Grindelia squarrosa* [Artemisietea vulgaris], DC *Solidago canadensis* [Artemisietea vulgaris], DC *Xeranthemum annuum* [Artemisietea vulgaris/Festuco-Brometea] [17]).

I:2.2 Рудеральні зарості чагарників і дерев (ас. *Ceraso mahaleb-Robinietum pseudoacaciae* Smetana 2002, *Chelidonio-Acerion negundi* L. Ishbirdina et A. Ishbirdin 1991 [26])

I:3 Штучно створені біотопи, з постійним інтенсивним упливом

I:3.2 Штучно створені деревні та чагарникові насадження

I:3.211 Штучно створені насадження із домінуванням листяних порід (*Ligustro vulgaris-Robinietum pseudoacaciae* Smetana 2002)

I:3.212 Штучно створені насадження із домінуванням хвойних порід (рекультиваційні насадження *Pinus pallasiana* D. Don та *P. sylvestris* L.)

I:3.22 Насадження кущів

Деревні угруповання листяних порід (як спонтанні, так і рекультиваційні) на залізорудних відвалах знаходиться в умовах жорсткої екологічної невідповідності. Деградація їх здебільшого розпочинається вже з досягненням 50-річного віку. Насадження хвойних порід відзначаються високою стійкістю, тривалістю життя та активним самовідновленням [19]. Однак внаслідок географічної невідповідності деревно-чагарникові біотопи, на відміну від трав'яних, не мають перспективи наближення до природних.

На території Кривбасу збереглися 64 відвали віком понад 100 років [25]. В тому разі, якщо ці об'єкти індустріальної спадщини не використовують для вторинної переробки, перепрофілювання на смітники тощо, вони стають цінними інформаційними носіями сукцесійного розвитку гірничопромислових ландшафтів [33].

В результаті ендоекоґенетичних процесів на старовинних відвалах формуються примітивні та більш складні ґрунти: кінцевою стадією ґрунтоутворення є ґрунтові тіла, за будовою подібні до природних дерново-степових. У їх приповерхневому шарі (2–3 см) спостерігається значний уміст гумусу – від 4 до 8%, що зумовлено значним надходженням на поверхню органічного опаду від рослинності, активною деструкцією органіки, слабкою риючою діяльністю фауни та невираженими низхідними потоками речовини [16]. Також формуються трав'яні біотопи, подібні до зональних степових,

але флористичний склад угруповань є збідненим. Так, в угрупованнях формації *Stipeta capillatae* у причорноморських степах басейну Інгульця нараховується до 35–45 видів судинних рослин [20], а у відвальних фітоценозах із домінуванням ковили волосистої – 20–25. Такі біотопи мають перехідний характер, внаслідок чого їх неможливо інтерпретувати у використаній нами за основу класифікаційній системі; ми вважаємо їх напівприродними («квазіприродними»).

Слід зазначити, що переважна більшість відвалів (за виключенням новостворених, на яких відсипка розкривних порід проводиться не довше одного–двох років) являють собою комплекси технотопів та біотопів. Особливості просторового взаєморозташування екотопів, які знаходяться на різних стадіях сукцесійного розвитку ілюструють картосхеми найстаріших залізорудних відвалів Криворіжжя.

Два одноярусних відвали дореволюційного рудника «Дубова балка» віком близько 130 років, очевидно, є залишками єдиного геоморфологічного утворення, відсипаного кварцитами з високим умістом заліза (рис. 1А).

Значна частина поверхонь схилів цих відвалів являє собою пробіотопи з окремими особинами вищих рослин – переважно *Oberna cserei*. За останні роки розширилася частка технотопів внаслідок осипних явищ, оскільки розпочалася розробка цих «реліктових» відвалів як вторинних техногенних родовищ. У верхній частині західного схилу зберігся локалітет з досить щільним травостоєм із *Hieracium umbellatum* L.; до початку зрізання схилів відвалів подібних мікроценозів було декілька.

Деревно-чагарникові куртини з *Ulmus minor* Mill., *Acer negundo* L., Scop., *Elaeagnus angustifolia* L., *Cotinus coggygria* Scop. здебільшого також зосереджені на схилах. Центральна частина північного відвалу являє собою нешироку перемичку. В субстраті цього екотопу запаси вологи інтенсивно витрачаються через бічний стік, тому проективне покриття квіткових рослин становить лише 45%, решта поверхні вкрита кіркою лишайників *Cladonia* sp.

На пласких вершинах відвалів суттєву частку рослинного покриву тут утворюють злаковники з домінуванням *Stipa capillata* L., *Koeleria cristata* (L.) Pers., *Festuca valesiaca* Gaudin, які ми вважаємо напівприродними аналогами біотопів E:2.21 (ксеротичні (степові) щільнодернинні злаковники з домінуванням чи значною участю ковили (*Stipa* sp.)) та E:2.22 (щільнодернинні різнотравно-кострицеві угруповання (*Festucion valesiacae*) на розвинених чорноземних ґрунтах).

Ділянки площин з нерозвиненими ґрунтами займають угруповання петрофітів з переважанням *Melica transsilvanica* Schur. та значною участю *Kohlrauschia prolifera* (L.) Kunth, *Minuartia leiosperma* Klok., *Thymus* × *dimorphus* Klokov & Des.-Shost., *Chondrilla juncea* L., *Sedum acre* L. – аналоги біотопів E:4.1 (ксеротичні біотопи на виходах кристалічних порід).

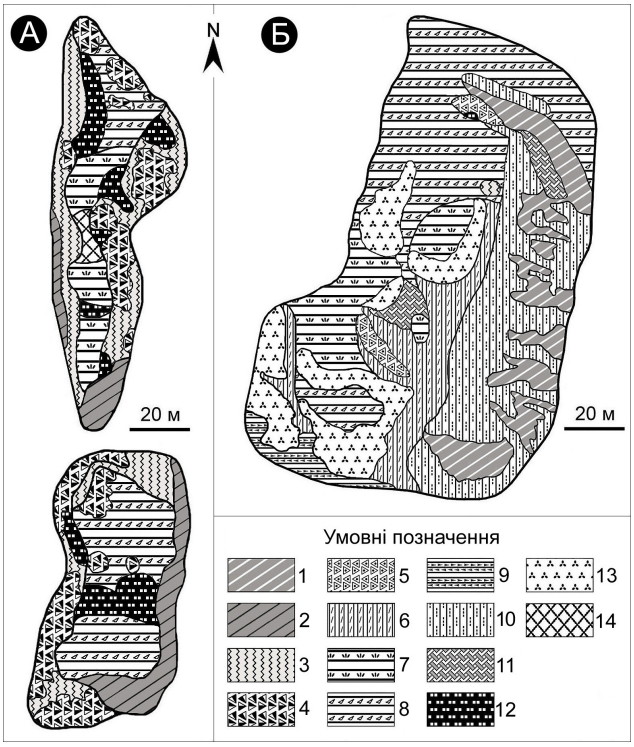


Рис. 1. Картосхеми диференціації біотопів відвалів: А – рудника «Дубова балка», Б – рудника «Рахманівський». Умовні позначення: 1 – технотопи відвалів, сформованих з пухких гірських порід; 2 – технотопи відвалів, сформованих переважно з уламків кварцитів; 3 – «пробіотопи» кам'янистих субстратів із піонерними трав'яними видами; 4 – біотопи спонтанно сформованих деревних угруповання з домінуванням листяних порід; 5 – біотопи спонтанно сформованих насаджень кущів; 6 – біотопи напівприродних аналогів угруповань мезоксерофітних степів рихлодернинних злаковників; 7 – біотопи напівприродних аналогів ксеротичних (степових) щільнодернинних злаковників з домінуванням чи значною участю ковили (Stipa sp.); 8 – біотопи напівприродних аналогів різнотравно-кострицевих угруповань (Festucion valesiacae); 9 – біотопи напівприродних аналогів ксерофітних пирієвих угруповань змитих ґрунтів і лесових відслонень; 10 – біотопи напівприродних аналогів ксерофітних угруповань (Artemisio-Kochion) лесових схилів; 11 – біотопи напівприродних аналогів сухих різнотравних степів Tanaceto-Galatellion villosae; 12 – біотопи напівприродних аналогів петрофітних різнотравно-злакових угруповань на дрібноземах силікатного субстрату; 13 – біотопи напівприродних аналогів петрофітних степів Придніпров'я (Potentillo arenariae-Linion czernjajevii) на вапняках; 14 – біотопи лишайникових та мохових угруповань на силікатних субстратах

Ще більшою різноманітністю характеризується територіальна структура біотопів одного з відвалів старовинного рудника «Рахманівський» (рис. 1Б), який знаходиться в зоні ландшафтного

екотону на межі Придніпровської височини та Причорноморської низовини. Частина відвалу відсипана вапняками (що відрізняє відвали південної частини Кривбасу від північної), а в рослинному покриві присутні види-карбонатофіли, поширені в смузі типчаково-ковилових степів (*Jurinea brachycephala* Klokov, *Haplophyllum suaveolens* (DC.) G. Don. f., *Otites hellmannii* (Claus) Klokov). Розташування відвалу на межі з балкою Галагановою сприяє збільшенню флористичного багатства угруповань і формуванню біотопів, подібних до E:2.122 (угруповання мезоксерофітних степів рихлодернинних злаковників (*Thymo marschalliani-Caricetum praecocis: Poa angustifolia*, *Carex praecox*)), E:2.232 (ксерофітні пирієві угруповання (*Elytrigia intermedia*) змитих ґрунтів і лесових відслонень), E:2.234 (ксерофітні угруповання (*Artemisio-Kochion*) лесових схилів), E:2.311 (сухі різнотравні степи *Tanaceto-Galatellion villosae*), E:4.221 (петрофітні степи Придніпров'я (*Potentillo arenariae-Linion czernjajevii*) на щільних сарматських та понтичних вапняках).

Як видно з рис. 1, території старих відвалів є комбінаціями технотопів та новоутворених біотопів. Технотопи приурочені виключно до схилових поверхонь, де постійні осипні та ерозійні процеси перешкоджають розвитку рослинності. У схилових локалітетах з більш-менш стабілізованими субстратами формуються пробіотопи з піонерними трав'яними видами, або ж біотопи з характерними угрупованнями природних схилових ландшафтів. Деревно-чагарникові біотопи надають перевагу скельним субстратам як на схилах, так і на площинах. Напівприродні біотопи з розвиненим трав'яним покривом займають виключно платоподібні форми рельєфу.

Головні висновки. Таким чином, генезис технотопів Криворізького гірничопромислового регіону являє собою процес, що проходить чотири стадії – технотопів, пробіотопів, біотопів, сформованих господарською діяльністю людини та напівпрородних біотопів. Трав'яні біотопи, формування яких відбувається за зональним (степовим) та зонально-азональним (петрофітно-степовим) типами, володіють високим потенціалом саморозвитку; в результаті вони досягають стадії напівприродних. Динамічний тренд лігнозної рослинності, яка в умовах залізорудних відвалів знаходиться в умовах екологічної та географічної невідповідності, не спрямований на розвиток угруповань за лісовим типом. На відміну від трав'яних, деревні біотопи не мають перспективи наближення до природних.

Перспективи використання результатів дослідження. Перспективою використання проведених досліджень є розробка рекомендацій щодо формування основ менеджменту постмайнінгових територій.

Література

1. Баранова О.О. Водорості в первинних сукцесіях на залізорудних відвалах Криворіжжя. *Екологія та ноосферологія*. 2008. Т. 19, № 1–2. С. 139–142.
2. Біотопи Лісової та Лісостепової зон України / Я.П. Дідух, Т.В. Фіцайло, І.А. Коротченко, Д.М. Якушенко, Н.А. Пашкевич. Київ : ТОВ «МАКРОС», 2011. 288 с.
3. Біотопи Гірського Криму / Ред. Я.П. Дідух. К. : ТОВ «НВП Інтерсервіс», 2016. 292 с.
4. Вашеняк Ю.А. Біотопічне різноманіття трав'яних угруповань Центрального Поділля та їх созологічна оцінка. *Біологічні системи*. 2016. Т. 8. Вип. 1. С. 108–117.
5. Головенко Є.О. Ліхенофлора залізорудних відвалів м. Кривий Ріг. *Чорноморськ. бот. ж*. 2016. Т. 12, № 1. С. 78–84. doi:10.14255/2308-9628/16.121/8.
6. Головенко Є.О., Коршиков І.І. Видове різноманіття та особливості поширення лишайників у кар'єрно-відвальних комплексах Криворіжжя. *Укр. ботан. журн*. 2018. Т. 75, № 1. С. 50–58.
7. Давидова А.О., Дубина Д.В. Приморські біотопи України: синтаксономія та хорологія. *Класифікація рослинності та біотопів України* : матеріали четвертої науково-теоретичної конференції (Київ, 25–26 березня 2020 р.). Київ, 2020. С. 41–56.
8. Денисик Г. І., Ярков С. В., Казаков Л. В. Сингенез рослинного покриву в ландшафтах зон техногенезу. Вінниця : ПП «Едельвейс і К», 2012. 240 с.
9. Денисик Г.І., Задорожня Г.М. Похідні процеси та явища в ландшафтах зон техногенезу. Вінниця : ПП «Едельвейс і К», 2013. 220 с.
10. Дзюба Т.П. Класифікація галофітних біотопів України. *Класифікація рослинності та біотопів України* : матеріали четвертої науково-теоретичної конференції (Київ, 25–26 березня 2020 р.). Київ, 2020. С. 69–81.
11. Данильчук Н.М. Життєздатність видів роду *Populus* L. на залізорудних відвалах Криворіжжя : дис. … канд. біол. наук : 03.00.16. Львів, 2021. 165 с.
12. Дідух Я.П. Біотопи степової зони України / Ред. академік НАН України Я.П. Дідух. Київ–Чернівці: ДрукАРТ, 2020. 392 с.
13. Дідух Я.П., Альошкіна У.М. Біотопи м. Києва. Київ : Аграр Медіа Груп, 2012. 154 с.
14. Дідух Я. П., Шеляг-Сосонко Ю.Р. Геоботанічне районування України та суміжних територій. *Укр. ботан. журн*. 2003. Т. 60, № 1. С. 6–17.
15. Добровольський І.А., Шанда В.І., Гаєва Н.В. Характер і напрямки сингенезису в техногенних екотопах Кривбасу. *Укр. ботан. журн*. 1979. Т. 36, № 6. С. 524–541.
16. Долина О.О. Едафотопи та фітоценози індустріальних ландшафтів Криворізького залізорудного басейну : просторова структура та особливості формування : дис. … канд. біол. наук : 03.00.16. Київ, 2015. 241 с.
17. Єременко Н.С. Рудеральна рослинність Кривого Рогу. І. Клас *Artemisietea vulgaris*. *Укр. ботан. журн*. 2017. Т. 74, № 5. С. 449–468. doi: 10.15407/ukrbotj74.05.449

18. Єременко Н.С. Рудеральна рослинність міста Кривий Ріг. ІІ. Клас *Stellarietea mediae*. *Укр. ботан. журн*. 2018. Т. 75, № 4. С. 356–372. https://doi.org/10.15407/ukrbotj75.04.356
19. Красноштан О.В. Еколого-біологічні детермінанти успішності зростання видів роду *Pinus* L. на залізорудних відвалах Криворіжжя : дис. … канд. біол. наук : 03.00.16. Дніпро, 2019. 182 с.
20. Красова О.О. Природна флора та рослинність схилів причорноморської частини басейну р. Інгулець : дис. … канд. біол. наук : 03.00.05. Київ, 2017. 368 с.
21. Красова О.О., Павленко А.О. До класифікації технотопів Криворізького регіону: об'єкти гірничо-видобувної промисловості. *Класифікація рослинності та біотопів України* : мат. науково-теоретичної конф. Київ, 2018. С. 103–108.
22. Красова О.О., Павленко А.О. Від технотопів до біотопів: стадії трансформації та класифікація. *Проблеми екології та еволюції екосистем в умовах трансформованого середовища* : мат. ІІ Міжнар. науково-практ. конф. Чернігів, 2018. С. 74–78.
23. Коршиков І.І., Петрушкевич Ю.М. Популяційна структура *Betula pendula* (*Betulaceae*) на залізорудних відвалах Криворіжжя. *Укр. ботан. журн*. 2020. Т. 77, № 2. С. 90–103.
24. Національний каталог біотопів України / За ред. А.А. Куземко, Я.П. Дідуха, В.А. Онищенка, Я. Шеффера. К. : ФОП Клименко Ю.Я., 2018. 442 с.
25. Пацюк В., Казаков В. Чи може індустріальний туризм змінити обличчя Кривого Рогу? *Урбаністична Україна: в епіцентрі просторових змін* : монографія / за ред. К. Мезенцева, Я. Олійника, Н. Мезенцевої. Київ : «Фенікс», 2017. С. 378–393.
26. Продромус рослинності України. Відп. ред. Д.В. Дубина, Т.П. Дзюба. Київ : Наукова думка, 782 с.
27. Сметана М.Г. Синтаксономія степової та рудеральної рослинності Криворіжжя. Кривий Ріг : Вид-во «І. В. І.», 2002. 132 с.
28. Сыщикова О.В. Микробиологическая оценка эдафотопов отвалов горно-обогатительного комбината при воздействии искусственных растительных насаждений. *Современное состояние черноземов* : мат. междунар. науч. конф. Ростов-на-Дону : Изд-во Южного федерального ун-та, 2013. С. 301–302.
29. Чусова О.О. Біотопи басейну річки Красна (Луганська обл., Україна) та їхній аналіз. *Укр. ботан. журн*. 2018. Т. 75, № 3. С. 260–273.
30. Шапар А.Г. Особливості функціонування великих техно-гео-екосистем при вилученні природних ресурсів. *Сучасні технології розробки рудних родовищ. Еколого-економічні наслідки діяльності підприємств ГМК* : мат. VI наук.-техн. конф. Кривий Ріг : Вид. Роман Козлов, 2019. С. 21–22.
31. Шишкін М.О., Хом'як І.В. Методологічні підходи до класифікації технотопів. *Сучасні проблеми екології та геотехнологій* : тези V міжнародної наукової конференції студентів, магістрантів і аспірантів (Житомир, 19–22 березня 2008 р.). Житомир: Видавництво ЖДТУ, 2008. С. 337 – 338.
32. Юнатов А.А. Типы и содержание геоботанических исследований. Выбор пробных площадей и заложение экологических профилей. *Полевая геоботаника*. Т. III. Москва – Ленинград, 1964. С. 9–38.
33. Ярков С.В. Розвиток мішаних за субстратом 20–40-річних відвальних ландшафтів Криворіжжя. *Наук. зап. Тернопільськ. нац. пед. ун-ту. Серія : Географія*. 2013. № 2. С. 23–30.
34. EUNIS habitat type hierarchical view [електронний ресурс]. URL : http://eunis.eea.europa.eu/about
35. Yeremenko N. Ruderal vegetation in Kryvyi Rih (Ukraine) – the class of *Robinietea*. *Hacquetia*. 2019. Vol. 18, No. 1. Pp. 75–86.

УДК 581.6+631.8+665.6
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.15

РОЗРОБКА ФІТОРЕМЕДІАЦІЙНИХ КОМПОЗИЦІЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ ҐРУНТІВ, ЗАБРУДНЕНИХ НАФТОЮ ТА ЇЇ ПОХІДНИМИ

Романюк О.І.[1], **Борецька І.Ю.**[1,2], **Шевчик Л.З.**[1], **Ощаповський І.В.**[2]
[1]Відділення фізико-хімії горючих копалин Інституту фізико-органічної хімії і вуглехімії імені Л. М. Литвиненка Національної академії наук України
вул. Наукова, 3А, м. Львів, 79022, Україна
[2]Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Грушевського, 4, 79005, Львів
romaniuk@ua.fm, ira.boretska2017@gmail.com

Екологічні проблеми пов'язані з забрудненням ґрунтів нафтою, нафтопродуктами, дизельним пальним та іншими паливно-мастильними матеріалами набули особливої актуальності в час воєнних дій на території України і потребують термінового і ефективного вирішення.

Досліджено фіторемедіаційний потенціал рослин бобу (*Vicia faba* L.*)* та фіторемедіаційної композиції бобу з вівсом посівним (*Avena sativa* L.*)* у відновленні ґрунтів, забруднених нафтою (1–15%) та її похідними (1,5%).

Вивчено вплив вуглеводнів різної будови з різною довжиною вуглеводневого ланцюгу (толуол, циклогексан, октан, ізо-октан, ундекан) на ріст рослин *V.faba* та зниження токсичності забрудненого ґрунту. Показано зростання схожості насіння рослин *V.faba* в умовах забруднення ґрунту похідними нафти (1,5%): толуолу – на 13%, циклогексану – на 7%, октану – на 16%, ундекану – на 3%, відносно контролю та стимулювання росту кореня бобу вдвічі за дії октану та пагона на 10 % за дії ізо-октану. Доведено, що рослини *V. faba* прискорюють процес біодеградації нафти у ґрунті. За низьких концентрацій нафти 1%, ґрунт очистився на 100%; за дії нафти 2% сумарне очищення ґрунту становило 92%, а за дії нафти 5% і 10% – 70 і 61,7% відповідно.

Встановлено, що спільне зростання *V. faba* з *A. satíva* на нафтозабруднених ґрунтах, підвищує стійкість рослин *A.satíva* та *V. faba* на різних етапах розвитку і росту, що проявляється у збільшенні морфометричних показників *A. satíva*: довжини кореня на 67%, висоти пагона на 30%, вмісту фотосинтетичних пігментів у листках на 16–25%. Розроблено фіторемедіаційну композицію *V. faba+ A. satíva* (1: 20–50), що забезпечує високий 85% ступінь очищення ґрунтів від нафтового забруднення (5%) без додаткового внесення добрив та інших агентів ремедіації. *Ключові слова:* фіторемедіація, нафтозабрудненні грунти, *Vicia faba, Avena sativa*.

The development of phytoremediation compositions for cleaning of soils, polluted by oil and oil derivatives. Romanyuk O., Boretska I., Shevchyk-Kostiuk L., Oshchapovskyy I.

Ecological problems, associated with pollution of soils by oil, oil products, diesel fuel and other fuel and lubrication materials have become especially important during war at the territory of Ukraine and demand prompt and effective solution.

The phytoremediation potential of bean plants (*V. faba*) and the phytoremediation composition of beans with oats (*A. satíva*) towards recultivation of oil – (1–15 %) and oil-derivative (1.5%) polluted soil was studied. It was established that joint vegetation of *V. faba* together with *A. satíva* on oil-polluted soils improves the resilience of plants of both species at the different stages of growth and development.

An influence of hydrocarbons of various structure and chain length (toluene, cyclohexane, octane, iso-octane, undecane) on growth of *V.faba* plants and toxicity of polluted soil was studied. An increase of germination of *V.faba* seeds in comparison to control under soil pollution by the following oil derivatives (1.5 wt. %) was revealed: 13% for toluene, 7% – cyclohexane, 16% – octane, 3% – undecane. Twofold increase of bean root growth under the influence of octane and 10% increase of shoot growth under the influence of iso-octane was shown as well. An increase of morphometric parameters of *A.* satíva was observed: root length in 67%, shoot height in 30%, photosynthetic pigments content in leaves in 16–25%.

It has been proven that *V.faba* plants accelerate biodegradation of oil in soil. In case of low oil concentration 1% the soil was cleaned in 100%; in case of 2% of oil the total degree of cleaning was 92%, whereas under influence of 5% and 10% oil – 70 and 61,7% respectively.

The phytoremediation composition *V. faba + A. satíva* (1: 20–50) has been developed, which achieves high 85% degree of cleaning of soil from oil pollution (5%) without addition of fertilizers and other remediation agents. *Key words:* phytoremediation, oil-contaminated soils, Vicia faba, Avena sativa.

Постановка проблеми та актуальність. Екологічні проблеми пов'язані з забрудненням ґрунтів нафтою, нафтопродуктами, дизельним пальним та іншими паливно-мастильними матеріалами набули особливої актуальності в час воєнних дій на території України і потребують термінового і ефективного вирішення з метою повернення земель до їх цільового господарського використання. Враховуючи економічні складності воєнного сьогодення, загострення екологічної ситуації в ряді районів України, обумовлені наслідками ворожих бомбардувань складів з паливномастильними матеріалами, запропоновані технології відновлення ґрунтів мають бути простими і швидкими

в реалізації, економічно вигідними і екологічно безпечними.

Систематизація та узагальнення літературних даних про особливості нафтового забруднення ґрунтів та їх рекультивації вказують на перспективність використання фіторемедіаційних технологій [1–5]. Фіторекультивація не вимагає екскавації ґрунту, є економічно вигідною, не передбачає великих одноразових капіталовкладень, є найбільш естетичною, характеризується тривалішим впливом і стабільним покращенням якості довкілля на великих площах.

Однак, успішне проведення фіторемедіації нафтозабруднених ґрунтів є непростим завданням через гідрофобність та високу токсичність нафтопродуктів, значне порушення водоповітряного балансу ґрунту та співвідношення основних елементів живлення: C та N, що робить неможливим зростання більшості рослин у ньому. Саме тому практично не розроблені і не втілені фітотехнології очищення ґрунту від нафтового забруднення. Для вирішення цієї актуальної проблеми необхідна розробка ефективних фіторемедіаційних композицій стійких до нафтового забруднення та придатних до використання в фіторемедіаційних технологіях.

Мета роботи – розробка стійких до нафтового забруднення фіторемедіаційних композицій, придатних до ефективного використання в технологіях відновлення ґрунтів, забруднених нафтою та її похідними.

Методика досліджень. Модельні дослідження фіторемедіаційних можливостей бобу кормового (*Vicia faba* L.*)* проводили на території Відділення фізико-хімії горючих копалин Інституту фізико-органічної хімії і вуглехімії ім. Л. М. Литвиненка НАН України. Просіяний ґрунт штучно забруднювали вуглеводнями (толуол, циклогексан, октан, ізооктан, ундекан) або сирою нафтою у кількості 1–15%. Вегетаційні посудини наповнювали забрудненим ґрунтом і через місяць (час, необхідний для вивітрювання летких токсичних нафтопродуктів) висівали *V. faba.* Після 46 днів вегетації, відбирали рослини для аналізу та визначали ростові показники за методиками [6]. Фітотоксичність ґрунту оцінювали за допомогою тест-об`єкту льону звичайного *(Linum usitatissimum* L.*)* [7]. Вміст фотосинтетичних пігментів визначали за методикою [8]. Результати опрацьовували статистично з використанням критерію Стьюдента та програми MS Excel.

Польові дослідження проводили на відвальних нафтозабруднених грунтах озокеритовидобутку м. Борислава.

Виклад основного матеріалу. Відомо про стійкість бобових (*Fabaceae*) до нафтового забруднення, що пояснюється здатністю фіксувати атмосферний азот і, таким чином, забезпечувати себе джерелом мінерального живлення у нафтозабрудненому ґрунті. Окрім того, кореневі симбіонти бобових із роду *Rhizobium* здатні не лише фіксувати азот повітря, але й розкладати вуглеводні нафти і використовувати їх як альтернативне джерело живлення [1, 9].

Досліджено фіторемедіаційні можливості бобу в умовах забруднення ґрунтів нафтою та нафтопродуктами, в т.ч. вплив різних вуглеводнів (лінійні, циклічні, ароматичні) з різною довжиною вуглеводневого ланцюгу на ріст рослин *V.faba* та зниження токсичності забрудненого ґрунту.

Встановлено зростання схожості насіння рослин *V.faba* в умовах забрудненого грунту окремими вуглеводнями (1,5%): за дії толуолу – на 13%, циклогексану – на 7%, октану – на 16%, ундекану – на 3%, відносно контролю. За дії толуолу виявлено зростання маси сирої речовини і зниження вмісту сухої речовини у органах дослідних рослин. За дії октану довжина наземної частини рослини *V. faba* сягала контролю, тоді як нагромадження сирої і сухої маси кореня збільшувалося майже удвічі. Аналог октану ізооктан стимулював ріст надземної частини рослини на 10%. За дії ундекану також спостерігали незначне (≤3%) стимулювання росту рослин *V. faba* відносно контролю. Циклогексан призводив до стимулювання нагромадження сирої маси кореня на 43% і зниження в ньому частки сухої речовини удвічі відносно контролю.

Досліджено фіторемедіаційний потенціал рослин бобу у відновленні ґрунтів, забруднених нафтою (1–15 %). Показано позитивний вплив рослин *V. faba* на зниження фітотоксичності нафтозабрудненого ґрунту. Так, відносна схожість насіння тестової рослини *L. usitatissimum* на нафтозабрудненому ґрунті (2%, 5% і 10%) становила 93,3; 70 та 73,3%, тоді як після трьох місяців фіторекультивації рослинами *V. faba* – 110,4; 110,4; і 104,3% відповідно. Для нафтозабрудненого ґрунту 15% відносна схожість *L. usitatissimum* після трьох місяців рекультивації рослинами *V. faba* зросла у 2,5 рази (рис. 1). Аналогічну закономірність виявлено при дослідженні інших тест-показників – відносна довжина кореня та висота пагона *L. usitatissimum* на фіторекультивованих ґрунтах також поступово збільшувалися (рис. 1).

Аналіз ґрунтів на вміст нафтопродуктів підтвердив, що рослини *V. faba* прискорюють процес біодеградації нафти у ґрунті (табл. 1). В результаті фіторемедіації, за низьких концентрацій нафти 1%, ґрунт очистився на 100%; за дії нафти 2% сумарне очищення ґрунту становило 92%, а за дії нафти 5% і 10–70 і 61,7% відповідно.

Польові дослідження, що охоплювали повний вегетаційний період *V.faba,* показали 77% очищення ґрунту від нафтового забруднення при початковій концентрації нафти в ґрунті 5% (табл. 2).

Отже, у процесі ремедіації нафтозабруднених грунтів рослинами *V. faba* кількість нафтопродуктів у ґрунті зменшується, фітотоксичність знижується, що свідчить про перспективність використання бобу у фітотехнологіях відновлення ґрунтів.

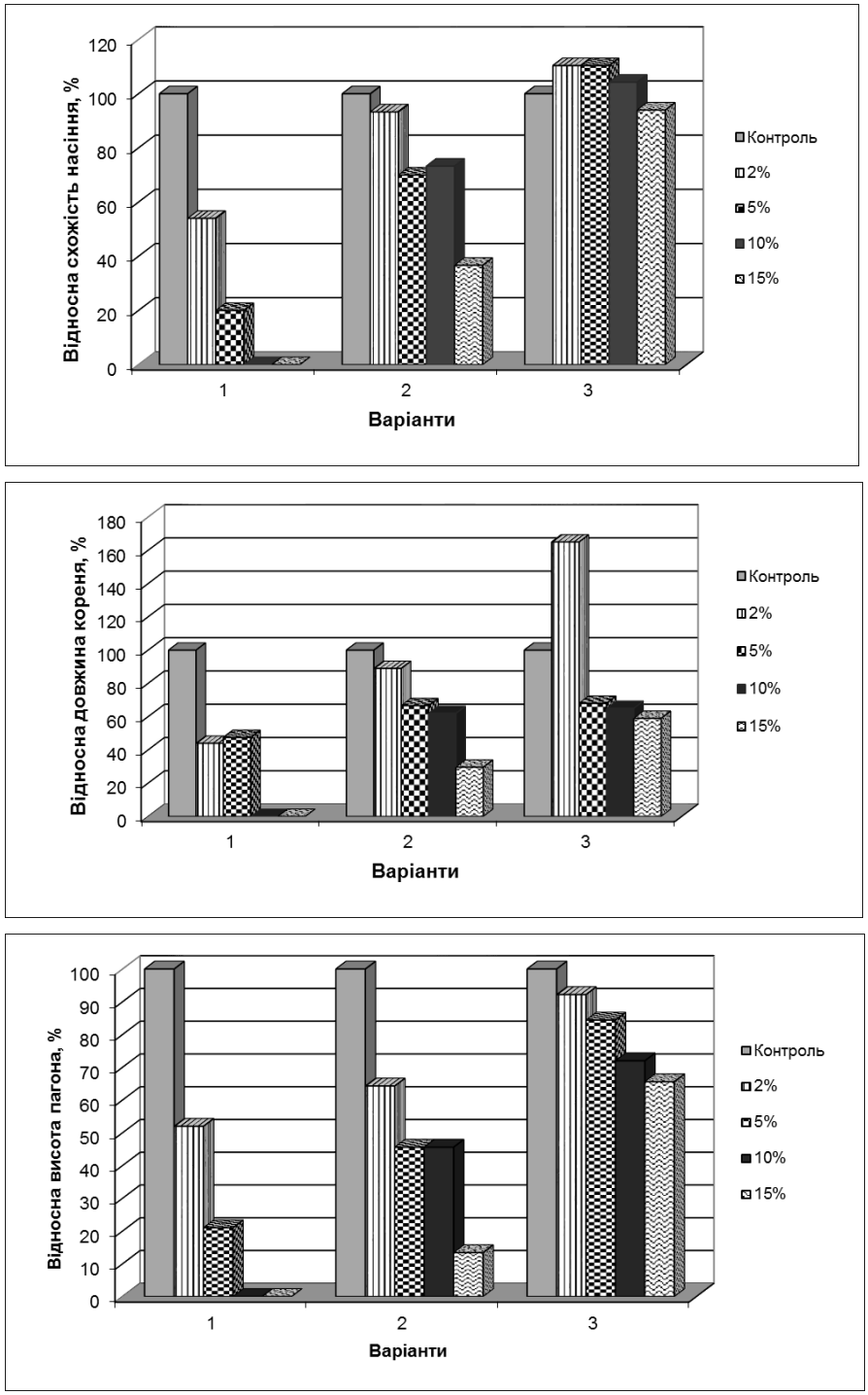


Рис. 1. Відносна схожість насіння (А), відносна висота кореня (Б) і відносна висота пагона (В) фітотесту Linum usitatissimum L. на нафтозабруднених ґрунтах: 1 – свіжозабруднений нафтою ґрунт; 2 – нафтозабруднений ґрунт, рекультивований рослинами V. faba 1,5 місяці; 3 – нафтозабруднений ґрунт, рекультивований рослинами V. faba 3 місяці

Проте, слід зазначити, що через певні морфологічні особливості бобу, вирощування *V. faba* на великих нафтозабруднених територіях, потребуватиме додаткових агротехнічних заходів і, відповідно, приведе до ускладнення та здорожчання фітотехнології. Зокрема, через щільну поверхню насіневої шкірки, біб потребує тривалого часу проростання і достатнього зволоження, що не завжди можливо в умовах нафтового забруднення ґрунтів при не сприятливих погодніх умовах. Це може стати суттєвою проблемою і привести навіть до загибелі посівів, ще на стадії проростання рослин. Цього можна запобігти, якщо включити до ремедіаційної системи поряд з бобом іншу рослину, відносно толерантну до нафто-

Таблиця 1

Вплив рослин *V. faba* на біодеградацію нафти у ґрунті. Модельні досліди з штучно забрудненими нафтою ґрунтами

Початкове забруднення ґрунту нафтою, %	Залишкове забруднення ґрунту нафтою, %	Очищення ґрунту, %
1,00	0	100,00
2,00	0,18	92,00
5,00	1,50	70,00
10,00	3,83	61,70

вого забруднення, з вищою швидкістю проростання насіння та пагона. Цим критеріям відповідає овес посівний, який згідно з попередніми дослідженнями [10] є також толерантним до нафтового забруднення, хоча і в меншій мірі, ніж біб. При сумісній посадці насіння бобу та вівса, швидке проростання останнього забезпечить зелений покрив, що запобігатиме перегріванню поверхні ґрунту і створить сприятливі умови для проростання бобу, а в подальшому забезпечить вертикальну підтримку його стебла. В той же час, дорослі особини бобу постачатимуть рослини вівса додатковим джерелом органічного азоту за рахунок симбіозу бобових з азотофіксуючими бактеріями. Велика площа кореневої системи вівса сприятиме розпушуванню грунту та кращому постачанню киснем поверхневого шару ґрунту.

Тобто композиційні штучні насадження двох рослин: бобу та вівса будуть толерантними до нафтового забруднення, матимуть високу механічну еластичність посівів, потужну різнопланову систему коренів, здатність забезпечити себе азотом та рости у погано аерованому ґрунті. Додавання в таку систему комплексу добрив та лушпиння соняшника сприятиме стійкості та продуктивності такої симбіотичної ремедіаційної системи. Це було підтверджено експериментально.

Таблиця 2

Вплив рослин *V. faba* на біодеградацію нафти у ґрунті в польових умовах

Початкове забруднення ґрунту нафтою, %	Залишкове забруднення ґрунту нафтою, %	Очищення ґрунту, %
5,00	1,15	77,00
10,00	3,40	66,00

Модельні дослідження проводили в ящиках об'ємом 10 л з нафтозабрудненим ґрунтом (5% нафти на 1кг ґрунту). Через 30 днів після внесення нафти у ґрунт (необхідний термін для вивітрювання летких токсичних нафтопродуктів) висаджували попередньо замочене у воді (15 год.) насіння бобу, вівса посівного, їх суміші (1:20–50). Контролем слугували рослини вирощені у ґрунті без нафти. Період деградації нафти у ґрунті тривав 120 днів, з них 90 днів – період очищення ґрунту за участю рослин. Після зазначеного терміну визначали вміст нафтопродуктів у ґрунтах.

З отриманих результатів видно (рис. 2, 3), що при зростанні на нафтозабрудненому ґрунті, рослини *A.satíva* краще проростали і нагромаджували біомасу у композиційних насадженнях з *V.faba* (варіант 3), аніж без нього (варіант 2). Застосування добрива ($CO(NH_2)_2$ + K_2HPO_4) (варіант 4) і лушпиня соняшника (варіант 5) незначно стимулювало ростові процеси досліджуваних фіторемедіантів.

Така ж тенденція спостерігалась при дослідженні вмісту фотосинтетичних пігментів у листках *A.satíva* (рис. 4). Вміст хлорофілу *a*; хлорофілу *b* та суми хлорофілів *a+b* був вищим у варіанті за сумісного проростання *A.satíva* з *V.faba* (рис. 4, варіант 3), ніж у варіанті монопосівів *A. satíva* (рис. 4, варіант 2).

Отже композиційні насадження *V. faba + A.satíva* є стійкими до нафтового забруднення і придатні до використання в фіторемедіаційних технологіях відновлення ґрунтів.

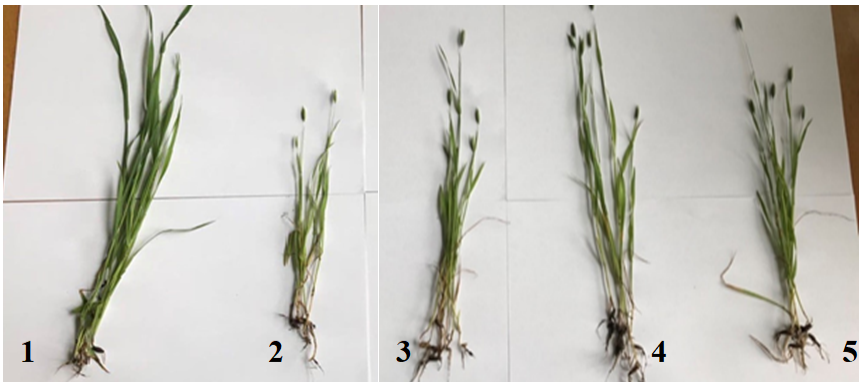


Рис. 2. Рослини A. satíva за сумісного зростанні з V. faba у нафтозабрудненому ґрунті: 1 – контроль (ґрунт без нафти) + A. satíva; 2 – нафтозабруднений ґрунт (5%) + A. satíva; 3 – нафтозабруднений ґрунт (5%) + A. satíva+ V.faba; 4 – нафтозабруднений ґрунт (5%) + A. satíva+ V. faba +добрива; 5 – нафтозабруднений ґрунт (5%) + A. satíva+ V. faba +добрива + лушпиня соняшника

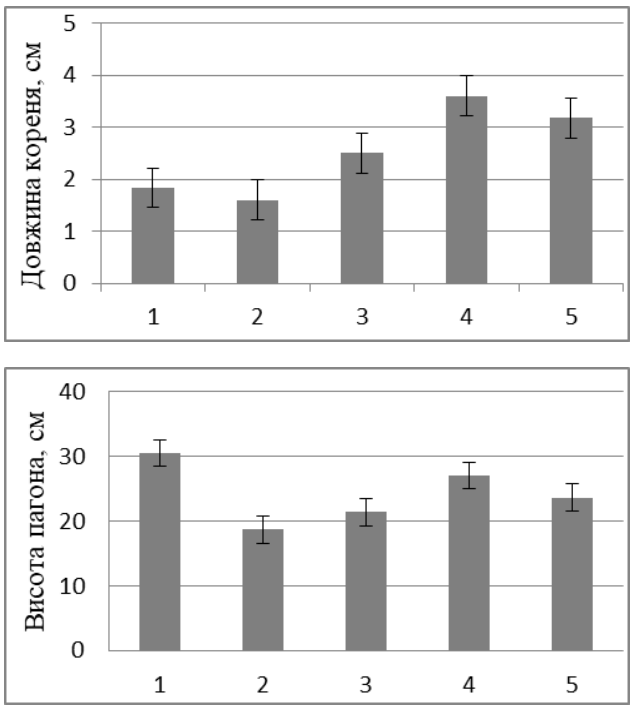


Рис. 3. Ростові показники A. satíva за сумісного зростання з V. faba у нафтозабрудненому ґрунті: 1 – контроль (ґрунт без нафти) + A. satíva; 2 – нафтозабруднений ґрунт (5%) + A. satíva; 3 – нафтозабруднений ґрунт (5%) + A. satíva + V. faba; 4 – нафтозабруднений ґрунт (5%) + A. satíva + V. faba + добрива; 5 – нафтозабруднений ґрунт (5%) + A.satíva + V.faba + добрива + лушпиння соняшника

Спільне зростання *V. faba* з *A.satíva* підвищувало стійкість рослин *A. satíva* та *V. faba* на різних етапах розвитку і росту, що проявлялося у збільшенні довжини кореня на 67%, висоти пагона на 30%, а фотосинтетичних пігментів у листках на 16–25 % (рис. 2–4). Внесення мінеральних добрив і сорбенту (лушпиння соняшнику) мало впливало на ростові показники рослин, а також вміст хлорофілів (варіанти 4, 5) у порівнянні з результатами без цих добавок за сумісного зростання бобу та вівса (варіант 3). Тобто результати проведених досліджень свідчать, що за використання фіторемедіаційної композиції *V. faba + A. satíva* є можливим проведення ефективної рекультивації нафтозабруднених ґрунтів навіть без внесення мінеральних добрив та інших ремедіаційних агентів, що додатково здешевлює таку технологію.

Здійснене відновлення нафтозабруднених ґрунтів (5% нафти) в реальних польових умовах (м. Борислав) показало, що використання фіторемедіаційної композиції *V. Faba + A. satíva* (1:20–50) забезпечує високий 85% ступінь очищення ґрунтів від нафтового забруднення (табл. 3).

Використання запропонованої композиції у фіторемедіаційних технологіях не вимагає додаткового внесення добрив, забезпечує ріст і розвиток трав'я-

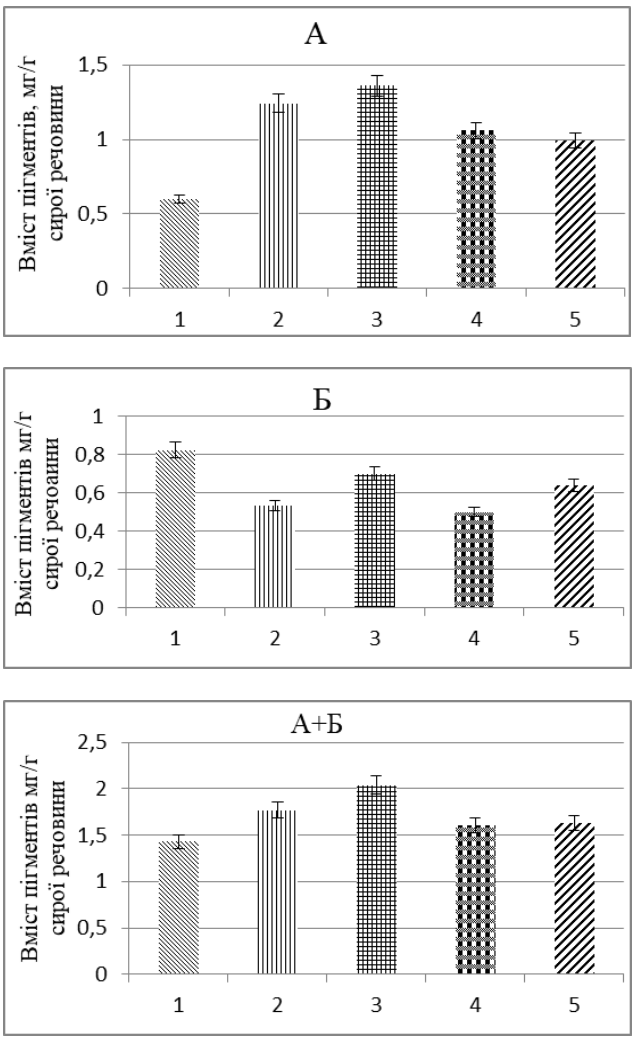


Рис. 4. Вміст фотосинтетичних пігментів у листках A. satíva за сумісного зростання з V. faba у нафтозабрудненому ґрунті: А – вміст хлорофілу a; Б – вміст хлорофілу b; А+Б – вміст хлорофілу a+b. 1 – контроль (ґрунт без нафти) + A. satíva; 2 – нафтозабруднений ґрунт (5%) + A. satíva; 3 – нафтозабруднений ґрунт (5%) + A. satíva + V. faba; 4 – нафтозабруднений ґрунт (5%) + A. satíva + V. faba + добрива; 5 – нафтозабруднений ґрунт (5%) + A. satíva + V. faba + добрива + лушпиння соняшника

Таблиця 3

Вплив рослин на біодеградацію нафти у ґрунті за початкового забруднення ґрунту 5% (природні умови)

Фіторемедіанти	Залишкове забруднення, %	Очищення ґрунту, %
V. faba	1,2	77,0
V. faba + A. satíva	0,8	85,0

ної рослинності всього за один вегетаційний період, сприяє відновленню вуглецево-азотного балансу ґрунту, забезпечує ефективне (85%) очищення земель від нафтового забруднення та повернення до сільськогогосподарського ужитку.

Головні висновки. Вперше розроблено фіторемедіаційну композицію, що включає біб кормовий + овес посівний (1:20–50) для відновлення нафтозабруднених територій насіневим способом, що забезпечує високий ступінь очищення ґрунтів. Використання запропонованої композиції підвищує ефективність фіторемедіації шляхом одночасного використання декількох стійких до нафтового забруднення рослин, котрі селективно очищують ґрунт від нафта на 85%, при початковому забрудненні 5%, знижують фітотоксичність, спрощують та здешевлюють процес за рахунок мінімізації затрат на підготовку ґрунту та можливість проведення рекультивації без внесення мінеральних добрив та інших агентів ремедіації.

Література

1. Adam G., Duncan H. The effect of diesel fuel on common vetch (Vicia sativa L.) plants. Environ Geochem Health. 2003. Vol. 25, Issue 1. P. 123–130.
2. Merkl N., Schultze-Kroft R., Infant C. Assessment Of Tropical Grasses And Legumes For Phytoremediation Of Petroleum-Contaminated Soils. Water, Air, and Soil Pollution. 2005. Vol. 165, Issue 1–4. P. 195–209.
3. Dzhura N., Romanyuk O, Oshchapovsky I. Using plants for recultivation of oil-polluted soils. J. Environmental protection and ecology. 2008. Vol. 9, Issue 1. P. 55–59.
4. Муратова, А. Ю., Бондаренкова А. Д., Панченко Л. В, Турковская О. В. Использование комплексной фиторемедиации для очистки почвы, загрязненной нефтешламом. Биотехнология. 2010. № 1. С. 77–84.
5. Шевчик Л. З., Романюк О. І. Аналіз біологічних способів відновлення нафтозабруднених ґрунтів. Scientific Journal «ScienceRise: Biological Science». 2017. № 1(4). С. 31–39.
6. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і грунтів / Грицаєнко З. М., Грицаєнко А. О., Карпенко В. П. К. : ЗАТ Нічлава, 2003. 320 с.
7. Романюк О. І., Шевчик Л. З., Ощаповський І. В., Жак Т. В. Методика екологічного оцінювання нафтозабруднених ґрунтів. Вісник Дніпропетровського університету. Біологія, екологія. 2016. № 24(2). С. 264–269.
8. Мусієнко М.М., Паршикова Т.В., Славний П.С. Спектрофотометричні методи в практиці фізіології, біохімії та екології рослин. К. : Фітосоціоцентр, 2001. 200 с.
9. Frick C. M., Farrell R. E, Germida J. J. Assessment of phytoremediation as an in situ technique for cleaning oil-contaminated sites. PTAC Petroleum Technology Alliance, Canada, Calgary, 1999. 88 p.
10. Шевчик-Костюк Л. З., Романюк О. І., Баня А. Р. Підвищення ефективності фіторемедіаційних технологій нафтозабруднених ґрунтів за участі природних сорбентів-меліорантів. Scientific Horizons, 2020, Vol. 23, No. 10, 7–16.

УДК 504.06
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.16

ЯКІСТЬ АВТОМОБІЛЬНИХ БЕНЗИНІВ ТА ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛЬНОГО НА РИНКУ УКРАЇНИ

Сібілєва О.В.
Державна екологічна інспекція України
пров. Новопечерський 3, корп. 2, Київ
sibileva_elena@ukr.net

У статті наведено фізико-хімічні показники автомобільних бензинів та дизельного пального, їх відповідність та невідповідність вимогам технічного регламенту. Відбір зразків моторних палив забезпечено органом виконавчої влади уперше у межах покладених повноважень під час заходів державного ринкового нагляду відповідно до вимог законодавчих актів та державних національних стандартів України. Розглянуті експлуатаційні властивості моторних палив та небезпечні речовини, що погіршують якість і забруднюють автомобільні бензини та дизельне палива, а також вплив неякісного палива на технічні характеристики двигуна та систем транспортних засобів. У статті зазначені законодавчі акти, державні стандарти України, які встановлюють вимоги до автомобільних бензинів та дизельного палива, відповідний контроль органами держаного ринкового нагляду та відповідальність суб'єктів господарювання щодо дотримання таких вимог. Зокрема, у статті наведені вимоги до якості автомобільних бензинів та дизельного палива, актуальні напрями уряду, Директиви Європейського союзу, які направлені на забезпечення задоволеності потреб споживачів, екологічність та безпечність моторних палив на ринку України. Отримані результати експертиз (випробувань) потребують подальших наукових досліджень, розробок та підходів у зазначеному напрямі, зокрема актуальним питанням сьогодення є розроблення вимог до застосування та визначення якості присадок (добавок), барвників, речовин-маркерів, які можуть додаватися до автомобільних бензинів і дизельного палива, затвердження вимог щодо допущення їх до застосування, та відповідний контроль на виробництві з суб'єктами господарювання. *Ключові слова:* фізико–хімічні показники, автомобільні бензини, дизельне паливо, якість моторних палив, технічний регламент, відбір зразків нехарчової продукції, державний ринковий нагляд, державні національні стандарти.

Quality of automobile gasoline and diesel fuel on the ukrainian market. Sibilyeva O.
The article presents the physico-chemical parameters of automobile gasoline and diesel fuel, their compliance and non-compliance with the requirements of the technical regulations. The selection of samples of motor fuels was provided by the executive authority for the first time within the limits of the assigned powers during state market surveillance measures in accordance with the requirements of legislative acts and state national standards of Ukraine. The operational properties of motor fuels and dangerous substances that impair the quality and pollute automobile gasoline and diesel fuel, as well as the impact of low-quality fuel on the technical characteristics of the engine and vehicle systems, are considered. The article specifies legislative acts, state standards of Ukraine, which establish requirements for automobile gasoline and diesel fuel, appropriate control by state market surveillance bodies, and the responsibility of business entities to comply with such requirements. In particular, the article provides requirements for the quality of automotive gasoline and diesel fuel, current government directions, European Union Directives aimed at ensuring satisfaction of consumer needs, environmental friendliness and safety of motor fuels on the Ukrainian market. The obtained results of examinations (tests) require further scientific research, development and approaches in the indicated direction, in particular, the development of requirements for the use and determination of the quality of additives (additives), dyes, marker substances that can be added to automobile gasoline and diesel fuel is an urgent issue today , approval of requirements for their application, and appropriate control at production with business entities. *Key words:* physico-chemical indicators, motor gasoline, diesel fuel, motor fuel quality, technical regulations, sampling of non-food products, state market supervision, state national standards.

Постановка проблеми. Значний попит моторних палив на ринку України призводить до збільшення його обсягу як за рахунок імпорту паливної продукції, так і за рахунок вітчизняного виробництва країни, у тому числі збільшення обсягу автомобільних бензинів та дизельного пального відмічається серед розповсюджувачів паливної продукції власного берду, застосовуючи до палива добавки та присадки різного походження.

За даними Державної статистичної служби України імпорт та виробництво сирої нафти упродовж 2019 року в Україні становив – 1341 тис. т та 2478 тис. т відповідно, імпорт нафтопродуктів – 10 383 тис.т.; імпорт та виробництво сирої нафти упродовж 2020 року – 1815 тис. т та 2476 тис. т. відповідно, імпорт нафтопродуктів – 10 204 тис. т. Статистичними даними також визначено, що упродовж 2020 року в Україні використано 1 767 680 т бензину та 5 173 851 т дизельного палива [1].

Низкою вчених встановлено, що експлуатаційні властивості палив обумовлюються хімічним складом складових речовин, структурою та енергетичним станом їх молекул. Надійність, економічність і екологічність техніки визначається якістю палив та інших експлуатаційних матеріалів, зокрема кількісне відтворення властивостей моторних палив характеризується їх якісними показниками [2].

Зазначено, що показник якості це кількісна характеристика однієї або кількох властивостей продукції, що складають її якість і розглядаються стосовно певних умов її створення, експлуатації та використання

(споживання). Показники якості продукції є функціями її параметрів. А також якість моторних палив має великий вплив на надійність експлуатації машин і механізмів і є мірою відповідності властивостей палив технічним характеристикам транспортного засобу та умовам його експлуатації.

Моторні палива мають відповідати таким експлуатаційним властивостям як: випаровуваність, прокачуваність, займистість, горючість, схильність до утворення відкладень, стабільність (фізична, хімічна (термоокиснювальна), біологічна), мати сумісність з конструкційними матеріалами, протизношувальні, захисні, охолоджуючі та інші властивості, зокрема володіти найбільшою теплотою згоряння, сумішоутворення, забезпечення детонаційної стійкості та стійкості до відкладень, не містити механічних домішок і води, не проявляти схильність до корозійного впливу, не втрачати якість у широкому інтервалі температур, бути стабільними при транспортуванні та зберіганні, а також не забруднювати довкілля відпрацьованими газами [2–4].

Науковцями зазначається, що експлуатаційні властивості моторних палив визначають їх екологічність. Так, випаровування, спалахування, горіння палив під час зберігання, транспортування, перекачування та змішування, призводить до утворення вибухонебезпечних концентрацій палив у суміші з повітрям, і як наслідок до пожежонебезпечності, вибухонебезпечності, токсичності парів палива, а згорання палива у камерах згорання двигунів – до утворення токсичних речовин у відпрацьованих продуктах згорання, токсичності відпрацьованих (відведених) газів [2–3].

Основними токсичними компонентами відпрацьованих газів є оксиди карбону, оксиди нітрогену, продукти неповного згорання вуглеводнів, диоксид сульфуру, сполуки плюмбуму (при етилованому бензині), поліциклічні ароматичні вуглеводні, зокрема, бенз(а)пірен. Питомі викиди токсичних речовин залежать від потужності і типу двигуна, режиму його роботи, технічного стану автомобіля, швидкості руху, стану і нахилу дороги, якості палива [5–7].

Ученими зазначається, що сірка є горючим елементом який бере участь у горінні, зважаючи його уміст у складі палива у вільному стані або у вигляді органічних і сульфідних сполук. Разом з тим, сірка є небезпечною складовою палива, яка під час горіння утворює сполуки SO_2, SO_3, що призводять до газової корозії, а з'єднуючись з вологою, перетворюється на сірчисту та сірчану кислоти, що спричиняє корозію металів. Вміст сірки у твердому паливі коливається від 0,01 до 8%, а у нафтах від 0,1 до 4% відповідно [4–6, 11].

Забрудненням моторних палив також вважаються тверді, рідкі та газоподібні домішки, що погіршують нормовані показники якості агрегатів паливних систем та двигунів транспортних засобів. Серед яких найбільш небезпечними речовинами, що забруднюють паливо є: метали (сталь, алюміній, мідь, титан, хром, кобальт, молібден), оксиди металів (алюмінію, заліза, хрому) та неметали (сірка, діоксид сірки, вода) [8–11].

Враховуючи зазначене, контроль якості нафтопродуктів є актуальним на ринку України. Якість моторних палив має забезпечувати задоволеність потреб споживачів, мати екологічність та безпечність.

Актуальність дослідження. На шляху екологічної безпеки, забезпечення здоров'я населення, зокрема розвитку комунікативної споживчої політики, урядом України приймаються законодавчі акти та впроваджуються програми, які регулюють відповідний економічний напрям.

Так, Технічний регламент щодо автомобільних бензинів, дизельного, суднових та котельних палив, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 01.08.2013 № 927 (далі – Технічний регламент) встановлює вимоги до автомобільних бензинів, дизельного, суднових та котельних палив, що вводяться в обіг та реалізуються на території України, з метою захисту життя та здоров'я людини, тварин, рослин, національної безпеки, охорони навколишнього середовища та природних ресурсів [12].

Технічний регламент розроблений на основі Директиви 98/70/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 13.10.1998 про якість бензину та дизельного палива та внесення змін і доповнень до Директиви Ради 93/12/ЄС, Директиви 2009/30/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 23.04.2009 про внесення змін до Директиви 98/70/ЄС, що стосується технічних вимог, пов'язаних з бензином, дизельним пальним та газойлем, а також про введення механізму, який дозволяє скорочувати викиди парникових газів, та про внесення змін до Директиви Ради 1999/32/ЄС, що стосується технічних вимог, пов'язаних з паливом, що використовується для суден внутрішньої навігації, та про скасування Директиви 93/12/ЄС та Директиви 2016/802/ЄС Європейського парламенту та Ради від 11.05.2016 про зменшення вмісту сірки у деяких видах рідкого палива.

Зокрема, Програмою діяльності Кабінету Міністрів України, затвердженою постановою Кабінету Міністрів України від 12.06.2020 № 471, Планом пріоритетних дій Уряду на 2021 рік, затвердженого розпорядженням Кабінету Міністрів України від 24.03.2021 № 276–р визначені завдання центральним органам виконавчої влади, серед яких превагою є продовольча безпека країни, прийняття та оновлення технічних регламентів, що відповідають законодавству ЄС, впровадження дієвої системи швидкого оповіщення про небезпечні нехарчові продукти, підвищення рівня задоволення потреб споживачів у якісних нафтопродуктах [13–14].

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Здійснені дослідження забезпечують можливість подальшого вивчення цієї проблеми із зосередженням учених на актуальні напрями у сфері якості

моторних палив, вимог до безпечності та застосування добавок (присадок), зокрема проведення науково-дослідної роботи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження якості моторних палив, їх властивості та вплив на навколишнє середовище відображено у працях таких вчених: С.В. Бойченко, Л.М. Черняк, В.Ф. Новикова [2, с. 324; 3, с. 324], В.І. Гайванович, П.І. Топільницький, В.М. Палюх [4, с. 157], Галла-Бобик С.В., Сухарев С.М., Петрус А.В. [5, с. 114–115], Бурлака В.Г. [6], Караулов А.К., Худолий Н.Н. [7, с. 204; 8, с. 596], Шпак О.І. [9, с. 379], Баннов П.Г. [10, с. 792], Білинський Й.Й., Сахно О.М. [11, 100–106 с.].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Метою статті є визначення фізико–хімічних показників якості автомобільних бензинів та дизельного пального, що введені в обіг на території Україні.

Новизна. Відповідно до встановлених вимог в Україні уперше проведено відбір зразків продукції на об'єктах підвищеної небезпеки та експертизу (випробування) автомобільних бензинів та дизельного палива у межах заходів державного ринкового нагляду.

Методологічне або загальнонаукове значення. Результати досліджень отримані за допомогою експертизи (випробувань) зразків моторних палив проведених у акредитованій лабораторії. Аналізування фізико–хімічних показників за умов їх відповідності та невідповідності встановленим вимогами дає можливість визначити наукові погляди та подальші наукові напрями досліджень.

Виклад основного матеріалу. Відповідно до Переліку видів продукції, щодо яких органи державного ринкового нагляду здійснюють державний ринковий нагляд, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 28.12.2016 № 1069, Державна екологічна інспекція України є органом державного ринкового нагляду за дотриманням вимог Технічного регламенту.

Упродовж III та IV кварталу 2021 року Державною екологічною інспекцією України у межах покладених повноважень, відповідно до вимог ДСТУ 4488:2005 «Нафта і нафтопродукти. Методи відбирання проб», ДСТУ 4454:2005 «Нафта і нафтопродукти. Маркування, пакування, транспортування та зберігання», Порядку відбору зразків продукції для визначення її якісних показників та форми акта відбору зразків продукції, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 30.10.2007 № 1280, Інструкції з контролювання якості нафти і нафтопродуктів на підприємствах і організаціях України, затвердженої наказом Державного комітету України з питань технічного регулювання та споживчої політики Міністерства палива та енергетики України від 04.06.2007 № 271/121 [15–18], організовано та проведено перші відбори автомобільних бензинів та дизельного пального на дотримання вимог Технічного регламенту.

Відбір зразків автомобільних бензинів та дизельного пального проводились у розповсюджувачів пального на автозаправних станціях України час заходів державного ринкового нагляду з перевірки характеристик продукції. Так, у межах 544 відповідних заходів відібрано 307 зразків продукції виду: автомобільні бензини – 196 зразка, дизельне паливо – 111 зразка, з забезпеченням проведенням їх подальшої експертизи (випробування).

Експертиза (випробування) відібраних зразків продукції здійснювалися у акредитованій лабораторії за результатами проведених тендерних закупівель в установленому порядку, у тому числі зважаючи на спроможність лабораторії забезпечити випробування фізико–хімічних показників зважаючи на вимоги національних стандартів, які затверджені наказом Міністерства економічного розвитку і торгівлі України від 01.10.2014 № 1179 «Про затвердження Переліку національних стандартів, добровільне застосування яких може сприйматися як доказ відповідності палив вимогам Технічного регламенту щодо вимог до автомобільних бензинів, дизельного, суднових та котельних палив» [19].

За результатами експертизи (випробувань) встановлено, що продукція виду дизельне пальне у межах вимог Технічного регламенту за якісним умістом 89 зразків має такі фізико–хімічні показники як: вміст сірки – 6,74±1,5 мг/кг, температура спалаху у закритому тиглі – 61,1±7,02 °С, фракційний склад – 356,8±2,68 °С, масова частка поліциклічних ароматичних вуглеводнів – 2,6 ±0,3%, цетанове число дизельне пальне літне – 52,01±1,01 од, цетанове число дизельне пальне зимове –51,6±0,42 од, гранична температура фільтрованості – 8,4±0,9 °С, змащувальна здатність (діаметр плями зносу при температурі 60 °С) – 386,6±2,03 мікрм, об'ємна частка метилових/етилових естерів жирних кислот – < 0,05% (табл. 1).

У зразках автомобільних бензинів значення у межах встановлених вимог мали такі фізико-хімічні показники: вміст сірки – 6,75±0,72 мг/кг, об'ємна частка бензолу – 0,76±0,23%, масова частка кисню – 1,9±1,1%, об'ємна частка ароматичних вуглеводнів – 30,7±8,63%, олефінових вуглеводнів – 7,5±1,83%, детонаційна стійкість автомобільних бензинів виду А–92 за дослідним методом – 92,1±0,07 од, за моторним методом – 83,04±0,1 од, детонаційна стійкість автомобільних бензинів виду А–95 за дослідним методом – 95,1±0,1 од, за моторним методом – 85,2±0,2 од, тиск насиченої пари у літній період становив – 61,33±9 1кПа, у зимній період – 78,7±0,2 кПа, об'ємна частка біоетанолу для бензинів Е0 – 0,14±0,1%, для бензинів Е5 – 2,4±0,3%, об'ємна частка органічних кисневмісних сполук: метанолу – 1,78±1,5%, прості ефіри – 5,08±2,7% (табл. 2).

Таблиця 1

Фізико-хімічні показники дизельного палива за екологічним класом Євро 5 (ДП), що відповідали вимогам Технічного регламенту

№ з/п	Найменування показника	Одиниці виміру	Результати випробувань (n=89)	Вимога за Технічним регламентом
1	Вміст сірки	мг/кг	6,74±1,5	не більше 10
2	Температура спалаху у закритому тиглі	градусів	61,1±7,02	не нижче 55
3	Фракційний склад	градусів	356,8±2,68	не вище 360
4	Масова частка поліциклічних ароматичних вуглеводнів	відсотків	2,6 ±0,3	не більше 8
5	Цетанове число для ДП літнього	одиниць	52,01±1,01	не менше 51
	Цетанове число для ДП зимового	одиниць	51,6±0,42	не менше 49
6	Гранична температура фільтрованості	градусів	– 8,4±0,9	не вище 5 для ДП літнього
7	Змащувальна здатність (діаметр плями зносу при температурі 60 °С)	мікрометрів	386,6±2,03	не більше 460
8	Об'ємна частка метилових/етилових естерів жирних кислот	відсотків	< 0,05	0

* Відхилення у вимірюваннях відповідали вимогам нормативних документів, згідно з яким виконувались випробування.

Таблиця 2

Фізико-хімічні показники автомобільних бензинів (АБ) екологічного класу Євро 5, що відповідали вимогам Технічного регламенту

№ з/п	Найменування показника	одиниці виміру	Результати випробувань (n=148)	Вимога за Технічним регламентом
1	Вміст сірки	мг/кг	6,75±0,72	не більше 10
2	Об'ємна частка бензолу	відсотків	0,76±0,23	не більше 1
3	Концентрація свинцю	мг/м^3	відсутність	не більше 5
4	Масова частка кисню	відсотків	1,9±1,1	не більше 2.7
5	Об'ємна частка вуглеводнів:			
	– ароматичних	відсотків	30,7±8,63	не більше 35
	– олефінових	відсотків	7,5±1,83	не більше 18
6	Детонаційна стійкість (А–92):			
	октанове число за дослідним методом	одиниць	92,1±0,07	не менше 92
	октанове число за моторним методом	одиниць	83,04±0,1	не менше 82,5
	Детонаційна стійкість (А–95):			
	октанове число за дослідним методом	одиниць	95,1±0,1	не менше 95
	октанове число за моторним методом	одиниць	85,2±0,2	не менше 85
7	Тиск насиченої пари			
	у літній період	кілопаскалів	61,33±9,1	у межах 45–80
	у зимній період	кілопаскалів	78,7±0,2	у межах 60–100
8	Об'ємна частка біоетанолу			
	для бензинів Е0	відсотків	0,14±0,1	0
	для бензинів Е5	відсотків	2,4±0,3	Не більше 5
9	Об'ємна частка органічних кисневмісних сполук			
	метанол	відсотків	1,78±1,5	до 3
	прості ефіри	відсотків	5,08±2,7	до 15

*Відхилення у вимірюваннях відповідали вимогам нормативних документів, згідно з яким виконувались випробування.

Невідповідність відібраних зразків пального Технічному регламенту виявлено у 48 зразках (24,9%) автомобільних бензинів та у 22 зразках (19,8%) дизельного пального. Співвідношення невідповідності до відповідності пального вимогам Технічного регламенту становило у зразках автомобільний бензин 1:4, у дизельному пальному 1:5.

Невідповідність вимогам Технічного регламенту у продукції виду дизельне пальне встановлено за такими фізико–хімічними показниками як: вміст сірки – 31,5±6,3 мг/кг, температура спалаху у закритому тиглі – 42,43±9,85 °С, у продукції виду автомобільний бензини: вміст сірки – 49,4±62,4 мг/кг, об'ємна частка бензолу – 2,7±3,43%, масова частка

кисню – 6,71±3,1%, детонаційна стійкість А–92 за дослідним методом – 90,8±0,43 од, за моторним методом – 80,6±0,71 од, детонаційна стійкість А–95 за дослідним методом – 95,1±0,1 од, за моторним методом – 83,2±0,7 од, об'ємна частка біоетанолу для бензинів Е0 – 0,5±1,2% (табл. 3–4).

Таблиця 3

Фізико-хімічні показники дизельного палива за екологічним класом Євро 5 (ДП), що не відповідали вимогам Технічного регламенту

№ з/п	Найменування показника	Одиниці виміру	Результати випробувань (ДП літнє n=10, ДП зимове n =12)	Вимога за Технічним регламентом
1	Вміст сірки	мг/кг	31,5±6,3	не більше 10
2	Температура спалаху у закритому тиглі	градусів	42,43±9,85	не нижче 55
3	Фракційний склад	градусів	353±2,3	не вище 360
4	Масова частка поліциклічних ароматичних вуглеводнів	відсотків	2,7 ±0,7	не більше 8
5	Цетанове число для ДП літнього	одиниць	51,6±0,5	не менше 51
	Цетанове число для ДП зимового	одиниць	51,2±0,23	не менше 49
6	Гранична температура фільтрованості	градусів	– 8,4±0,9	не вище 5
7	Змащувальна здатність (діаметр плями зносу при температурі 60 °С)	мікрометрів	380,6±0,44	не більше 460
8	Об'ємна частка метилових/етилових естерів жирних кислот	відсотків	< 0,05	0

*Відхилення у вимірюваннях відповідали вимогам нормативних документів, згідно з яким виконувались випробування

Таблиця 4

Фізико-хімічні показники автомобільних бензинів (АБ) екологічного класу Євро 5, що не відповідали вимогам Технічного регламенту

№ з/п	Найменування показника	одиниці виміру	Результати випробувань (А 95 n=20, А–92 n=28)	Вимога за Технічним регламентом
1	Вміст сірки	мг/кг	49,4±62,4	не більше 10
2	Об'ємна частка бензолу	відсотків	2,7±3,43	не більше 1
3	Концентрація свинцю	мг/м^3	відсутність	не більше 5
4	Масова частка кисню	відсотків	6,71±3,1	не більше 2,7
5	Об'ємна частка вуглеводнів:			
	– ароматичних	відсотків	30,7±8,63	не більше 35
	– олефінових	відсотків	7,5±1,83	не більше 18
6	Детонаційна стійкість (А–92):			
	октанове число за дослідним методом	одиниць	90,8±0,43	не менше 92
	октанове число за моторним методом	одиниць	80,6±0,71	не менше 82,5
	Детонаційна стійкість (А–95):			
	октанове число за дослідним методом	одиниць	93,1±0,56	не менше 95
	октанове число за моторним методом	одиниць	83,2±0,7	не менше 85
7	Тиск насиченої пари			
	у літній період	кілопаскалів	62,33±0,5	у межах 45–80
	у зимній період	кілопаскалів	88,1±0,4	у межах 60–100
8	Об'ємна частка біоетанолу			
	для бензинів Е0	відсотків	0,5±1,2	0
	для бензинів Е5	відсотків	2,4±0,3	не більше 5
9	Об'ємна частка органічних кисневмісних сполук			
	метанол	відсотків	5,4±1,4	до 3
	прості ефіри	відсотків	16,3±9,2	до 15

*Відхилення у вимірюваннях відповідали вимогам нормативних документів, згідно з яким виконувались випробування

Зокрема, у продукції виду дизельне паливо уміст сірки перевищував встановлені вимоги у 3–3,5 рази, а температура спалаху у закритому тиглі меншою у 1,3 рази. У зразках продукції автомобільні бензини уміст сірки перевищував встановлені вимоги у 4–10 разів, об'ємна частка бензолу та масова частка кисню у 2–2,5 рази та у 2,5 рази відповідно.

Зменшення показника у 1,02–2 рази детонаційної стійкості за моторним та дослідним методом може свідчити у відібраних зразках автомобільних бензинів виду А–95 про фактичний обіг та розповсюдження бензину марки А–92, у автомобільних бензинів марки А–92 про фактичний обіг бензинів марки А–80.

Сполук свинцю, заліза, ароматичних амінів у відібраних зразках під час експертизи (випробувань) продукції не виявлено.

Кількість виявленої продукції, що не відповідала встановленим вимогам Технічного регламенту становило 244,4 т (320651,8 л) та відмічалось як у продукції виду: А–92–Євро5–Е5, А–95–Євро5–Е5, ДП–З–Євро5–В0, ДП–Л–Євро5–В0, так і у продукції бренду 95–Євро5–Е5 «Premium», 95–Євро5–Е5 «Shebel», ДП–З–Євро5–В0 «Shell V–Power», ДП–З–Євро5–В0 «Premium», ДП–З–Евро5–В0 «Energy», у імпортованому паливі та моторному паливі вітчизняного виробництва.

Із результатами відборів автомобільних бензинів та дизельного пального у розрізі місць відборів та суб'єктів господарювання також можна ознайомитися за посиланням: https://www.dei.gov.ua/posts/2099.

Головні висновки. За результатами експертизи (випробувань) невідповідність вимогам Технічному регламенту у продукції виду дизельне пальне відмічалось за умістом сірки та температурою спалаху у закритому тиглі, у продукції виду автомобільні бензини – за умістом сірки, об'ємною часткою бензолу, масовою часткою кисню, детонаційною стійкістю як за дослідним, так і моторним методом, об'ємною часткою біоетанолу (для бензинів Е0). Співвідношення невідповідності до відповідності пального вимогам Технічного регламенту становило у зразках автомобільний бензин 1:4, дизельне паливо 1:5.

Зважаючи на відсутність встановлених вимог до присадок (добавок), барвників, речовин-маркерів, у тому числі затверджених вимог щодо допущення їх до застосування, загроза їх впливу на експлуатаційні, екологічні, енергетичні показники палива та економічні показники двигунів транспортних засобів залишається актуальним та потребують наукових досліджень.

Контроль суб'єктами господарювання за якістю нафтопродуктів під час приймання, транспортування, зберігання, відпуску та обліку є невід'ємною складовою для забезпечення їх якості відповідно до вимог законодавчих актів, задоволеності потреб споживачів, збільшення попиту та подальшого розвитку нафто галузі, у тому числі на міжнародному рівні.

Перспективи використання результатів дослідження. Матеріали запропонованої статті можуть бути використані студентами, здобувачами, науковцями з відповідною навчальною та дослідницькою метою, органами виконавчої влади під час прийняття управлінських рішень.

Література

1. Паливно-енергетичні ресурси України: статистичний збірник Держстату України. URL: https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2021/zb/12/Zb_ per.pdf
2. Моторні палива: властивості та якість : підручник / Сергій Бойченко та ін. Київ: «Центр учбової літератури», 2017. 324 с.
3. Контроль якості паливно-мастильних матеріалів : навч. посіб. / Бойченко С.В., Черняк Л. М., Новикова В. Ф. К. : НАУ, 2012. 316 с.
4. Гайванович В. І., Топільницький П. І., Палюх В. М. Хіммотологія бензинів. Л., Львівська політехніка, 2000. 157 с.
5. Визначення впливу якості бензинів на забруднення атмосферного повітря / Галла-Бобик С.В. та ін. *Вісник УжНУ*. 2004. Випуск 12. С. 114–115
6. Бурлака В.Г. Інвестиційні проблеми нафтопереробки України. К., 1999. 175 с. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM= S&I2 1DBN=EC&P21DBN=EC&S21FMT=JwU_B&S21ALL=%28%3C.%3EU%3D%D0%A39%284%D0%A3%D0%9A%D0%A0%29305.652.52$%3C.%3E%29&Z21ID=&S21SRW=dz&S21SRD=&S21STN=1&S21REF=10&S21CNR=20
7. Караулов А.К., Худолий Н.Н. Автомобильные топлива. Бензины и дизельные. Ассортимент и применение : справочник. К. : «*Журнал радуга*», 1999. 204 с.
8. Караулов А.К., Худолий Н.Н. Автомобильній топлива. К., 596 с.
9. Шпак О. І. Нафта і нафтопродукти. К. : Ясон, 2000. 379 с.
10. Баннов П. Г. Основы анализа и стандартные методы контроля качества нефтепродуктов. М. : КИНЕФ, 2005. 792 с.
11. Білинський Й.Й., Сахно О.М. Аналіз сучасних методів визначення сірки в вуглеводневих паливах. Радіоелектроніка та радіоелектроне апаратобудування. *Вісник Вінницького політехнічного інституту* 2018. № 3. С. 100–106. URL: http:// www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=vvpi_2018_3_16
12. Про затвердження Технічного регламенту щодо автомобільних бензинів, дизельного, суднових та котельних палив: постанова Кабінету Міністрів України від 01.08.2013 № 927. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/927–2013–%D0%BF#Text
13. Про затвердження Програми діяльності Кабінету Міністрів України: постанова Кабінету Міністрів України від 12.06.2020 № 471. URL: https://zakon.rada. gov.ua/laws/show/471–2020–%D0%BF#Text

14. Про затвердження плану пріоритетних дій Уряду на 2021 рік: розпорядження Кабінету Міністрів України від 24.03.2021 № 276–р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/276–2021–%D1%80#Text
15. Про затвердження Порядку відбору зразків продукції для визначення її якісних показників та форми акта відбору зразків продукції: постанова Кабінету Міністрів України від 30.10.2007 № 1280. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1280–2007–%D0%BF#Text
16. ДСТУ 4488:2005. Нафта і нафтопродукти. Методи відбирання проб: [Чинний від 01.10.2006]. К. : Управління Держспоживстандарту, 2006. 34 с.
17. ДСТУ 4454:2005. Нафта і нафтопродукти. Маркування, пакування, транспортування та зберігання: [Чинний від 01.07.2006]. К. : Управління Держспоживстандарту, 2005. 36 с.
18. Про затвердження Переліку національних стандартів, добровільне застосування яких може сприйматися як доказ відповідності палив вимогам Технічного регламенту щодо вимог до автомобільних бензинів, дизельного, суднових та котельних палив: наказ Міністерства економічного розвитку і торгівлі України від 01.10.2014 № 1179. URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show /v1179731–14#Text
19. Про затвердження Інструкції з контролювання якості нафти і нафтопродуктів на підприємствах і організаціях України: Наказ Державного комітету України з питань технічного регулювання та споживчої політики Міністерства палива та енергетики України від 04.06.2007 № 271/121. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0762-07#Text

ЕКОЛОГІЯ ТА ЕКОНОМІКА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

УДК 502:581.1:631.8:635.6
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.17

ВПЛИВ РЕКУЛЬТИВАНТУ КОМПОЗИЦІЙНОГО TREVITAN™ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ТА ЯКІСНИЙ СКЛАД ПЛОДІВ ПОМІДОРА ЇСТІВНОГО (*LYCOPERSICON ESCULENTUM* MILL.)

Дзендзель А.Ю., Пида С.В.
Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. Максима Кривоноса, 2, 46027, м. Тернопіль
andrijdzendzel@gmail.com, spyda@ukr.net

Помідор їстівний є однією з найбільш поширених овочевих культур в Україні та світі. Підвищення продуктивності овочевих культур та поліпшення якості їх плодів із зниженням хімічного навантаження на агроекосистеми є актуальною сучасною проблемою.

У статті приведено результати дослідження ефективності застосування рекультиванту композиційного Trevitan™ за показниками продуктивності, структури урожаю та якості плодів помідора їстівного гібриду першого покоління (F1) італійського походження Телент. Польові досліди з помідором їстівним закладали на лучно-чорноземних середньосуглинкових на лесоподібних суглинках ґрунтах фермерського господарства у Тернопільській області (Західний Лісостеп України) в 2021 р. Встановлено, що застосування рекультиванту композиційного Trevitan™ для осінньої обробки грунту перед оранкою, обробки посівного матеріалу та надземної маси рослин під час вегетації істотно впливає на продуктивність та якість плодів помідора. За використання екологічно безпечного препарату органічного походження продуктивність культури підвищилась на 28,5% (контроль – 67,66 т/га), на 36,1% більше виявилось плодів на одній рослині та на 45,0% зросла їх маса порівняно з контролем.

Застосування рекультиванту композиційного Trevitan™ сприяло підвищенню масової частки сухих та сухих розчинних речовин у плодах (на 2,5 та 0,8%), накопиченню вітаміну С (на 20%,), каротиноїдів (на 41,7%), фловоноїдів (на 18,2%), дисахаридів (на 57,3%) та загального вмісту вуглеводів (на 8,8%). Кислотність плодів дослідних рослин знизилась у 2 рази.

Отримані результати досліджень свідчать про доцільність використання рекультиванту композиційного Trevitan™ при вирощуванні помідора їстівного як засобу, що сприятиме виробництву органічної продукції хорошої якості та зниженню забруднення природного навколишнього середовища. *Ключові слова:* помідор їстівний (*Lycopersicon esculentum* Mill.), рекультивант композиційний Trevitan™, продуктивність, вітамін С, каротиноїди, фловоноїди, вуглеводи.

Influence of Trevitan™ composite recultivator on productivity and qualitative composition of edible tomato fruits (Lycopersicon esculentum Mill). Dzendzel A., Pyda S.

Edible tomato is one of the most common vegetable crops in Ukraine and the world. Raising the productivity of vegetable crops and improving the quality of their fruits while reducing the chemical load on agroecosystems is an urgent modern problem.

The article presents the results of a study of the effectiveness of the application of Trevitan™ composite recultivator in terms of productivity, yield structure and fruit quality of tomato edible hybrid of the first generation (F1) of Italian origin Telent. Field experiments with edible tomatoes were laid on meadow-chernozem medium loam soils and forest-like loam soils of a farm in Ternopil region (Western Forest-Steppe of Ukraine) in 2021. It has been found that the use of Trevitan™ composite recultivator for autumn tillage before plowing, seed treatment and aboveground mass of plants during the growing season significantly affects the productivity and quality of tomato fruits. With the use of ecologically safe preparation of organic origin, crop productivity increased by 28,5% (control – 67,66 t/ha), 36,1% more fruits were found on one plant and their weight increased by 4,.0% compared to the control.

The use of Trevitan™ composite recultivator contributed to an increase in the mass fraction of dry and dry soluble substances in fruits (by 2,5 and 0,8%), accumulation of vitamin C (by 20,0%), carotenoids (by 41,7%), flavonoids (by 18,2%) disaccharides (by 57,3%) and the total carbohydrate content (by 8,8%). The acidity of the fruits of the experimental plants decreased twice.

The obtained research results testify to the expediency of using Trevitan™ composite recultivator in the cultivation of edible tomatoes as a means that will promote the production of good quality organic products and reduce environmental pollution. *Key words:* edible tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.), Trevitan™ composite recultivator, productivity, vitamin C, carotenoids, flavonoids, carbohydrates.

Постановка проблеми. Підвищення продуктивності овочевих культур та поліпшення якості їх плодів із зниженням хімічного навантаження на ґрунт є актуальною сучасною проблемою. Використання інтенсивних технологій у сільському господарстві сприяє значному підвищенню врожайності культурних рослин, але негативно впливає на агроекосистеми. Альтернативним, порівняно з індустріальними методами ведення сільського господарства, є органічне виробництво. Важливими вимогами світових

стандартів до органічного землеробства є мінімальний обробіток ґрунту, відсутність у технологіях хімічних добрив, засобів захисту рослин, генетично-модифікованих організмів. Згідно з даними Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (ФАО), Міжнародної федерації органічного руху та Дослідного інституту органічного сільського господарства у світі площі земель під органічним сільським господарством безперервно зростають, особливо це стосується країн-членів ЄС [1–3].

На сьогоднішній день Україна також має значний потенціал для розвитку виробництва органічної продукції, яка стає все більш затребуваною для європейського та привабливою для національного споживачів [4]. За посівними площами вона входить до ТОП-10 світових виробників органічних зернових, олійних та овочевих культур, а також органічної картоплі. Зокрема, наша країна в рейтингу виробників овочевих культур є десятою [5].

Органічне землеробство може слугувати одним із засобів покращення економічного, соціального та екологічного стану в Україні, поліпшенню якості та безпечності харчування населення [6].

Актуальність дослідження. Проблема отримання екологічно безпечної продукції овочівництва є особливо актуальною, оскільки цінність овочів полягає у вживанні їх у свіжому та переробленому вигляді. Серед овочевих культур України та світу помідору їстівному належить провідне місце в забезпеченні населення якісною овочевою продукцією. Приблизно 75% плодів помідора, що вирощуються у світі використовуються для споживання в свіжому вигляді, а 25% – переробляються на томатну пасту, кетчупи, соуси, консервуються тощо [7].

У зв'язку із зміною клімату посівні площі культури зростають. За даними Державної служби статистики України у 2021 році зібрано урожай з 75,8 тис. га, при цьому обсяг виробництва плодів помідора у господарствах усіх категорій становив 2444,88 тис. т за середньої врожайності – 321,6 ц/га [8]. Варто зазначити, що цінність плодів помідора пов'язана з їх якісним складом. Зрілі плоди містять від 4,3 до 12% сухої речовини [7], значну кількість цукрів (2,5–4,2%) [9, 10] (2–6%) [7], органічних кислот (0,4–0,9%), мінеральних, ароматичних сполук, вітамінів, лікопіну (0,3%), клітковини (0,3–0,9%). Плоди помідорів у 100 г містять 15–45 мг аскорбінової кислоти (вітамін С), 0,5–2,2 мг провітаміну А (*β*-каротин), 0,04–0,16 мг вітаміну B_1 (тіамін), 0,05–0,06 мг вітаміну B_2 (рибофлавін), 0,04–0,05 мг вітаміну РР (нікотинова кислота), а також в невеликих кількостях вітаміни B_9 (фолієва кислота) і Н (біотин) [9, 10]. При цьому, біохімічний склад плодів змінюється залежно від особливостей сорту, гібрида і умов вирощування [7].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Експериментальні дослідження проведено відповідно до напрямків наукової діяльності кафедри ботаніки та зоології Тернопільського національного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка в рамках науково-дослідної теми «Фітоценози Західного Поділля в природних і антропогенно змінених умовах» (номер державної реєстрації 0121U108035).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для отримання високого урожаю овочевих культур із хорошою якістю їх плодів, створення найкращих умов для нормального росту і розвитку необхідно рослини забезпечити оптимальною кількістю елементів живлення. Внесення мінеральних і органічних добрив сприяє підвищенню продуктивності і поліпшенню якості сільськогосподарських культур [11]. Згідно даних літератури поліпшення умов живлення за рахунок внесення мінеральних добрив впливало на показники хімічного складу плодів помідора їстівного. Із збільшенням дози внесення в ґрунт основних елементів мінерального живлення від $N_{85}P_{60}K_{60}$ до $N_{230}P_{180}K_{270}$ вміст сухих речовин у плодах знизився на 0,49–0,53%, клітковини – збільшився на 0,12–0,13%, цукрів та аскорбінової кислоти – на 0,05–0,08% і 1,1–1,5 мг/100 г, зольність підвищилася на 0,05–0,07%, проте кількість нітратів підвищилась на 22,3–27,7 мг/кг [12], що негативно впливає на якість плодів.

Застосування органо-мінеральних добрив та гумінових препаратів є складовою частиною органічного землеробства [13, 14]. Низкою дослідів показано стимулювальний вплив гумінових речовин на процеси росту і розвитку рослин [15, 16]. Встановлено, що передпосівна обробка насіння та кореневе підживлення рослин помідора рідким комплексним нітрогуміновим добривом, що містить у своєму складі макро- і мікроелементи підвищила, схожість насіння на 10% [17]. Виявлено вплив біодобрив Агро-Бак Плюс, Рост Концентрат (Велес-БІО, ТОВ СПГ) і Екстрасол (ТОВ Бісолбі-Інтер)за обробки насіння на органогенез розсади, ріст і розвиток рослин, поліпшення харчової якості плодів помідора шляхом зниження в них вмісту нітратів та підвищення – сухої речовини, сумарних цукрів, вітаміну С [18].

Препарати на основі гумінових речовин, внесені позакоренево також характеризуються високою ефективністю. Показано, що низькомолекулярні гумінові сполуки проникають через листову поверхню зі швидкістю 2–10 мм/добу. Проникненню високомолекулярних гумінових речовин через мембрани клітини передує розпад великих молекул на фрагменти, які поетапно транспортуються через плазмолему в цитоплазму клітини, де включаються в процеси метаболізму [19].

Застосування органічного добрива «Ріверм» (розробник Міжнародний Екологічний Фонд «AQUA-VITAE» і Національний Аграрний Університет) в технології вирощування перцю, баклажанів та помідора підвищувало вміст вітаміну С, каротиноїдів, заліза

і цинку, порівняно з традиційними технологіями вирощування, які передбачають застосування різноманітних мінеральних добрив і пестицидів [20].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. У літературі наявні результати ґрунтовних досліджень щодо ефективності застосування біологічних препаратів Агрофілу, Фосфоентерину, Біополіциду та Азотобактерину на овочевих культурах, в тому числі томатах. Біоагенти зазначених вище препаратів впливають на мікробні угруповання ґрунту ризосфери, епіфітну мікрофлору, поліпшують живлення рослин, продукують рістстимулюючі речовини, що в кінцевому рахунку підвищує продуктивність ранньої овочевої продукції [21].

Рекультивант композиційний Trevitan™ є екологічно безпечним препаратом органічного походження нового покоління, застосування якого сприятиме біологізації агротехнологій вирощування овочевих культур. Вплив вищезазначеного препарату на фізіологічні процеси в рослинах помідора їстівного, формування урожаю плодів та їх якісні показники потребує досліджень.

Новизна. Вперше в ґрунтово-кліматичних умовах Західного Лісостепу України (Тернопільська область) досліджено вплив рекультиванту композиційного Trevitan™ на продуктивність, структуру урожаю, вміст сухих речовин, вітаміну С, каротиноїдів та вуглеводів у плодах помідора їстівного F1 Телент із збереженням природного стану ґрунтів.

Методологічне або загальнонаукове значення. Мета нашої роботи – встановити ефективність застосування рекультиванту композиційного Trevitan™ за показниками продуктивності та якісного складу плодів помідора їстівного гібриду першого покоління Телент в умовах Західного Лісостепу України.

Результати дослідження спрямовані на вирішення проблеми підвищення продуктивності та поліпшення якості плодів помідора їстівного шляхом застосування екологічно безпечних препаратів органічного походження, зниження хімічного навантаження на агроекосистему та забруднення природного навколишнього середовища. Застосування рекультиванту композиційного Trevitan™ в овочівництві сприятиме виробництву органічної продукції.

Виклад основного матеріалу. Польові досліди з помідором їстівним (*Lycopersicon esculentum* Mill.**)** закладали на ділянках фермерського господарства (с. Курники Тернопільського району Тернопільської області) на лучно-чорноземних середньосуглинкових на лесоподібних суглинках ґрунтах у 2021 р. у двох варіантах (контроль, дослід) та чотирьох повтореннях. Розміщення ділянок – рендомізоване. Площа облікової ділянки 25 м^2. Помідори вирощували розсадним способом. Розсаду помідорів висаджували у відкритий ґрунт у третій декаді травня за схемою 60х40 см.

Кліматичні умови вегетаційного періоду загалом сприяли оптимальному росту і розвитку помідора їстівного. Середньомісячна температура повітря у квітні-травні відповідала нормі – +12–22˚С; у червні – +19–26˚С; у липні-серпні – +25–30˚С.

Матеріалом дослідження слугував італійський (фірма Esasem) гібрид першого покоління (F1) Талент помідора їстівного. Гібрид є кущовий, детермінантний, середньостиглий, стійкий до несприятливих умов навколишнього середовища та характеризується високою стресостійкістю [22].

Рекультивант композиційний Trevitan™ (рекультивант) для швидкої регенерації ґрунту, обробки насіння та посадкового матеріалу різноманітних сільськогосподарських культур, прискорення росту і розвитку рослин розробило товариство з обмеженою відповідальністю «ТРЕВІТАН УКРАЇНА» згідно ТУ У 20.1-44141048-002:2021, відноситься до IV класу небезпеки (речовини малонебезпечні) (ГОСТ 12.1.007), є препаратами органічного походження [23–25].

Рекультивант застосовували шляхом осінньої обробки ґрунту перед оранкою, обробки насіння та рослин під час вегетації. Восени перед основним обробітком ґрунту на ділянках дослідного варіанту вносили рекультивант для швидкої регенерації ґрунту (1 л препарату на 200 л води на1га). Перед сівбою в касети насіння досліду замочували 1% розчином рекультиванту для обробки насіння та посадкового матеріалу, а контролю – водопровідною водою протягом 5–10 хв. Після висаджування розсади у відкритий ґрунт проводили шестикратну обробку надземної маси дослідних рослин рекультивантом для прискорення росту і розвитку рослин з інтервалом 7–14 днів (0,5л препарату на 200 л води на 1 га), а контрольних – водопровідною водою за допомогою ранцевого оприскувача ОП-2. Першу обробку рослин провели через 5 днів після висаджування розсади у відкритий ґрунт.

У зрілих плодах помідорів визначали масову частку сухих речовин методом висушування [26], масову частку сухих розчинних речовин рефрактометрично (згідно ДСТУ 28562-90), кислотність – титрометрично (згідно ГОСТ 25555.0-82), масову частку вітаміну С – згідно ГОСТ 24556-89, каротиноїдів і флавоноїдів – фотоколориметрично [26], вміст цукрів – за Бертраном (ГОСТ 8756.13-87). Обробка статистичних даних здійснювалась за допомогою комп'ютерної програми *Microsoft Excel*.

Результати наших досліджень показали, що застосування рекультиванту для осінньої обробки ґрунту перед оранкою, обробки посівного матеріалу та надземної маси рослин під час вегетації істотно впливає на продуктивність помідора їстівного гібриду першого покоління Талент (табл. 1). За використання рекультиванту продуктивність культури зросла на 28,5%, порівняно з контролем. Оскільки у кущі за використання препарату було більше пагонів, то це вплинуло, відповідно, на показники кількості суцвіть і плодів на рослині. Встановлено, що за впливу

Таблиця 1

Вплив рекультиванту композиційного Trevitan™ на продуктивність та структуру урожаю помідора їстівного, M±m, n=12

Показник	Контроль	Дослід
Продуктивність, т/га	67,66±1,71	86,98±1,69*
Кількість суцвіть на рослині, шт.	22,13±0,43	28,75±0,87*
Маса плодів з одного куща, кг	2,016±0,038	2,923±0,043*
Кількість плодів на одному кущі, шт.	61±0,4	80±0,6*
Довжина плода, см	6,8±0,1	8,3±0,1*
Маса одного плода, г	33,1±0,31	36,5±0,28

Примітка: * – тут і в наступних табл. різниця вірогідна порівняно з контролем при p<0,05

рекультиванту на кущі сформувалося у дослідному варіанті на 29,9% суцвіть більше, порівняно з контролем, також на 36,1% більше виявилось плодів на одній рослині. Варто зазначити, що за використання препарату поліпшилось живлення рослин як кореневе так і позакореневе, що в кінцевому рахунку вплинуло на продуктивність культури і на структурні елементи урожаю.

За використання рекультиванту зросли розміри плода помідора їстівного, зокрема його довжина на 22,1% та маса – на 10,4%. Завдяки збільшенню кількості плодів на рослині та їх розмірів виявлено відповідно зростання маси плодів з одного куща на 45,0%.

Отже, використання рекультиванту для відновлення родючості грунтів, який поліпшує їх структуру, гранулометричний і колоїдний стан, фізичні властивості, біологічну активність та забезпечує рослини необхідними умовами росту і розвитку [24] сприяло формуванню високої продуктивності помідора їстівного. Застосування рекультиванту для обробки насіння та надземної маси рослин під час їх вегетації також поліпшує живлення помідора їстівного, інтенсифікує фізіологічні процеси, підвищує стійкість до несприятливих умов середовища [23, 25], що в підсумку статистично достовірно збільшує продуктивність культури і поліпшує морфометричні показники плодів.

Плоди помідору їстівного є джерелом різноманітних вітамінів (А, В1, В2, В3, РР, С), органічних кислот (яблучна і лимонна кислота), мінеральних солей (калію, натрію) та макроелементів (магнію, кальцію, фосфору, заліза) [7]. Всі ці сполуки необхідні для оптимізації обміну речовин в організмі людини і збереження його життєдіяльності.

Маркером загального стану здоров'я людини називають вітамін С – він має антиоксидантну, антитоксичну, гіпосенсибілізуючу, протизапальну, антигіалуронідазну, антиатеросклеротичну дію, зменшує потребу в тіаміні, рибофлавіні, ретинолі, токоферол ацетаті, фолієвій та пантотеновій кислотах [27]. Він необхідний для синтезу колагену і проколагену, сприяє всмоктуванню заліза у шлунково-кишковому тракті, завдяки чому в організмі нормально синтезується гемоглобін. В організмі людини вітамін С не утворюється, на його нестачу вказує постійна втомлюваність і слабкість, дратівливість, відсутність апетиту та втрата ваги.

Відомо, що хімічний склад плодів помідорів у значній мірі визначає їх якість, тривалість зберігання та стійкість до хвороб під час зберігання, середньодобові втрати вологи та маси як показники в'янення (всихання) та у цілому їх заданість до зберігання та подальшої схожості при використанні на насіння. Встановлено, що застосування рекультиванту впливає на якісні характеристики плодів помідора їстівного (табл. 2). Виявлено тенденцію до збільшення відсотків масової частки сухих та сухих розчинних речовин на 2,5 та 0,8% у плодах рослин дослідного варіанту. Це свідчить про дещо кращу їх споживчу якість, оскільки плоди, що містять більше сухих речовин менше схильні до механічного пошкодження та втрати форми.

Таблиця 2

Вплив рекультиванту композиційного Trevitan™ на якісний склад плодів помідора їстівного, M±m, n=4

Показник	Контроль	Дослід
Масова частка сухих речовин,%	6,70±0,21	6,87±0,13
Масова частка сухих розчинних речовин, %	5,13±0,11	5,17±0,12
Вміст аскорбінової кислоти, мг/кг	22,0±0,8	26,4±0,6*
Масова частка каротиноїдів, мг/100 г	0,12±0,01	0,17±0,01*
Масова частка флавоноїдів, мг/100 г в перерахунку на кверцетин	11,0±0,44	13,0±0,41*
Кислотність,%	0,38±0,02	0,19±0,01*

Показники кількісного вмісту вітаміну С та каротиноїдів відрізняються між досліджуваними зразками томатів, але знаходяться в межах фізіологічної норми для цієї культури. Результати математичного аналізу показали статистично достовірні відмінності за зазначеними вище показниками.

За використання рекультиванту виявлено зростання вмісту аскорбінової кислоти у плодах помідора їстівного на 20%, масової частки каротиноїдів та флавоноїдів – 41,7 та 18,2%. Варто зазначити, що за впливу рекультиванту знижується у 2 рази кислотність плодів.

Важливими речовинами, що характеризують якість плодів помідора є вуглеводи, зокрема моно- і дисахариди. Вони добре розчиняються у воді та солодкі на смак, утворюються в процесі фотосинтезу. Дослідження показали, що за використання рекультиванту збільшувався вміст дисахаридів порівняно з контролем на 57,3% (табл. 3).

За вмістом моносахаридів плоди помідора їстівного контрольного і дослідного варіантів істотно не відрізнялися між собою. Проте, масова частка загального вмісту цукрів у плодах рослин дослідного варіанту була вищою, порівняно з контролем на 8,8%, що вказує на інтенсифікацію процесів синтезу, відтоку та акумуляції вуглеводів за впливу рекультиванту. За технічної стиглості томатів плоди накопичують певний резерв вуглеводів, що є достатнім для забезпечення підтримки їх післязбиральної якості і товарного вигляду.

Головні висновки. Встановлено, що застосування рекультиванту композиційного Trevitan™ в технології вирощування помідора їстівного гібриду F 1 Телент у грунтово-кліматичних умовах Тернопільської області (Західний Лісостеп України) підвищує урожай плодів на 28,5%, порівняно з контролем, поліпшує морфометричні показники плодів та їх харчову цінність шляхом накопичення вітаміну С, каротиноїдів, флавоноїдів, дисахаридів та загального вмісту цукрів, зниження кислотності.

Таблиця 3

Вплив рекультиванту композиційного Trevitan™ на накопичення вуглеводів у плодах помідора їстівного, M±m, n=4

Показник	Контроль	Дослід
Масова частка моносахаридів,%	4,06±0,02	4,02±0,01
Масова частка дисахаридів,%	0,82±0,01	1,29±0,01*
Масова частка загального вмісту моно- і дисахаридів,%	4,88	5,31

Застосування рекультиванту композиційного Trevitan™ для швидкої регенерації грунту, обробки насіння та посадкового матеріалу різноманітних сільськогосподарських культур, прискорення росту і розвитку рослин (розробник ТОВ «ТЕВІТАН УКРАЇНА») при вирощуванні помідора їстівного сприятиме отриманню органічної продукції хорошої якості та екологічній стабільності агроекосистем.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження можуть бути використані сільськогосподарськими підприємствами при розробці технологій вирощування помідора їстівного у Західному Лісостепу України для отримання високих урожаїв з хорошою якістю плодів екологічно безпечної продукції.

Література

1. Wilier, H,, Lemoud. J. (2017). The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends FiBL, IFOAM 2017, 1. Auflage Leitfaden. Flandbuch. 340.
2. The World of Organic Agriculture is launched URL: http://www.ifoam.org/2018
3. Zeman K., Hron J. (2018): The agricultural sector has the most efficient management of state receivables in the Czech Republic. Agric. Econ. Czech, 64: 61–73.
4. Степасюк Л. М. Борисенко Н. П. Розвиток органічного виробництва в Україні. *Органічне виробництво і продовольча безпека*. Житомир : Вид-во ЖНАЕУ, 2019. С. 110–115.
5. Україна – 20-та в світі за органічними угіддями. URL: http://agroportal.ua/ua/news/ukraina/ukraina20ya-v-mire-po-organicheskim-ugodiyam/
6. Ярошенко Р. Ю., Мірзоєва Т. В. Щодо проблем і перспектив розвитку органічного виробництва продукції рослинництва. *Органічне виробництво і продовольча безпека*. Житомир : Вид.-во ЖНАЕУ, 2019. С. 124–126.
7. Скалецька Л. Ф.,Подпрятов Г. І., Завадська О. В. Методи наукових досліджень зі зберігання та переробки продукції рослинництва: Навчальний посібник. Київ : ЦП «КОМПРИНТ», 2014. 416 с.
8. Площі, валові збори та урожайність сільськогосподарських культур, за їх видами та по регіонах у 2021 році. Державна служба статистики України : статистичний бюлетень. Київ, 2022. С. 1.
9. Федоров А. О., Шкабара Т. Л., Федорова В. О. Споживча характеристика мікрокомпонентів харчових продуктів. *Технологія харчування і товарознавство.* 2013. № 2. С. 367–374.
10. Combining Ability Analysis for Yield, Quality, Earliness, and Yield-Attributing Traits in Tomato. / A. Agarwal et. al. *International Journal of Vegetable Science*. 2017. № 23(6). P. 605–615. DOI: 10.1080/19315260.2017.1355864
11. Корсун С. Г., Клименко І. І. Екотоксикологічний статус систем удобрення культур зерно-просапної сівозміни : монографія. Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2018. 212 с.
12. Виродов О. С., Яременко С. С. Якість переробленої овочевої продукції залежно від різних систем удобрення. *Рослинництво.* 2013. № 17. С. 50–54.
13. Воропаев С. Н. Биологическая система земледелия / под ред. В. Д. Ермохина. М. : Колос, 2009. 192 с.

14. Наукові основи виробництва органічної продукції в Україні: кол. монографія / за ред. Я. М. Гадзала, В. Ф. Камінського. Київ: Аграрна наука, 2016. 596 с.
15. Антонова О. И., Крапивина М. В., Третьякова М. Н. Применение гуминовых удобрений в сельском хозяйстве. Бийск, 2000. 112 с.
16. Попов А. И. Возможные механизмы действия гуминовых веществ при их попадании в растения. *Гуминовые вещества в биосфере*: труды 4 Всероссийской конф., 19-21 декабря 2007 г. Москва, 2007. С. 509-514.
17. Свиридов А. В., Акаев О. П. Получение из торфа жидкого комплексного нитрогуминового удобрения. *Вестник КГУ им. Н.А. Некрасова. Естествознание.* 2014. № 4. С. 24-26.
18. Коломієць Ю. В., Григорюк І. П., Буценко Л. М. Індукуючий вплив біодобрив на продуктивність рослин томатів і формування мікробіоти ризосфери . *Агроекологічний журнал*. 2017. № 1. С. 75–82.
19. Горовая А. И., Ярчук И. И. Значение работ Л. А. Христевой в науке о физиологически активных веществах гумусовой природы. *Гуминовые вещества в биосфере.* Москва: Наука, 1993. С. 6–15.
20. Дейниченко Г. В., Юдічева О. П. Використання традицій біофортифікації для регулювання хімічного складу томатних овочів. *Харчова наука і технологія.* 2012. № 2 (19). С. 42–45.
21. Біотехнологія ризосфери овочевих рослин [монографія] / Патика В. П. та ін. За ред. В. П. Патики. Вінниця «ПП» ДТ Едельвейс і К». 2015. 266 с.
22. Талент F1 насіння помідора детермінантного (Esasem). URL: https://semena.cc/uk/5405-talent-f1-semena-tomata-det-esasem.html
23. Дзендзель А. Ю., Пида С. В. Рекультивант композиційний Trevitan™ – новий комплексний препарат для обробки насіння і посадкового матеріалу / *Еко Форум – 2021* : збірка тез доповідей V спеціалізованого міжнародного Запорізького екологічного форуму (14 – 16 вересня 2021 р.) Запоріжжя: Запорізька торгово- промислова палата, 2021. С. 45–46.
24. Дзендзель А. Ю., Пида С. В. Рекультивант композиційний Trevitan™ – новий комплексний препарат для швидкої регенерації ґрунту. *Освітні та наукові виміри природничих наук*: збірник матеріалів ІІ Всеукр. заочної наук. конф. (м. Суми, 8 грудня 2021 р.) Сумський державний педагогічний університет імені А. С. Макаренка; Суми : СумДПУ імені А. С. Макаренка, 2021. С. 51–53.
25. Дзендзель А. Ю. Рекультивант композиційний Trevitan™ – новий комплексний препарат для для прискорення росту і розвитку рослин. *Тернопільські біологічні читання – Ternopil Bioscience – 2021* : матер. всеукр. наук.-практ. конф., присвяченої 50-річчю кафедри загальної біології та методики навчання природничих дисциплін і 100-річчю від дня народження доктора біологічних наук, професора Шуста Івана Васильовича. (1–2 жовтня 2021, Тернопіль). Тернопіль : Вектор, 2021. С. 76–77.
26. Грицаєнко З. М., Грицаєнко А. О., Карпенко В. П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунту. Київ : ЗАТ «Нічлава», 2003. 320 с.
27. Шульга О. К., Петухова Т. А., Моісеєва Г. М., Рижих А. С. Маркер загального стану здоров'я людини – вітамін С. *Молодий вчений.* 2018. № 2(54). С. 56–62.

УДК 556.55(477.64)
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.18

НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ РИБОГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В ЗАПОРІЗЬКОМУ (ДНІПРОВСЬКОМУ) ВОДОСХОВИЩІ

Маренков О.М., Єсіпова Н.Б., Шмагайло М.О.
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
пр. Гагаріна, 72, 49000, м. Дніпро
gidrobions@gmail.com

У статті представлені дані науково-дослідних ловів водних біоресурсів у Запорізькому (Дніпровському) водосховищі, результати повного біологічного аналізу за видами промислової іхтіофауни та розроблений режим рибогосподарської діяльності на 2022 рік. Зазначається, що показники уловів за основними промисловими видами риб стабільні і відповідають середньобагаторічному показнику. Рибопродуктивність водосховища становила 28,45 кг/га, загальний обсяг промислового вилову риби – 1166,6 тонн. Порівняно зі структурою промислового вилову попередніх років, співвідношення промислових груп суттєво не змінилось, основний промисел базувався на представниках родини Коропові. Лідируюче положення у промислі протягом останніх років займає карась сріблястий (55 % у загальному вилові). Зростаючі показники поповнення популяції карася дають підставу не встановлювати ліміти на його вилов у водосховищі у найближчі 2 роки. Стан популяції плітки, яка займає друге місце у промислі після карася (15,6 %), характеризується як стабільний, показники поповнення мають тенденцію до зростання, тому рекомендовані обсяги вилову залишаються на рівні попередніх років і становлять 200 тонн. Аналіз стану популяцій цінних видів коропових риб – сазана і ляща, свідчать про стабільні, але низькі показники відтворення даних видів внаслідок несприятливих екологічних умов на нерестових ділянках. Проте запас дорослих вікових груп сазана у водосховищі високий. Для його вилучення рекомендовано запровадити селективний відлов особин більше 10 кг крупновічковим неводом і застосувати ставні сітки з кроком вічка більше 120 мм. Популяції хижих риб (судака, щуки), за винятком окуня, мають тенденцію до зниження чисельності, яка спричинена бракон'єрством і відсутністю заборони на промислові лови під час нересту щуки (березень). Наслідком низького пресингу хижих риб є неконтрольований ріст малоцінних короткоциклових видів (тюлька, верховодка) і видів-саморозселенців (сонячний окунь). Короткоциклові та інвазійні види є харчовими конкурентами молоді цінних видів риб, тому рекомендовано не лімітувати обсяги їх вилову і зобов'язати користувачів водних біоресурсів проводити меліоративні вилови цих видів. *Ключові слова:* Запорізьке (Дніпровське) водосховище, промислові популяції риб, біологічні показники, рибопродуктивність, промисловий лов, ліміти.

Scientific justification of fisheries in the Zaporizhian (Dnipro) reservoir. Marenkov O., Yesipova N., Shmagailo M.
The article presents the data of research fisheries of aquatic bioresources in Zaporizhzhya (Dnipro) reservoir, the results of full biological analysis by species of commercial ichthyofauna and developed regime of fishery activity for the year 2022. It is noted that the indicators of catches by the main commercial fish species are stable and correspond to the average annual indicator. Fish productivity of the reservoir was 28,45 kg/ha, total commercial fish catch was 1166,6 tons. The ratio of industrial fishery species did not change significantly compared to the previous years figures. Commercial fishery nowadays based mostly on the Cyprinidae. The Prussian carp holds the leading position in the fishery for recent years (55% of the total catch). There is no reason for catch limits of the Prussian carp for the next 2 years thanks to the steadily growing indicators of its population replenishment. The roach population occupies the second place in the fishery after Prussian carp (15.6%) and is characterized as stable, while the indicators of replenishment have a tendency to increase. Thus, the recommended catch volume remains the same as for the previous years and equals 200 tons. The populations condition analysis for the valuable species such as Common carp and Freshwater bream – indicates stable yet low reproduction levels due to unfavorable ecological conditions in spawning areas. However, existing reservoir resources of aged groups of the Common carp are in abundance. For its elimination, it is recommended to apply selective catching for specimens over 10 kg with a large-mesh seine as well as plug-in nets with an over 120 mm pitch. Population of predatory fish (Pike-perch, Northern pike), except for European perch, has tendency to decrease in number, which is caused by poaching and the lack of prohibition for commercial fishery during Northern pike spawning (March). The consequence of the predatory fish inferiority is an uncontrolled growth of short-cycle species of low value (sprat, bleak) and self-settling species (Pumpkinseed). Short-cycle and invasive species are food competitors with young valuable fish kinds, therefore it is recommended to have no limit for their catch and to have the meliorative catch works in charge to maintain by the aquatic bioresources responsible officials. *Key words:* Zaporizhzhya (Dnipro) reservoir, commercial fish populations, biological indicators, fish productivity, commercial fishing, limits.

Постановка проблеми. Запорізьке (Дніпровське) водосховище є головним водоймищем на території Дніпропетровської області, яке має багатоцільове призначення. Окрім джерела питної і господарсько-побутової води, водосховище виконує провідну роль у забезпеченні населення рибною продукцією. Тому дослідження стану рибних запасів та раціональне їх використання є першочерговими задачами для науковців і державних органів контролю у рибогосподарській галузі.

Результати наукового моніторингу свідчать про негативну тенденцію щодо спрощення промислових іхтіоценозів, яка спостерігається останні десятиліття у Запорізькому (Дніпровсьому) водосховищі [1, 2].

Домінуюче положення у промислі замість цінних видів риб (сазан, лящ, судак) впевнено займають малоцінні види (сріблястий карась, окунь), які мають більший відтворювальний потенціал і кращі пристосувальні здібності до умов навколишнього середовища. Ця картина притаманна майже всім водосховищам дніпровського каскаду [3]. Основними причинами деградації іхтіоценозів є погіршення екологічних умов нересту і місць нагулу молоді риб, а також нераціональне використання рибних ресурсів. Відсутність науково-обгрунтованого підходу до експлуатації водних біоресурсів приводить до їх виснаження і навіть до повного зникнення окремих видів цінної харчової продукції, а це ще більше загострює проблему дефіциту тваринного білку в раціоні населення.

Актуальність дослідження. Для раціонального використання і поповнення рибних запасів Запорізького (Дніпровського) водосховища необхідна розробка оптимального режиму рибогосподарської діяльності, який містить науково-обгрунтовані ліміти щорічного промислового вилову риби. Розробка даного режиму неможлива без комплексної оцінки запасів промислової іхтіофауни. Для отримання об'єктивних даних щодо стану біоресурсів і прогнозування їх розвитку необхідно проводити систематичні дослідження репродуктивних показників промислових популяцій риб, їх чисельності, вікової і статевої структури, лінійно-вагових показників, визначати щорічне поповнення промислових популяцій за рахунок молодих генерацій.

Зв'язок авторського доробку з науковими і практичними завданнями. Результати досліджень, які представлені в даній роботі, були отримані в ході виконання держбюджетної теми «Екологічні засади раціонального ресурсовикористання та розвитку агропромислового комплексу Придніпров'я в галузі аквакультури, рибництва та рибальства» (виконавець – Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, надалі ДНУ), а також у рамках госпдоговорної теми «Оцінка стану запасів водних біоресурсів у Київському, Канівському, Кременчуцькому, Кам'янському, Дніпровському, Каховському водосховищах та Дніпровсько-Бузькій естуарній системі, а також у внутрішніх рибогосподарських водних об'єктах (їх частинах) загальнодержавного значення і розробка оптимальних режимів їх рибогосподарської експлуатації на 2022 рік (виконавці – Інститут рибного господарства НААУ, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Динаміка обсягів рибоздобичі в Україні стала набувати позитивного характеру починаючи з 2017 року, коли були запроваджені реформи в рибній галузі [4]. Поступове збільшення уловів риби відмічали і в дніпровських водосховищах. За даними Державного агентства меліорації та рибного господарства України улови риби в Запорізькому (Дніпровському) водосховищі з 2016 р. по 2020 р. збільшились з 717,6 тонн до 1166,6 тонн. Але на фоні зростання обсягів рибоздобичі посилювалась тенденція до переважання в уловах малоцінних видів – представників групи «дрібного частику». Відзначається, що останні 10 років у промисловій іхтіофауні водосховища впевнено домінує карась сріблястий (55 % від загальних уловах), відтіснивши плітку і цінних представників «крупного частику» – ляща, сазана, судака [5, 6].

Дослідження фізіолого-біологічних особливостей різних видів риб показали, що саме карась сріблястий має вищі адаптаційні можливості порівняно з промисловоцінними видами. За результатами гістоморфологічного аналізу гонад карася виявлений характерний асинхронний трофоплазматичний ріст ооцитів і порційне ікрометання [7]. Це дає переваги карасю перед іншими фітофільними рибами у використанні нерестового субстрату та кормової бази для молоді риб.

За результатами цитометричного аналізу тканин та органів різних коропових риб (сазан, лящ, плітка, карась) встановлено, що карасю сріблястому притаманний лабільний механізм пристосування до несприятливих умов, який полягає у швидкому переході клітин до амітотичного ділення і заміщення ушкоджених клітин [8, 9]. В умовах гіпоксії, інтоксикації важкими металами у карася виявляється вірогідно менше патологій у клітинах крові, гепатопанкреасу, нирок та зябер порівняно з іншими короповими рибами [10–12].

Незадовільний екологічний стан прибережних ділянок Запорізького (Дніпровського) водосховища став однією з головних причин погіршення умов нересту та нагулу молоді риб. Внаслідок активного розвитку рекреаційних зон по берегах водосховища мілководні ділянки опинились під впливом стічних побутових вод. Забруднення органічними речовинами і евтрофікація стимулювали масове «цвітіння» синьозелених водоростей і розвиток гіпоксичних умов на мілководних ділянках і затоках водосховища, саме там, де відбувається нерест і концентрація молоді риб [13]. Під значним антропогенним тиском знаходиться Самарська затока – основне місце нересту фітофільних риб у Запорізькому (Дніпровському) водосховищі. Внаслідок скиду шахтних вод Павлоградського вугільного басейну в затоці утворилась зона хронічної інтоксикації гідробіонтів важкими металами. Систематичні гідроекологічні дослідження свідчать про наявність у воді важких металів, концентрація яких перевищує рибогосподарські ГДК: марганцю – в 2 рази, свинцю – в 1,3 рази та кадмію – в 2,4 рази, цинку – в 1,5 рази [14]. Важкі метали мають властивість мігрувати по різних компонентах водного середовища та накопичуватись у гідробіонтах, в тому числі і рибі, викликаючи різні порушення в організмі.

Негативний вплив на промислову іхтіофауну дніпровських водосховищ завдало проникнення

чужорідних видів риб, які стали основними харчовими конкурентами молоді аборигенних видів [15]. У Запорізькому (Дніпровському) водосховищі масового розповсюдження набув сонячний окунь, який швидко адаптувався в умовах водосховища. Якщо в 2011 р. зустрічались поодинокі екземпляри сонячного окуня в уловах, то вже в 2016 р. на окремих ділянках водосховища щоденний улов окуня досягав 200 кг [2]. Дослідження показали, що сонячний окунь не тільки активно полює на молодь цінних видів риб, але й виїдає їх ікру на нерестовищах. Встановлено також, що сонячний окунь входить до харчового раціону звичайного окуня [16]. Проте, цей чинник є недостатній для стримування росту чисельності популяції сонячного окуня у водосховищі. Вирішення цієї проблеми потребує впровадження додаткових рибогосподарських заходів.

Таким чином, літературні данні свідчать про існуючу стійку тенденцію до спрощення видової структури промислової іхтіофауни Запорізького (Дніпровського) водосховища, а також на наявність чинників, які в подальшому можуть привести до повної її деградації.

Виділення невирішених частин загальної проблеми. Проблема зменшення чисельності популяцій цінних промислових видів риб і домінування малоцінних видів, а також поширення інвазійних риб у Запорізькому (Дніпровському) водосховищі потребує удосконалення рибогосподарських заходів і розробки оптимального режиму експлуатації рибних ресурсів.

Метою нашої роботи було оцінити за даними повного біологічного аналізу стан популяцій промислових видів риб і розробити режим раціонального використання рибних запасів на 2022 рік.

Новизна. Представлені нові дані щодо лінійно-вагових і репродуктивних показників промислових видів риб, їх статевої і вікової структури, уловистості сіток контрольного ряду в Запорізькому (Дніпровському) водосховищі. Розроблені режими промислового і меліоративного вилову риби.

Результати досліджень. Запорізьке (Дніпровське) водосховище знаходиться на території Дніпропетровської та Запорізької областей. Довжина водосховища – 129,7 км, мінімальна ширина – 0,6 км, максимальна – 7,0 км, середня – 3,2 км, площа дорівнює 41 тис. га. Максимальна глибина водосховища (біля греблі Дніпрогесу) – 53 м, середня – 8 м. Добові та тижневі коливання рівня – до 0,7 м [1]. Найбільша з приток – р. Самара – утворює самостійне крайове плесо (Самарська затока) з площею водного дзеркала 57 км^2 (рис. 1).

Відбір іхтіологічних проб проводили протягом вегетаційного періоду 2021 року під час контрольних та промислових ловів на двох основних рибопромислових ділянках Запорізького (Дніпровського) водосховища: біля с. Військове (нижня ділянка) та в Самарській затоці (див. рис. 1).

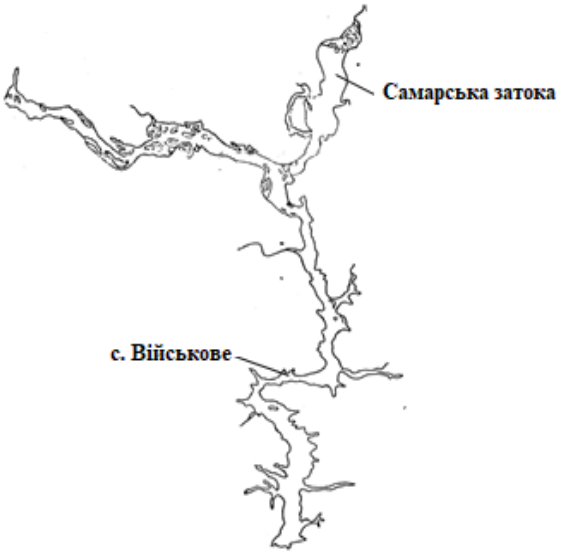


Рис. 1. Схема Запорізького (Дніпровського) водосховища із зазначенням місць проведення контрольних ловів

Лови здійснювали стандартним набором ставних сіток з кроком вічка від 30 мм до 120 мм. Біологічний аналіз риб проводили згідно класичних методик в іхтіології [17, 18] за такими показниками: стандартна та абсолютна довжина тіла, індивідуальна маса, стать, індивідуальна плодючість. Вік риби визначали за стандартною іхтіологічною методикою В. Л. Брюзгіна [19].

За статистичними даними Управління Державного агентства меліорацій рибного господарства в Дніпропетровській області в 2020 році в Запорізькому (Дніпровському) водосховищі вилучено 1166,6 тонн водних біоресурсів, загальна рибопродуктивність становила 28,45 кг/га [5]. Тобто показники були на рівні попередніх років. Найбільший відсоток в уловах припав на карася сріблястого – 55 %. Наступною в промислових уловах домінувала плітка звичайна – 15,6 %, лящ – 6,17 %, плоскирка – 6,07 % рослиноїдні риби – 4,61 %. Частка промисловоцінних видів залишається вкрай низькою: судак – 1,32 %, сазан – 1,15 % (рис. 2).

Порівняно зі структурою промислового вилову попередніх років, відсоткове відношення промислових груп суттєво не змінилося, а основний промисел базується на представниках родини коропові.

Абсолютним лідером у промислі став карась сріблястий. За останні п’ять років його частка в сіткових уловах зросла з 43 % (346,8 т) до 55 % (642,3 т). Карась впевнено витіснив з домінуючих позицій плітку – другого представника дрібного частику. Відносна частка в уловах представників крупного частику (сазан, лящ, судак) знизилась з 14 % до 9 %. Їх фактичні улови залишаються на стабільному, але низькому рівні. Щорічний сумарний обсяг вилову цих видів тримається на рівні 100 тонн.

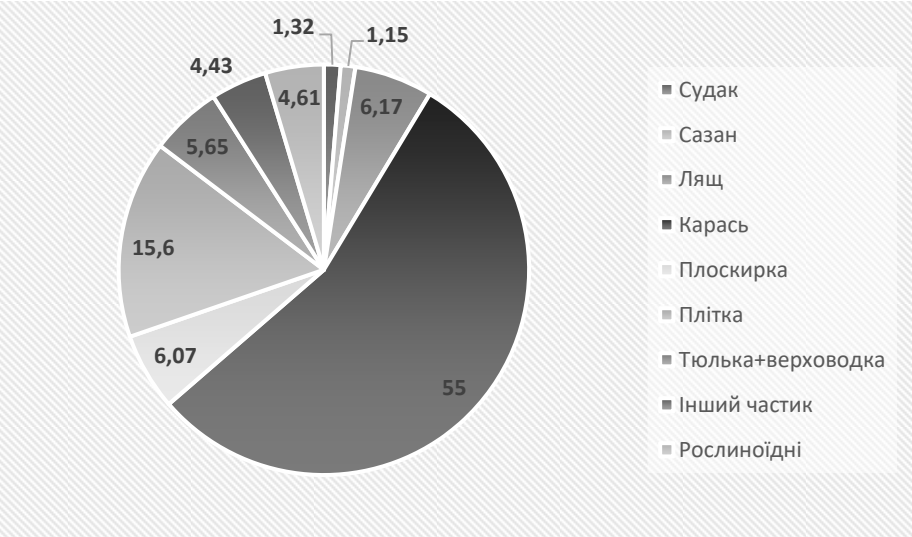


Рис. 2. Співвідношення промислових видів риб в уловах Запорізького (Дніпровського) водосховища в 2020 році, %.

За результатами проведеного біологічного аналізу не виявлено будь-яких кардинальних змін у стані промислових популяцій риб. **Лящ (*Abramis brama* Linnaeus, 1758)** був представлений 16 віковими класами, граничний вік в уловах становив 19 років (0,01 %). Репродуктивне ядро популяції складали особини 5–9-річного віку – 79 %. Середня абсолютна плодючість ляща дорівнювала 158,2±46,42 тис. ікринок. Варіювання показника абсолютної плодючості у самиць 5–7-вікових генерацій досить високе і досягає 60 %. Раніше була встановлена асинхронність розвитку ооцитів у ляща, що розглядається як приклад адаптації репродуктивної системи риб до змін умов навколишнього середовища, особливо до коливань температурного і рівневого режиму [20].

Промислова довжина самців ляща за даними контрольних ловів становила 34,6±0,89 см; середньовиважена маса – 870,2±61,67 г, самок відповідно: 35,1±1,11 см та 1047,9±99,69 г. Коливання мінімальних та максимальних показників маси особин ляща знаходилося в межах від 200 до 2750 г.

Запорізьке (Дніпровське) водосховище має достатню кормову базу для нагулу ляща, пік нагулу припадає на серпень-вересень. Середньовікові значення коефіцієнту вгодованості за Фультоном протягом останніх 10 років характеризуються стабільністю та становлять в середньому – 2,3±0,08 одиниць.

У 2021 році в середньому по водосховищу улов ляща на 100 сіткодіб контрольного порядку склав 1022,6 екз. (1012,32 кг). Близько 60,65 % за кількістю (та 70,22 % за біомасою) уловів ляща припадало на сітки з вічком 75–80 мм. Протягом останніх 10 років простежується виражена тенденція до зменшення улову ляща дрібновічковими сітками з кроком вічка а=30–40 мм, на частку яких в 2021 році припадало 4,6 % від загального улову контрольних знарядь лову. Вилов ляща сітками із кроком вічка а=55–70 мм, тобто тих генерацій, які будуть формувати основу промислу в 2022 році сягнув 22,4 %, що вказує на достатнє поповнення промислового ядра.

У 2022 році запас ляща будуть формувати генерації 2014-2018 років, які відзначались як маловрожайні та середньоврожайні (екз./100 м^2): 4,32 (2014 р.), 2,52 (2015 р.), 6,34 (2016 р.), 4,52 (2017 р.) та 5,68 (2018 р.).

Освоєння ліміту вилову ляща протягом 2016–2020 рр. тримається на рівні 80 %. Враховуючи коефіцієнт природної смертності (0,22), коефіцієнт вилову (0,26), а також наявність резерву особин старших вікових груп, запас ляща на сьогодні оцінюється в 492 т. Доцільно встановити ліміт вилову ляща в 2022 році не вище за 25 % від загального запасу – що становить 123 т.

Судак (*Sander lucioperca* Linnaeus, 1758). Віковий ряд судака в контрольних уловах 2021 року нараховував 14 класів (3–16-річки). Ядро промислової популяції складалося з 4–9-річних особин (83,12 %). Частка риб старших вікових груп в основному представлена 10–15-річними особинами і складала 1,2 %. Середня плодючість нерестової популяції становила 244,2±38,63 тис. ікринок і суттєво не відрізнялась від показників попередніх років.

У 2021 році середньовиважений показник промислової довжини самців судака сягнув 35,30±0,93 см, середньовиважена маса самців – 658,4±58,71 г. Біологічні показники самиць відповідно дорівнювали: 37,76±1,04 см та 852,94±96,64 г. Коефіцієнт вгодованості за Фультоном був задовільний і складав 2,32±0,34 одиниць.

У 2021 році на 100 сіткодіб контрольного порядку улов судака в середньому по водосховищу склав 534,2 екз. (438,04 кг). Основний вилов судака в 2021 році за чисельністю та біомасою базувався на сітках з кроком вічка а=40–50 мм – 58,5%. У сітках із

кроком вічка а=30–36 мм частка вилову була нижче і становила 28,4 %. В Самарській затоці на сітки з кроком вічка 30–32 мм припадає близько 31 % загального улову судака, що пов'язано з тугорослістю особин, викликаною негативними гідроекологічними умовами затоки та посиленим антропогенним навантаженням на водну екосистему водойми. Слід також враховувати негативний вплив на популяцію судака з боку рибалок-аматорів, які здобувають особин приловних розмірів.

Сучасний запас судака забезпечений генераціями 2016 та 2017 років. Чисельність цьоголіток в той період становила відповідно 1,67 та 1,85 екз./100 м^2. Таким чином, враховуючи коефіцієнт природної смертності (0,22), коефіцієнт вилову (0,25), оцінку показника прозусилля, запас судака у водосховищі можна оцінити в 148 т. Рекомендований ліміт вилову судака в 2022 році не повинен перевищувати 25 т.

Сазан (короп) (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) є одним із цінних ресурсних видів Запорізького (Дніпровського) водосховища. Фактичні улови сазана в водосховищі з 2008 року по 2020 рік трималися на рівні 9–22 т. В 2020 році вилов сазана становив 13,38 тонн.

У 2021 році віковий ряд сазана був представлений 16 класами (3–18-річки). Ядром промислової популяції були 6–9-річки (62,4 %). Частка старших вікових груп старше 10 років досягала 10,1 %, що вказує на наявність старших вікових груп в популяції. Середня абсолютна плодючість самиць становила 587,41±29,27 тис. ікринок, що відповідає рівню середньовиваженого показника плодючості сазана за останні 10 років.

Середньостатистичні показники популяції сазана становили: промислова довжина самців – 49,05±2,09 см, маса – 2591,89±268,37 г, у самок відповідно 56,08±2,26 см і 4019,55±482,47 г.

Аналіз малькових уловів вказує на недостатнє природне поповнення популяції сазана. Підтвердженням цьому є досить низькі показники чисельності молоді прибережних популяцій, які мають місце останні 5 років (2015 р. – 3,46 екз./100 м^2, 2016 р. – 3,88 екз./100 м^2, 2017 р. – 2,65 екз./100 м^2, 2018 р. – 3,02 екз./100 м^2, 2019 р. – 2,88 екз./100 м^2).

У 2021 році на 100 сіткодіб контрольного порядку припадало 1240 кг, з яких 107 кг (8,6 %) припадало на дрібновічкові стіки, а решта – на крупновічкові. Основний улов контрольного порядку як за чисельністю (60,8 % від загальної), так і масою (73,5 %) забезпечували сітки з кроком вічка 75–120 мм. Таким чином, запас, доступний для раціонального промислу на 2022 рік може бути оцінений, як достатньо високий.

Враховуючи коефіцієнт природної смертності (0,23) та коефіцієнт загальної смертності (0,29), запас сазана у Запорізькому (Дніпровському) водосховищі можна оцінити в 210 т. Оскільки показники засвоєння квот останні роки були досить низькі (на рівні 30–50 %), рекомендовано встановити прогноз допустимого вилучення сазана в 2022 році у кількості 50 т.

Слід відмітити, що наявність старшевікових особин з масою більше 10 кг ускладнює промислове освоєння сазана ставними сітками кроком вічка до 120 мм, оскільки ці знаряддя лову не відловлюють крупних особин. З метою вилучення старшевікових особин рекомендується використовувати сітки з кроком вічка вище 120 мм та проводити селективний відлов особин крупновічковим неводом з кроком вічка а=100 мм.

У вікові структурі популяції **плітки (*Rutilus rutilus* Linnaeus, 1758)** нараховували 14 вікових груп – від 3-х (0,57 %) до 15 років (0,24 %). Репродуктивним ядром популяції, як і в минулі роки, були особини 4–6 років (75,4 %). Індивідуальна абсолютна плодючість (ІАП) плітки різних вікових груп коливається від 19,1 (3-річки) до 110,8 (9-річки) тис. ікринок, а в середньому дорівнює 77,2±10,4 тис. ікринок.

Середньовиважена промислова довжина особин та середньовиважений показник маси особин плітки трималась на рівні 2017–2020 років та становили для самців 21,43±0,31 см, маса – 211,49±11,72 г, для самок – 24,15±0,44 см та 345,39±23,03 г відповідно.

Спостерігається стала тенденція негативного впливу гідроекологічного стану окремих ділянок водосховища на локальні популяції. Відмічено, що особини, вилучені в Самарській затоці та в гирлі річки Мокра Сура (поблизу с. Волоське) Запорізького (Дніпровського) водосховища достовірно відставали у рості та характеризувалися значною тугорослістю. Їх лінійно-вагові показники були на 9,5–12,4 % нижчими за показники риб, вилучених з нижньої ділянки водосховища (с. Військове).

Умови для нагулу плітки у водосховищі досить сприятливі, оскільки водосховище має достатню кормову базу для даного виду риб. Вгодованість особин плітки за Фультоном протягом останніх 5 років тримається на рівні – 2,2±0,14 од. Коефіцієнт вгодованості та жирність (3–4 бали) вказують на сприятливі умови нагулу.

У 2021 році на 100 сіткодіб контрольних знарядь лову припадало 8468 екз. плітки (2117,2 кг), що на рівні 2019–2020 років. Основний улов плітки спостерігався для сіток з вічком 38–40 мм і становив 70,5 % від загальних обсягів. У крупновічкові сітки плітка потрапляла поодиноко – 1,12 %. За показниками вікової та розмірно-вагової структури промислової популяції плітки, величини промислового поповнення, можна вважати, що стан промислової популяції плітки знаходиться на досить стабільному рівні, а її промисловий запас експлуатується досить помірно.

У наступному році можна очікувати помірне збільшення чисельності популяції плітки, оскільки промислове стадо буде формуватися за рахунок досить чисельних генерацій 2014–2017 рр. (42,15–98,61 екз./100 м^2).

Враховуючи коефіцієнт природної (0,22) та загальної смертності (0,35), величину поповнення та промзусилля, розраховано запас плітки у водосховищі на 2022 рік в обсязі 1050 т. Засвоєння лімітів у попередні роки було на рівні 73–83%. При оптимальному вилові близько 25 % рекомендуємо встановити ліміт на вилов плітки на рівні 200 т.

Карась сріблястий (*Carassius gibelio* Bloch, 1782*).* У 2020 році вилов карася сягнув максимальних значень – 642,29 т, що становить 55 % від загальних уловів по водосховищу.

Показники промислової довжини особин карася трималися на рівні минулих років – довжина самців 20,22±0,47 см, довжина самок – 21,46±0,52 см. Показники маси карася коливалися в межах від 100 до 1010 г і в середньому сягали показників у самців – 287,54±21,26 г, у самок – 345,95±19,44 г. Ядро нерестової популяції карася складали самки 4–7-річного року (79,2%) і самці 4–6-річного віку (85,7%). Середня абсолютна плодючість карася коливалась в межах від 11,13 (у 4–5 річок) до 214,3 тис. ікринок (у 9–12-річок). Середньовиважений показник абсолютної плодючості склав 90,4±8,23 тис. ікринок.

В 2021 році всього по водосховищу контрольні улови карася на 100 сіткодіб складали 5922 екз. (2281,6 кг). Основний улов за чисельністю (72,4 %) припадав на сітки з кроком вічка а=36–50 мм, тоді як за масою (68,4 %) – на сітки з кроком вічка а=50–60 мм.

Поповнення популяції карася сріблястого у 2022 році буде здійснюватися, головним чином, за рахунок генерацій 2017 та 2018 років. У 2017 році чисельність цьоголіток карася в середньому по водосховищу сягнула 32,56 екз./100 м^2, у 2018 році чисельність цьоголіток карася у водосховищі складала 28,6 екз./100 м^2, а в Самарській затоці – 61,5 екз./100 м^2, що вказує на високий рівень природного поповнення даного виду.

Враховуючи коефіцієнт природної (0,21) та загальної (0,42 %) смертності, величину поповнення, накопичення старших вікових груп і стан природного поповнення, промисловий запас карася сріблястого можна оцінити в 3020 т.

Біологічні показники карася сріблястого свідчать, що популяція даного виду у Запорізькому (Дніпровському) водосховищі інтенсивно поповнюється. Тому промисловий вилов даного виду в 2022 році слід продовжувати без встановлення лімітів та прогнозів, тобто «не лімітувати».

Хижі риби – щука, окунь – виконують у водосховищі важливу роль біомеліораторів. Проте стан популяції **щуки (*Esox luceus* Linnaeus, 1758)** залишається незадовільний вже багато років. Низька чисельність популяції обумовлена рядом причин, серед яких відсутність заборони на промисел у період нересту даного виду риб (березень місяць), браконьєрство та неконтрольований аматорський лов, дефіцит нерестового субстрату, весняне спрацювання рівневого режиму водосховища, яке викликає пересихання та замулення нерестовищ.

Біологічні показники щуки у водосховищі стабільно високі. Середня маса особин дорівнювала 1980±240,1 г, максимальна – 4200 г. Ядро промислової популяції складають 4–5-тирічки. У 2021 році 100 сіткодіб контрольного порядку припало 21,5 кг. У минулі роки цей показник коливався у межах 22–25 кг. Запас щуки в Дніпровському (Запорізькому) водосховищі оцінюється в 25 т. Прогноз допустимого вилову щуки в 2022 році становить 5 т. Збільшення чисельності популяції щуки і поповнення її запасу можливо шляхом заборони промислу у період нересту цього виду.

Популяція **окуня (*Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758)** станом на 2021 рік має досить стабільну вікову та розмірно-вагову структури і через індиферентність до нерестового субстрату – високі репродуктивні показники, тому постійно поповнює свою чисельність. У промисловому стаді окуня домінують особини 4–10-річного віку (85,4 %). Середньовиважений вік окуня, на якому базується промисел, складав 5 років.

Середньовиважені показники промислової довжини окуня становили: самці – 20,66±0,37 см, самки – 24,70±0,85 см. Середньовиважені показники маси особин: самці – 185,33±9,59 г, самки – 347,08±38,16 г, що практично не відрізняється від показників минулих років. В Самарській затоці у окуня спостерігається відставання в рості у середньому на 10 %.

Основу промислового запасу 2022 року складуть особини генерацій 2017 та 2018 років. Чисельність цьоголіток на той період складала відповідно – 16,31 та 17,12 екз./100 м^2, що говорить про достатнє природне поповнення окуня молоддю.

Основний вилов окуня у 2021 році припадав на сітки з кроком вічка а=38–40 мм (63,4 % за чисельністю та 62,1 % за біомасою). В Самарській затоці окунь освоюється сітками з кроком вічка а=30–36 мм. Тугорослість окуня в затоці викликана впливом антропогенних чинників.

Таким чином, на 2022 рік сформований достатній запас окуня для його стабільного промислу. Запас окуня в Запорізькому (Дніпровському) водосховищі оцінюється в 162 т. З огляду на коефіцієнт природної смертності (0,21), прогнозований допустимий вилов окуня в 2022 році може становити 39 т.

В угрупуванні **рослиноїдних риб** (білий і строкатий товстолобики, білий амур) найважливішим ресурсним видом є **білий товстолобик (*Hypophthalmichthys molitrix* Valenciennes, 1844)** – корисний біомеліоратор дніпровських водосховищ. Білий товстолобик активно споживає фітопланктон і поки ще залишається єдиною ефективною «зброєю» у боротьбі з масовим розвитком синьозелених водоростей і «цвітінням» води.

Віковий ряд білого товстолобика представлений 16 класами (3–17-річки). Ядром промислової попу-

ляції сазана були 5–8-річки (60,2 %). Частка вікових груп старше 10 років досягала 12,6 %, що свідчить про накопичення старших вікових груп у популяції. Скорочення кількості молодших вікових груп свідчить про недостатнє зариблення водойми, яка має розвинену кормову базу.

Середньостатистичні показники особин білого товстолобика становили: промислова довжина – 62,97±3,10 см, маса – 5081,48±520,89 г. Коефіцієнт вгодованості за Фультоном залишався на стабільному рівні – 2,3±0,2 од.

У 2020 році вилучено 53,8 т рослиноїдних риб, що є досить низьким показником. У попередні роки їх вилов перевищував 100 т. Практика показала, що використання ставних сіток з кроком вічка до 120 мм не ефективно для вилучення старшевікових особин з масою більше 10 кг. Для вилову старшевікових особин рекомендується використовувати сітки з кроком вічка вище 120 мм та проводити селективний відлов особин крупновічковим неводом в місцях концентрації риб.

Враховуючи щорічне зариблення водосховища молоддю білого і строкатого товстолобиків та їх гібридів, а також сформований запас старшевікових груп рослиноїдних риб, можна рекомендувати їх промисловий вилов без лімітування та прогнозування.

Особливу увагу при веденні рибогосподарської діяльності у Запорізькому (Дніпровському) водосховищі необхідно приділяти меліоративним ловам короткоциклових видів – **тюльки і верховодки.** Дані види риб – зоопланктофаги, які є прямими харчовими конкурентами молоді цінних видів риб. Основу популяції тюльки та верховодки складають 1–2-річки. Середньовиважена маса особин тюльки дорівнювала 1,5±0,17 г, при довжині – 4,4±0,15 см,

Вилов тюльки та верховодки характеризується специфікою організації промислу. Користувачі водних біоресурсів економічно не зацікавлені в його проведенні, тому промисловий запас тюльки у водосховищі майже не освоюється. Щорічний вилов тюльки і верховодки у водосховищі тримається на рівні 30–60 тонн, при тому, що промислові запаси цих риб дозволяють вилучати не менше 200 тонн. Висока концентрація короткоциклових видів риб може створити харчову проблему для риб-планктофагів. Тому рекомендується посилити контроль за виконанням меліоративного вилову короткоциклових видів риб з метою вивільнення кормових ресурсів для цінних в промисловому значенні видів риб. Як і в попередні роки улов тюльки і верховодки в 2022 році не повинен лімітуватися і становити не менш ніж 200 т.

Сонячний окунь *Lepomis gibbosus* Linnaeus, 1758 – один із небезпечних видів для промислової іхтіофауни Запорізького (Дніпровського) водосховища. Свій небезпечний потенціал вид реалізовує у всеїдності (поїдає планктон, дрібний нектон і навіть ікру інших риб), швидкому нарощені чисельності популяції, а також у витривалості до антропогенних чинників [20].

Найбільш масово в промислових уловах трапляються трилітки та чотирилітки сонячного окуня. Промислова довжина складає у самців 7,2–10,0 см (8,5±0,36 см), у самок – 6,5–9,8 см (7,9±0,56 см), маса 9,3–35,2 г (19,3±3,25 г) та 10,5 – 25,6 г (16,4±2,42 г) відповідно.

За даними досліджень середня висота тіла триліток та чотириліток складає відповідно 3,6 см та 3,8 см, тому для раціоналізації та інтенсифікації вилову сонячного окуня рекомендується у період нересту виставляти сітки з розміром вічка 30–36 мм в місцях його масового скупчення. У періоди нагулу у виловах збільшується кількість старших вікових класів (в основному шестиліток 5+). Висота тіла шестилітніх особин варіює від 4,8 см до 6,3 см. Тому для вилову таких особин доцільно використовувати сітки з розміром вічка 40–56 мм.

У 2021 році в акваторії Самарської затоки зі ставних сіток з кроком вічка а=30-32 мм вилучалося від 30 до 60 кг сонячного окуня щоденно. Найбільші його улови припадали на період з 20 по 30 червня, коли йшов його масовий нерест. Таким чином на 2022 рік рекомендується дозволити вилов сонячного окуня без лімітування та прогнозування.

Висновки. 1. За результатами контрольних і промислових уловів у Запорізькому (Дніпровському) водосховищі залишається негативна тенденція до спрощення промислового іхтіоценозу, яка характеризується абсолютним домінуванням малоцінних видів (карась сріблястий – 55 %) і стабільно низьким рівнем в уловах промисловоцінних видів (лящ, судак, сазан – до 10 %).

2. Біологічні показники промислових видів риб знаходяться на рівні середньобагаторічних значень і свідчать про сприятливі умови нагулу, проте, у Самарській затоці зустрічаються тугорослі форми плітки і окуня, що обумовлено напруженим екологічним станом цієї ділянки.

3. У водосховищі визначений високий запас старшевікових особин сазана (коропа) масою більше 10 кг. Для ефективного їх вилучення рекомендується використовувати сітки з кроком вічка вище 120 мм та проводити селективний відлов особин крупновічковим неводом з кроком вічка а=100 мм.

4. Біологічні показники карася сріблястого свідчать, що популяція даного виду у Запорізькому (Дніпровському) водосховищі знаходиться в прогресуючому стані; це обумовлює необхідність інтенсифікації його вилову без встановлення лімітів та прогнозів.

5. Промисловий запас щуки у водосховищі вкрай низький (на рівні 25 тонн). Враховуючи важливу роль цього виду як біомеліоратора, рекомендується ввести заборону на промисловий лов щуки в період її нересту (березень).

6. Висока концентрація у водосховищі короткоциклових видів (тюлька, верховодка) і видів-саморозселенців (сонячний окунь) уявляє загрозу для

живлення молоді промислових риб, тому рекомендується ввести безлімітний меліоративний вилов цих видів і посилити контроль за його виконанням.

Перспективи використання результатів досліджень. Результати виконаної роботи являють інтерес для органів державного контролю за станом рибних ресурсів і користувачів водних біоресурсів. Завдяки коригуванню режиму промислового лову і науково-обгрунтованих лімітів вилову можна підвищити показники рибопродуктивності Запорізького (Дніпровського) водосховища і оптимізувати структуру промислового іхтіоценозу. Збільшення чисельності популяцій риб-біомеліораторів буде сприяти покращенню екологічного стану водоймища.

Література

1. Сучасні проблеми гідробіології: Запорізьке водосховище / Федоненко О. В. та ін. ЛІРА, 2012. 279 с.
2. Федоненко О. В., Маренков О. М. Промислове освоєння іхтіофауни Запорізького (Дніпровського) водосховища: Довідник. Д. : ЛІРА, 2018. 152 с.
3. Бузевич І. Ю. Стан та перспективи рибогосподарського використання промислової іхтіофауни великих рівнинних водосховищ України : дис. … д-ра біол. наук : 03.00.10 / ІРГ НААУ. Київ, 2012. 297 с.
4. Глебова Ю. А., Шкарупа О. В. Динаміка розвитку рибного господарства України у 2016–2018 роках. *Рибогосподарська наука України*. 2019. 2(48). С. 5–20.
5. Fishery and environmental situation assessment of water bodies in the Dnipropetrovsk region of Ukraine / O. Fedonenko et all. *World Scientific News*. 2018. V. 92(1). P. 1–138.
6. Маренков О. М. Біологічне обґрунтування лімітів вилову риби у Запорізькому (Дніпровському) водосховищі на 2018 рік. *Аграрна наука та харчові технології*. 2017. № 5 (99), т. 1. С. 142–152.
7. Маренков О. М., Курченко В. О. Гістоморфологічний аналіз ооцитів карася сріблястого (Carassius gibelio Bloch, 1782) в умовах Запорізького (Дніпровського) водосховища. *Рибогосподарська наука України*. 2018. 4(46). С. 5–14.
8. Шарамок Т. С., Єсіпова Н. Б. Вплив антропогенних факторів на гематологічні показники риб. *Наукові записки Тернопільського нац. пед. ун-ту ім. В. Гнатюка. Сер.: Біол. Спец. випуск: Гідроекологія*. 2015. № 3–4(64). С. 722–726.
9. Kurchenko, V., Sharamok, T. Hematological indices of the prusian carp (Carassius Gibelio (Bloch, 1782)) from the Zaporizhian (Dnipro) reservoir. *Acta Biol. Univ. Daugavp.* 2019. 19(2). P. 141–148.
10. Fedonenko O., Yesipova N., Sharamok T. The accumulation of heavy metals and cytometric characteristics features of red blood cells in different ages of carp fish from Zaporozhian Reservoir. *International Letters of Natural Sciences*. 2016. V. 53. P. 72–79.
11. Шарамок Т. С., Курченко В. О., Колесник Н. Л. Гісто-морфометрична структура гепатопанкреасу деяких коропових риб (Cyprinidae Rafinesque, 1810) Запорізького водосховища. *Рибогосподарська наука України*. 2017. 4(42). С. 75–84.
12. Шарамок Т. С., Курченко В. О., Маренков О. М. Гістологічна характеристика зябер та нирок карася сріблястого з Запорізького (Дніпровського) водосховища. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. В. Гнатюка. Сер. Біологія*. 2021. Вип. 1–2 (81). С. 53–58.
13. Федоненко О. В., Ніколенко Ю. В. Характеристика фітопланктону Запорізького водосховища за період існування (огляд). *Рибогосподарська наука України.* 2019. 2(48). С. 21–41.
14. Гідроекологічна оцінка Запорізького водосховища / Т. С. Шарамок та ін. *Питання біоіндикації та екології*. 2019. № 24(2). С. 147–161.
15. Новіцький Р. О. Масштаби, спрямованість та наслідки інвазій чужерідних видів риб у дніпровські водосховища : дис. … д-ра біол. наук : 03.00.10, Інститут гідробіології НАНУ. Київ, 2019. 367 с.
16. Marenkov O., Nesterenko O. Estimation of physiological and biological indices and consequences of biological invasion of the pumpkinseed *Lepomis gibbosus* (Linnaeus, 1758) in the Zaporizke Reservoir, Ukraine. *World Scientific News*. 2018. Vol. 95. P. 21–51.
17. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). М. : Пищ. пром-сть, 1966. 376 с.
18. Методика збору і обробки іхтіологічних і гідробіологічних матеріалів з метою визначення лімітів промислового вилучення риб з великих водосховищ і лиманів України / С. П. Озінковська та ін. К.: ІРГ УААН, 1998. 47 с.
19. Брюзгин В. Л. Методы изучения роста рыб по чешуе и отолитам. К. : Наукова думка, 1969. 186 с.
20. Маренков О. М. Особливості відтворення основних промислових коропових риб Запорізького (Дніпровського) водосховища в сучасних екологічних умовах: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук : 03.00.10. Київ, 2016. 24 с.
21. Нестеренко О. С., Маренков О. М. Екологія та біологія розмноження сонячного окуня *Lepomis gibbosus* (Linnaeus, 1758) в умовах Запорізького (Дніпровського) водосховища. *Сучасні проблеми теоретичної і практичної іхтіології* : Матер. X Міжнар. іхтіологічної наук.-практ. конф. Херсон : ФОП Грінь Д. С., 2017. С. 246–250.

УДК 911.2(447.43)
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.19

ПРИРОДНО-ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА СУЧАСНИЙ СТАН ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ В ОТГ ХМЕЛЬНИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ

Питуляк М.Р.[1], **Питуляк М.В.**[1], **Жулканич Б.М.**[2], **Бартко С.Л.**[1]
[1]Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. М. Кривоноса, 2, 46000, м. Тернопіль
myroslava.pytuliak@gmail.com
[2]Ужгородський національний університет
пл. Народна 3, 88000, м. Ужгород
myroslava.pytuliak@gmail.com, mykola.pytuliak@gmail.com,
boris.zhulkanich@uzhnu.edu.ua, boris.zhulkanich@uzhnu.edu.ua

У статті представлено аналіз сучасного стану землекористування в Хмельницькій області в межах новостворених ОТГ. З'ясовано, що у земельному фонді Хмельницької області сільськогосподарські землі займають 76,14% території області, що свідчить про високий рівень її освоєння. На території Хмельницької області простежуються деякі територіальні відмінності. Слід зазначити, що по всій території області переважають сільськогосподарські землі, але найбільшу частку вони займають в Хмельницькому районі. Рілля переважає в центральній частині області, оскільки цьому сприяють природні умови та родючі чорноземи. Пасовища та сіножаті займають значну частку (13,8%) в структурі земельного фонду області і найбільші площі займають на півдні та півночі області. Багаторічні насадження займають 1,78% території і найбільш поширенні на півдні області. Частка забудованих земель становить 4,15%, найбільші території вони займають в межах Хмельницької, Нетішинської та Волочиської ОТГ. Найбільші площі займають ліси на півночі області. Загальна площа лісів області складає 288,39 тис. га.

Проведено аналіз екологічної стійкості земельних угідь Хмельницької області. Цей показник залежить від площі угідь різних видів. Значні територіальні відмінності простежуються щодо показника екологічної стійкості. Шепетівський район характеризується найбільшою екологічною стійкістю земельних угідь. Даний коефіцієнт становить тут 1,31.

Представлено результати дослідження екологічного стану земельних ресурсів району та укладено картосхему екологічної стійкості земельних угідь в новостворених територіальних громадах. Територія області характеризується розбалансованою структурою землекористування,особливо у центральній частині. *Ключові слова:* земельні ресурси, сільськогосподарські угіддя, землекористування, екологічна стійкість.

Natural and ecological features and the current state of land use in Khmelnytskyi region. Pytuliak M., Pytuliak M., Zhulkanych B., Bartko S.

The article represents the analysis of the current state of the land use in Khmelnytskyi region within the newly created UTC (United Territorial Community). It has been found out that in the land fund of Khemelnytskyi region the agricultural land occupies 76.14% of the territory of the region, which indicates a high level of its development. There are some territory differences over the Khmelnytskyi region. It should be noted that agricultural land prevails throughout the region, but the largest share belongs to Khmelnytskyi district. Arable land prevails in the central part of the region, as this is facilitated by natural conditions and fertile black soils. Pastures and hayfields occupy a significant share (13.8%) in the structure of the land fund of the region and they also take up the largest areas in the south and the north of the region. The share of perennial plantations is 4.15%, the largest areas are occupied in Khmelnytskyi, Netishyn and Volochysk UTCs. The largest areas are taken up by forests in the north of the region. The total area of forests in the region is 288.39 thousand hectares

The analysis of the ecological sustainability of the land in Khmelnytskyi region has been carried out. This index depends on the area of the plots of land of different kinds. Significant territorial differences are traced as for the index of environmental sustainability. Shepetivka district is characterized by the largest ecological stability of land with the index 1.31.

The results of the study of the ecological state of land resources of the district are presented and the map scheme of the ecological sustainability of the land in newly created UTCs has been made up. The territory of the region is characterized by the unbalanced structure of land use, especially in the central part. *Key words:* land resources, agricultural lands, land use, ecological sustainability.

Постановка проблеми Питання стану та ефективності використання земельних ресурсів як в Україні так і в окремих регіонах залишається невирішеним впродовж багатьох років, не дивлячись на проведення земельної реформи та обґрунтування засад сталого розвитку землекористування в Україні. Екологічний стан земельних ресурсів погіршується часто через використання неефективних технологій, високий рівень розораності, деградацію ґрунтів та ін.. Зміна форм власності на землю не завжди призводить до покращення використання земельних ресурсів, особливо в аграрному секторі.

Актуальність дослідження. Зростання антропогенного впливу на земельні ресурси призводить до погіршення їх екологічного стану, зниження родючості ґрунтів. У зв'язку із цим проблема науково-обгрунтованого використання земельних ресурсів, стабілізація їх екологічного стану на території як окремих ОТГ так і області в цілому є актуальною. Для вирішення цих проблем

необхідним є проведення моніторингу за станом земельних ресурсів.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Тематика даного дослідження відповідає планам науково-дослідних робіт, які проводяться на кафедрі географії і методики її навчання ТНПУ ім. В.Гнатюка («Географічні дослідження природно-господарських геосистем Поділля»). Аналіз сучасного стану земельних ресурсів в ОТГ Хмельницької області має важливе наукове і практичне значення та потребує подальших досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Методологічною основою дослідження земельних ресурсів є праці українських вчених-географів, економістів, ґрунтознавців, екологів в яких розглядається поняття «земельні ресурси», «сільськогосподарське землекористування», «екологічна стійкість земельних ресурсів» та ін. Питання стану земельних ресурсів, їх системно-структурного аналізу висвітлено в працях А.М. Третяка, В.Ф. Паська, В.В. Горлачука, З.П. Паньківа та інших. Дослідження земельних ресурсів Хмельницької області як складової природно-ресурсного потенціалу представлені в працях І.Є. Журби. Особливості структури земельних ресурсів та їх використання, земельно-ресурсний потенціал Хмельницької області розглядаються в публікаціях П.О.Сухого, В.В. Лапчинського.

Новизна. Вперше проведено аналіз сучасного стану земельних ресурсів в новоутворених ОТГ та адміністративних районах Хмельницької області. Визначено екологічну стійкість земельних угідь та охарактеризовано територіальні відмінності, побудовано картосхему екологічної стійкості земельних ресурсів Хмельницької області.

Методологічне або загальнонаукове значення проведеного дослідження полягає в аналізі просторових особливостей сучасного стану земельних ресурсів та землекористування в новоутворених ОТГ на території Хмельницької області.

Викладення основного матеріалу. Велика кількість науковців в сфері вивчення землекористування розглядають поняття «земля» та «земельні ресурси» як синоніми. Але все ж таки, деякі вчені роблять розмежування між цими двома поняттями. Так, в працях О.І. Коваліва та А.М. Третяка вони наполягають на «на необхідності розглядання землі не лише як об'єкта, який використовується в сільськогосподарській діяльності та є просторовим базисом для розміщення об'єктів нерухомості, а який також являється джерелом природних ресурсів, які потрібно окремо оцінювати, вимірювати та використовувати. Розмежування понять «земля» та «земельні ресурси» дасть змогу окремо оцінювати ефективність використання землі, як просторового базису і окремо як джерела природних ресурсів» [4].

За А.М. Третяком «землекористування – це просторове використання землі в балансо-круговому процесі взаємовідносин земля – користувач, у якому користувач через залучення, відтворення та охорону впливає на землю, а земля також через процес віддачі (продукти харчування і не тільки) впливає на поведінку користувача» [6].

Основними чинниками розвитку землекористування є: природні чинники (ґрунти, рослинний світ, тваринний світ, гідрографічний режим, клімат); фізичні чинники (місце розташування, рельєф, контурність, конфігурація (ламаність меж), природна та антропогенна роздрібненість, компактність, площа); економіко-правові чинники (цільове призначення, режим використання, форма власності, тип землекористування тощо).

Сучасний рівень розвитку сільського господарства став основною рушійною силою трактування терміну «землекористування». Зміст терміну може трактуватись по різному в залежності від того, яка категорія для використання земель буде вибрана та в якій галузі її використовують [6].

Серед найважливіших природних чинників, які впливають на землекористування в Хмельницькій області варто виділити рельєф, клімат та ґрунтовий покрив.

Загалом в Хмельницькій області спостерігається хвилястий рельєф, поверхня розчленована ярами, балками та долинами річок.

Геренчук К.І. в області виділяє такі геоморфологічні округи та райони: Шепетівське Полісся, Горинь-Случький округ, Верхньобузький височинний округ, Придністровський височинний округ.

Клімат Хмельницької області сформувався під впливом різних чинників: географічної широти, сонячної радіації, повітряних мас та рельєфу. В загалом клімат області помірно-континентальний з теплим літом та м'якою та зимою. Середньорічні температури коливаються від 6,8 °С до 7,3 °С, збільшуються з півночі на південь. Найтепліший місяць – липень, найхолодніший – січень. Кількість опадів становить 530–670 мм на рік та збільшуються з півдня на північ. Переважаючими вітрами є північно-західні та північно-східні вітри [5].

Ґрунтовий покрив області представлений 50 різновидами ґрунтів. Найбільші площі займають чорноземи типові, що утворились на різних ґрунтоутворюючих та підстилаючих породах. Чорноземи типові утворились на лесах та лесовидних суглинках під степовою рослинністю, які поширені в центральній частині області.

Площа земельного фонду області становить 2062,9 тис. га, що 3,4% від площі України. Землі Хмельницької області поділяються на: сільськогосподарські землі (76,14%); забудовані землі (4,15); ліси та інші лісовкриті площі (13,98%); відкриті заболочені землі (1%); землі водного фонду (2,01%) та інші землі (2,72%) (рис. 1).

Сільськогосподарські угіддя області (рис. 2) займають 1570,62 тис. га або 76,14% від загальної площі

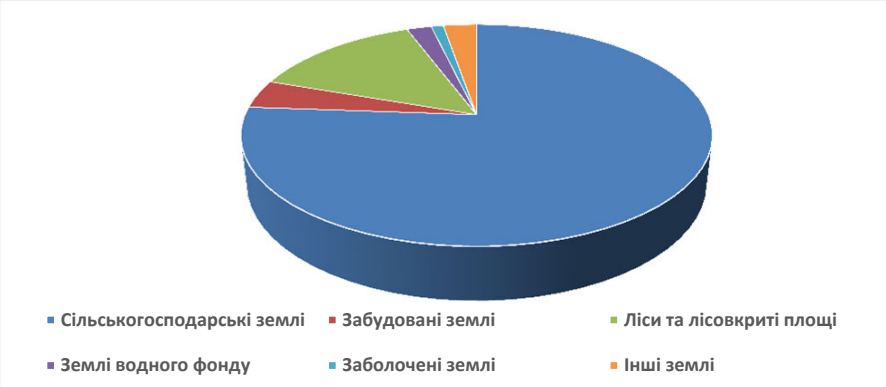


Рис. 1. Структура земельного фонду Хмельницької області

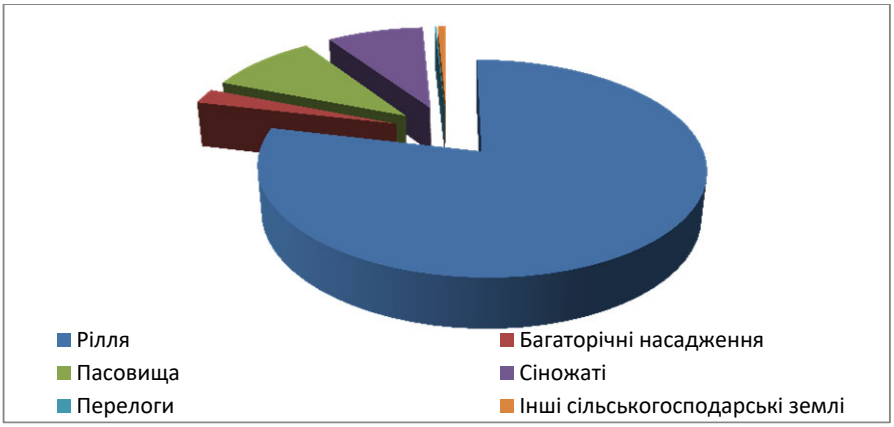


Рис. 2. Структура сільськогосподарських земель Хмельницької області

земель. У їх структурі рілля займає близько 78,64%, багаторічні насадження – 2,34%, сіножаті – 8,53%, пасовища – 9,61%, перелоги – 0,14% та інші сільськогосподарські землі – 0,74%.

Оскільки, область має значну протяжність з півночі на південь спостерігається деякі відмінності в структурі земельного фонду. Тому доцільно охарактеризувати земельний фонд і структуру сільськогосподарських земель в адміністративних районах.

Площа Хмельницького району становить 1076,83 тис. га (52,19% від площі області) та включає в себе 28 об'єднаних територіальних громад. Так, в структурі земельного фонду значну площу займають сільськогосподарські землі 895,46 тис. га, або 83,16%. Рілля займає 781,24 тис. га, або 72,55% від площі території району. Багаторічні насадження 1,76 тис. га (1,64%), пасовища та сіножаття 76,45 тис. га (7,1%), перелоги займають незначні території 0,65 тис. га, а землі під сільськогосподарськими будівлями та шляхами – 18,51 тис. га. Найбільшу частку сільськогосподарські угіддя займають у Гвардійській – 90,1%, Теофіпільській – 89,25% ОТГ. У Розсошанській та Наркевицькій ОТГ цей показник становить біля 87%. Дещо меншу частку вони займають на сході району – Летичівська, Вовковинецька, Віньковеська ОТГ близько 70%, але найменша частка спостерігається в Хмельницькій ОТГ – 58%.

Площа забудованих земель становить 52,01 тис. га. і займають вони найбільшу частку в таких територіально-об'єднаних громадах – Хмельницькій – 26,97% та Волочиській ОТГ – 13,59%, а найменшу – в Летичівській – 3,1% та в Гвардійській – 3,6%.

У межах Хмельницького району площа лісів становить 7,76 тис. га. Найбільшу частку ліси займають в Летичівській та Віньковецькій ОТГ біля 25%, а найменша частка спостерігається у Волочиській та Гвардійській ОТГ.

Землі, що вкриті водами в межах Хмельницького району займають 20,02 тис. га. В Городоцькій, Антонінській та Теофіпільській ОТГ частка цих земель є найнижчою в районі, а найбільша – в Меджибідзькій – 6,25% та Хмельницькій – 4,65% ОТГ. Площа заболочених земель становить 6,99 тис. га. Найбільша частка цих земель в Деражнянській – 3,01%, а найменша в Щиборівській – 0,15%.

Шепетівський район складається із вісімнадцяти територіальних громад. Площа земельного фонду становить 535,22 тис. га, або 25,94% від площі області. Сільськогосподарські землі займають 360,14 тис. га, або 67,29%. Рілля займає територію 252,62 тис. га, що 47,2% від площі району, багаторічні насадження – 1,56%, сіножаті та пасовища – 18,89%,

площа перелогів 0,36 тис. га, а сільськогосподарські будівлі та шляхи 12,94 тис. га. Найменшу частку сільськогосподарські землі займають у Славутській – 23,11% та Нетішинській ОТГ – 32,6%, а найбільшу – в Сахновецькій 86% та Ямпільській ОТГ – 84%.

Забудовані землі в межах району займають 19,64 тис. га, або 3,67%. Лідерами у відсотковому відношенні є Нетішинська – 15,67% та Славутська ОТГ – 22,86%, натомість аутсайдерами є Улашанівська – 3,96% та Крупнецька – 3,45%.

Слід зазначити, що ліси займають значні території. Їх частка становить 23,89% від площі району або 44,33% від площі лісів області. Так, в деяких ОТГ площа лісів та лісовкритих земель може досягати до 50% від їх площі, а саме – Понінківська – 52,83%, Славутська – 50,69%, Михайлютська – 43,86%, Шепетівська – 44,89%, Плужнецька – 47,93%. Мінімальна частка спостерігається в Сахновецькій – 4,79%, Ямпільській – 4,86% громадах.

Землі водного фонду займають 12,41 тис. га, або 2,32%. Значні їх площі в межах таких ОТГ: Ізяславській – 6,89%, Полонській – 4,52%, Плужненській – 1,89% та Понінківській – 2,05%.

В межах Хмельницької області найбільші площі заболочених земель спостерігаються в Шепетівському районі, що пов'язано з його природними умовами. В Понінківській ОТГ цей показник становить 3,47% від її площі, Плужнецькій – 3,07%. Найнижчий показник в Сахновецькій ОТГ – 0,26%.

Найменшим за площею є Кам'янець-Подільський район 452,45 тис. га, який включає в себе п'ятнадцять ОТГ. В структурі земельного фонду переважають сільськогосподарські землі. Їх площа становить 358,20 тис. га. Рілля займає 277,94 тис. га, багаторічні насадження 9,68 тис. га, пасовища та сіножаті 61,03 тис. га, перелоги 0,37 тис. га, сільськогосподарські будівлі займають 7,59 тис. га. Найбільша частка сільськогосподарських земель в Чемеровецькій – 86,49%, Солобковецькій – 86,4%, Новодунаєвецькій ОТГ – 84,37%. Найменша – в Кам'янець-Подільській ОТГ – 53,23% та Староушицькій – 75,21%.

Забудовані землі займають територію в 17,87 тис. га. Найвища частка в центральній ОТГ – Кам'янець-Подільській – 28,70%, а найнижча в Закупненській – 4,21%. Лісистість території становить близько 10%, що нижче ніж в області. Ліси охоплюють 46,55 тис. га. Найбільші площі спостерігаються на півдні району вздовж річок.

Землі вкриті поверхневими водами займають 10,45 тис. га. Найбільша частка в Слободсько-Ключієвецькій та Жванецькій територіальній громаді, а найменша в Гуменецькій Заболочені землі охоплюють не значні території 0,74% та найбільш поширенні в дельтах рік.

Впродовж 2005–2020 років земельна структура області не зазнала значних змін. Так, у структурі сільськогосподарських угідь зменшились площі ріллі на 6,36 тис. га, багаторічних насаджень на 4,15 тис. га та перелогів на 0,52 тис. га. Натомість пасовища та сіножаті збільшились на 12,4 тис. га. Така тенденція як зменшення ріллі та збільшення пасовищ і сіножатей може пояснюватись тим, що були проведені заходи для відновлення розораних земель.

Також прослідковується збільшення площ в таких категоріях, як ліси та лісовкриті площі та землі під водою, відповідно на 3,09 та 1,06 тис. га.

Зменшились території забудованих земель на 0,79 тис. га та інших земель на 1,65 тис. га. Площа заболочених земель зменшилась не суттєво на 0,08 тис. га [2].

В межах області спостерігається певні відмінності щодо показників землезабезпеченості (табл. 1).

На одну особу в Хмельницькій області припадає 1,64 га земель, в тому числі сільськогосподарських земель – 1,25 га, ріллі – 0,99 га та лісів – 0,23 га. Слід зазначити, що область характеризується вищими показниками землезабезпечення, ніж в Україні загалом. Якщо розглядати у розрізі адміністративних районів то найвища землезабезпеченість в Шепетівському районі – 1,88 га, а в Хмельницькому та Кам'янець-Подільському районі цей показник становить 1,57 га. Сільськогосподарських земель та ріллі припадає найбільше на одну особу в Хмельницькому районі – 1,30 га та 1,14 га. Лісів найбільше припадає на одну особу в Шепетівському районі, а найменше в Кам'янець-Подільському.

Одним із показників, який відображає екологічну збалансованість території є показник екологічної стійкості. Оцінка екологічного стану земельних угідь Хмельницької області нами виконана на основі методики Медведєва В.В. і Лактіонової Т.М. (1998 р.).

Таблиця 1

Забезпеченість земельними ресурсами на одного мешканця

Об'єкт	Хмельницький район	Шепетівський район	Кам'янець-Подільський район	Хмельницька область	Україна
Площа земельного фонду, га	1,57	1,88	1,57	1,64	1,32
Сільськогосподарські землі, га	1,30	1,27	1,24	1,25	0,93
Рілля, га	1,14	0,89	0,96	0,99	0,67
Ліси, га	0,12	0,45	0,11	0,23	0,23

Коефіцієнт екологічної стійкості земельних угідь Хмельницької області (рис. 3) становить 0,85. Перш за все, даний показник залежить від величини площ стійких угідь (пасовищ, сіножатей, лісів та боліт).

Так, найнижчі показники цього коефіцієнту в центральній частині області. В Хмельницькому районі (рис. 3) до нестійких угідь належать землі Гвардійської (0,17), Старосинявської (0,17), Староостропільської (0,24), Красилівської (0,25), Теофіпільської (0,29), Волочиської (0,27), Городоцької (0,22) та Розсошанської ОТГ (0,26). На схід та північний-схід даний показник підвищується, оскільки, частка лісів, пасовищ та сіножатей збільшується. До умовно-стійких належать земельні ресурси Летичівської (0,71), Віньківецької (0,88) та Зіньківської ОТГ (0,82).

На північ та південь коефіцієнт екологічної стійкості підвищується, оскільки збільшуються площі стійких земель. Середній показник екологічної стійкості земельних угідь для Кам'янець-Подільського району становить 0,84, що дає змогу віднести землі до умовно стійких. На півдні та південному заході переважають стійкі та умовно-стійкі угіддя, оскільки значну частку займають пасовища та сіножаті, а саме на території таких ОТГ: Китайгородська (1,04), Жванецька (1,13), Гуменецька (1,15), Смотрицька (1,24), Оринінська (1,24), Закупненська (1,14), Слобдсько-Кульчієвецька (0,95), Староушицька (0,96) та Гуківська (0,72). У межах району до нестійких угідь належать землі Чемеровецької ОТГ (0,22), оскільки рілля займає 72% від площі території.

Північний район характеризується найбільшою екологічною стійкістю земельних угідь, там коефіцієнт становить 1,31. Більша частина Шепетівського району представлена екологічно стійкими землями. В Плужненській, Ізяславській, Шепетівській, Судилівській, Славутській, Нетішинській, Крупнецькій, Михайлюцька, Понінківській ОТГ коефіцієнт становить більше 1. Оскільки на даній території значні площі лісів, пасовищ, сіножать та боліт. На півдні району землі відносяться до нестійких та слабостійких угідь.

Отже, показник екологічної стійкості земельних угідь у Хмельницькій області характеризується певними територіальними відмінностями: найнижчий – в центральній частині області і підвищується на північ і на південь. Це пов'язано із природними чинниками території.

Головні висновки. У земельному фонді Хмельницької області сільськогосподарські землі займають 76,14% території області, що свідчить про високий рівень її освоєння. На території Хмельницької області простежуються деякі територіальні відмінності. Слід зазначити, що по всій території області переважають сільськогосподарські землі, але найбільшу частку вони займають в Хмельницькому районі. Рілля переважає в центральній частині області, оскільки цьому сприяють природні умови. Пасовища та сіножаті займають значну частку -13,8% в структурі земельного фонду області і найбільші площі займають на півдні та півночі області. Багаторічні насадження займають 1,78% території і найбільш поширенні на півдні області. Частка забудованих земель становить 4,15%, найбільші території вони займають в межах Хмельницької, Нетішинської та Волочиської ОТГ. Ліси сконцентровані переважно на півночі області (в зоні Малого Полісся). Територія області характеризується розбалансованою структурою землекористування,особливо у центральній частині. Значні територіальні відмінності простежуються щодо показника екологічної стійкості

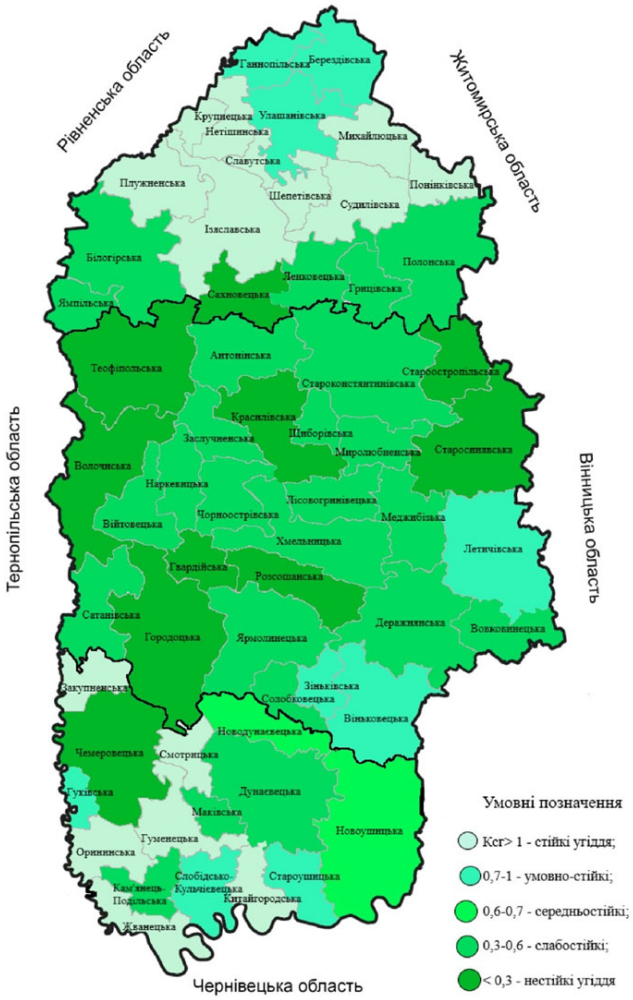


Рис. 3. Екологічна стійкість земельних угідь Хмельницької області

Перспективи використання результатів дослідження. Проблема оптимізації структури землекористування залишається актуальною і потребує подальших досліджень. Важливим є проведення комплексної оцінки екологічного стану земельних ресурсів в контексті екологічної збалансованості території.

Література

1. Головне управління держгеокадастру в Хмельницькій області. URL: https://khmelnytska.land.gov.ua
2. Екологічний паспорт Хмельницької області. Хмельницький за 2020 р. URL: https://www.adm-km.gov.ua/wp-content/uploads/
3. Земельні ресурси України. / За ред. В.В. Медведєва, Т.М. Лактіонової. К. : Аграрна наука, 1998. 150 с.
4. Ігнацевич С. П. Сутність категорій «земля» та «земельні ресурси» в процесі формування збалансованого землекористування. Агросвіт. 2017. № 17. С. 49–52. URL: http://www.agrosvit.info/pdf/17 2017/10.pdf
5. Природа Хмельницької області: монографія / за ред. К.І. Геренчука. Львів : Вища школа, 1980. 152 с.
6. Третяк А.М., Будзяк О.С., Третяк В.М. Екологія землекористування : навч. посіб. / за ред. А.М Третяка. Київ : Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017. 178 с.

UDC 556.3:551.435.82
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.20

HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS OF KARST DEVELOPMENT IN CARBONATE ROCKS WITHIN THE SVIATOHIRSK BRAHIANTICLINAL

Sukhov V.V.
V. N. Karazin Kharkiv National University
Svobody Sq., 4, 61022, Kharkiv
donsanchos77@gmail.com

In the process of filtration, groundwater dissolves the mineral substance of carbonate rocks or leaches from them individual components. The geodynamic consequence of such chemical activity of groundwater in carbonate rocks is karst, which causes the destruction of rocks. Groundwater plays an exceptional role in the chemical transformation of carbonate rocks. Geochemical work of groundwater consists of leaching and dissolution and removal of mineral matter from them. Under natural conditions, the parameters of «rock – water» system, within which karst formation processes take place, are quasi-stable, and the dissolution of mineral matter in groundwater is determined mainly by the concentration gradient between the liquid phase and the saturated solution layer formed at its contact with carbonate matter of rocks. The main factor in the process of karst formation in carbonate rocks is carbon dioxide, which is present in water in free and soluble forms. Infiltration water and groundwater contained in karst reservoirs constantly dissolve and transfer the substance of carbonate rocks. This leads to a constant increase in the size of karst cavities, which, in turn, is a significant factor in increasing the intensity of hydrogeodynamic processes in the underground hydrosphere. Technogenic karst is formed under conditions of anthropogenic impact on the geological environment. The most common reason for this is pollution of surface water and groundwater.

The establishment of hydrogeological factors of karst formation in carbonate rocks in this article is considered in view of the solution of such a significant problem as the buildings protection of Sviatohirsk monastery from destruction, which is currently intensive. This religious complex is located within the Sviatohirsk brachyanticlinal. The presented approach can also be used for built-up areas with similar ecological-hydrogeological and technogenic conditions. *Key words:* groundwater, change of chemical composition, discharging of deep waters, heat and mass transfer, karst, carbonate rocks, dissolution, tectonic faults.

Гідрогеологічні умови розвитку карсту у карбонатних породах у межах Святогірської брахіантикліналі. Сухов В.

В процесі фільтрації підземні води розчиняють мінеральну речовину карбонатних гірських порід або вилуговують з них окремі компоненти. Геодинамічним наслідком такої хімічної діяльності підземних вод у карбонатних породах є карст, що спричиняє руйнування порід. Підземні води відіграють виняткову роль у хімічному перетворенні карбонатних порід. Геохімічна робота підземних вод складається з вилуговування і розчинення та виносу з них мінеральної речовини. У природних умовах параметри системи «порода – вода», в межах якої відбуваються процеси карстоутворення, мають квазістабільний характер, а розчинення мінеральної речовини у підземних водах визначається, головним чином, величиною градієнта концентрації між рідинною фазою та шаром насиченого розчину, що утворюється на її контакті з карбонатною речовиною порід. Головним чинником процесу карстоутворення у карбонатних породах є двооксид вуглецю, що присутній у воді у вільній та розчинній формах. Інфільтраційні та підземні води, що вміщуються у карстових колекторах, постійно розчинюють та переносять речовину карбонатних порід. Це призводить до постійного збільшення розмірів карстових порожнин, що, у свою чергу, є суттєвим фактором збільшення інтенсивності гідрогеодинамічних процесів у підземній гідросфері. Техногенний карст формується в умовах антропогенного впливу на геологічне середовище. Найчастіше причиною цього є забруднення поверхневих та підземних вод.

Встановлення гідрогеологічних чинників карстоутворення у карбонатних породах у даній статті розглядається з огляду на вирішення такої значної проблеми, як захист споруд Святогірського монастиря від руйнації, який наразі має інтенсивний характер. Даний релігійний комплекс знаходиться у межах Святогірської брахіантикліналі. Також представлений підхід можна використовувати для забудованих територій із подібними еколого-гідрогеологічними та техногенними умовами. *Ключові слова:* підземні води, зміна хімічного складу, розвантаження глибинних вод, тепломасоперенесення, карст, карбонатні породи, розчинення, тектонічні порушення.

Formulation of the problem. Groundwater is an active factor in geodynamic processes, the result of which is, among other things, such a process as karst of carbonate rocks. The waters involved in these phenomena are predominantly infiltrative, although, under certain conditions, in areas of ruptured fluid-conducting tectonic faults, they may have deep formation and include deep fluids. These waters are both pressureless and pressure. They are characterized by anomalous parameters of chemical composition, mineralization, as well as other physical-chemical parameters. The process of karst, which poses significant threats to buildings and constructions, occurs mainly under the action of free water exchange, the horizons and complexes of which are in the near-surface, disturbed by weathering, part of lithosphere. These waters have high filtration rates and have a direct connection with the day surface. Infiltration waters of free water exchange zone include “top water”, groundwater of Quaternary sediments, as well as water circulating in the most weathered

upper part of the marl-chalk layer of Upper Cretaceous to depths of 5–10 to 100–150 m, and sometimes more [10, 16]. Other natural factors (tectonic, lithological, geomorphological) also influence these geodynamic processes to a large extent. Groundwater is characterized by two main types of geological activity – physical (mechanical) and chemical (soluble), which, respectively, determines the development of such a geodynamic process in carbonate rocks as karst. Very often, both mechanical and chemical activities of groundwater occur simultaneously. Therefore, determining the role of each of these processes in the destruction of carbonate rocks requires field observations, laboratory studies and theoretical justifications [15].

The relevance of research. Karst is one of the two most important hydrogeodynamic processes in carbonate rocks, associated with the processes of their leaching and dissolution by groundwater. Karst processes not only cause chemical and physical destruction of rocks, but also determine the intensity of migration and concentration of chemical elements and compounds in aqueous solutions and significantly affect the formation of the chemical composition of groundwater. Solving the problem of carbonate karst allows to solve theoretical and practical problems: calculation based on chemical thermodynamics of karst formation energy; determining the direction and intensity of karst development; the influence of carbonate karst on the relief with the formation of its specific "karst forms"; calculation of natural geological risks associated with karst processes for buildings and constructions. Solving these problems determines the relevance of this paper [13].

Sviatohirsk brachyanticline is located on the northern side of Bakhmut depression in the eastern part of Dnieper-Donetsk depression. Marl-chalk sediments north of Sviatohirsk are exposed on the right bank of Siversk Donets river in the form of a rock up to 100 m high with the historical and architectural complex of Sviatohirsk Monastery located on it. Based on the actual material of studies of geodynamic processes involving groundwater and their effects in the Upper Cretaceous rocks on the Sviatohirsk brachyanticline, we considered the hydrogeological features of karst in carbonate sediments to solve problems of protection of buildings from destruction, which is very relevant today [17].

Analysis of recent research and publications. A modern scheme of deep faults in the study region was proposed by V. I. Skarzhinsky (1973). Subsequently, in 1975, this scheme was somewhat improved [7]. The tectonic activation of region, which took place at the Mesozoic stage of geological development, was analyzed in detail by V. Konashov (1983). In 1986, a map of modern tectonic movements of the earth's crust was compiled, which allowed to determine the absolute indicators of geodynamic landslides of various geological structures, including Sviatohirsk brachyanticline [21].

The papers of V. G. Bilokon are devoted to neotectonic movements in the region, deep sources of geodynamic energy, as well as substantiation of point of view that the Siversk Donets river basin is a geodynamic system that reflects processes of great depths [1, 2, 3]. The fluid regime of existing in the region fault zones was also considered in [7, 8, 9], in which the theoretical basis for the study of geodynamic processes in the system "carbonate rocks – groundwater" was constructed.

The results of special studies of karst in the marl-chalk layer of Upper Cretaceous were published by V. V. Sukhov and V. G. Suyarko (2012, 2015, 2017, 2018). In particular, a conceptual synergetic geological and hydrogeological model of suffusion and karst development in carbonate rocks and the territory of Sviatohirsk monastery was proposed, which takes into account both exogenous and endogenous factors of geodynamic processes development [17]. This is a serious basis for predicting and studying the development of suffusion-karst phenomena in areas of tectonically activated faults [14].

Description of the study. Karst formation, which occurs due to the soluble action of water, is one of the main landscape-forming phenomena [9, 11]. But within the marl-chalk stratum, this process is not the main factor in the formation of relief, although it plays an important role in the development of cracks and cavities of marl-chalk layer. Karst is associated with the formation of surface depressions, grottoes and other geomorphological forms that arose in this carbonate Upper Cretaceous massif due to chemical reactions in the system "rock – water" [6].

It should be noted that the question of existence within the marl-chalk layer of carbonate karst until recently was open, because previous studies have found only active solid runoff associated with suffusion phenomena (Storchova A. M., Molodan V. O., 1982, et al). In the process of field observations, we have established the facts that indicate the development of carbonate karst here, due to the chemical interaction in the system "rock – water". The most important factors in the karst development are the dynamics and temperature of groundwater, their chemical and gas composition, which provide the intensity of chemical reactions with the dissolution of carbonate rocks [11, 23].

According to our observations, water exchange systems, which were formed in the Upper Cretaceous sediments, led to the formation of two types of karst here – hypergenic (epicarst) and hypogenic (endocarst) [12, 17]. If the development of karst first type is associated mainly with infiltration waters, the second type of karst is due to the discharge of water from deep horizons and deep fluids and, in particular, carbon dioxide [5, 22]. The peculiarity of karst development is the constant acceleration of this process intensity in time and the increase in the volume of karst rocks in space. This trend is mainly provided by the constant expansion of groundwater filtration channels (due to the dissolu-

tion of rocks) and, accordingly, the acceleration of their movement in the fracture-cavity space [6].

The interaction of infiltration and pressure water of different chemical composition with carbonate sediments leads to the appearance of cavities of different sizes and shapes, the parameters of which depend on the permeability of rocks, their fracturing, filtration rate and aggressiveness of water and gases, and existence time of system "groundwater – carbonate rocks". At the same time, metasomatosis processes can be observed, which are manifested in the recrystallization of carbonate rocks – hemolitogenesis with the formation of amorphous and sometimes crystalline carbonate [17]. Among the karst landforms associated with the epicarst, the most common are funnels with a depth of several centimeters to 0.5-1.0 m, which are often found on terraces (chalk ledges) and relatively inclined slopes. Curry cracks filled with "chalk powder" are also installed here. Similar forms, but with crusts of amorphous and sometimes cryptocrystalline calcite (aragonite) are confined to the tectonic cracks that cut through the outcrops of this stratum. The latter are manifestations of endo- or hypokarst. The consequences of ancient epicarst include, in particular, the grottoes, which are associated with both modern and ancient water levels in the Siversk Donets river [13].

In the marl-chalk stratum of Upper Cretaceous within the Sviatohirsk monastery, groundwater is confined to its upper fractured zone, the roof of which is quite uneven [4]. In the areas of near-surface occurrence of zone, the modern relief repeats its outlines. The formation of fractured zone in the Upper Cretaceous rocks is associated with both ancient and modern processes of geological weathering, in which infiltration waters played an important role. The thickness of weathered fractured zone up to 5–10 m, as well as its overlap with Quaternary sandy-clay sediments and soils created the preconditions for the formation of aquifer within the chalk ledge. The filtration coefficients of groundwater within it vary from 0.01 to 15.0 m/day, and the flow rates of wells – from 5.0–10.0 to 30.0–40.0 dm^3/s. In areas of tectonic fracture (sometimes tens of centimeters wide), vertical discharge of Paleozoic groundwater is often observed along wells. It should be noted that the waters of Cretaceous sediments are characterized by neutral or close reaction (pH 6.8–7.2), mineralization in the range of 3–5 g/dm^3 and sodium bicarbonate composition. Instead, Paleozoic groundwater has a more alkaline reaction (pH 7.6–8.0), higher (up to 10 g/dm^3) mineralization and other chemical composition – from sulfate-chloride mixed cationic composition to sodium bicarbonate, and in some cases even sodium chloride. An important geochemical feature of such waters is the anomalous amounts of both free and soluble carbon dioxide [16]. All this creates favorable conditions for the karst processes development within the marl-chalk stratum, on which are the ancient monastery buildings.

The aquifer of marl-chalk layer within the region is widespread in both the Bakhmut and Kalmius-Toretsk depressions. Its greatest thickness and water capacity is observed in syncline (interdome) deflections, and the aquifer hydraulic connection is fixed not only with alluvial and groundwater, but also the waters of Siversk Donets river in its valley. Groundwater flows here reach 69–83.3 dm^3/s at water level reductions up to 2–5 m [4]. In the watersheds, the Upper Cretaceous marl-chalk stratum is practically anhydrous. Some researchers attribute this to the absence of fracture zone [4]. However, this is probably due to the increased fracture of Upper Cretaceous rocks and the increase in thickness of free water exchange zone in these areas, and, consequently, the change in the regime of groundwater from pressure to non-pressure. In this case, pressureless or low-pressure (with a pressure of up to 10–20 m) water simply can not reach the watershed structures, which are sometimes at much higher (up to 100–150 m) hypsometric marks [4].

Studies of the groundwater chemical composition in the region of different genesis, selected from both the Upper Cretaceous aquifer and from the fractured zones allowed to determine their average composition and characteristics. These are mainly hydrocarbonate calcium (magnesium) waters with low (0.7–1.2 g/dm^3) mineralization and neutral reaction (pH 6.8–7.2). The CO_2 content in them on average ranges from 17–30 mg/dm^3, and the concentrations of trace elements do not exceed the background values [16]. The generalized Kurlov's equation for marl-chalk layer waters according to calculations of author can have such look:

M1,0 $\frac{HCO_3^- 60\ SO_4^{2-} 25\ Cl^- 15}{Ca^{2+} 55\ Mg^{2+} 30\ Na^+ + K^+ 15}$ pH 7,0; CO_2 17-30

However, against the background of hydrocarbonate and hydrocarbonate-sulfate calcium, magnesium waters with low mineralization, neutral pH and low content of trace elements and gases, there are often waters with other geochemical characteristics. Thus, a strong hydrogeochemical inversion associated with the upward discharge of chloride and chloride-sulphate waters is observed in the area of Petrivsk-Kreminsk fault. This indicates that the supply of such waters involves waters of deep aquifers, discharged within the Sviatohirsk structure [18, 19].

Main conclusions. 1. Karst is a geodynamic consequence of groundwater geological activity, which is manifested in the dissolution and leaching of rocks with the formation of liquid runoff. The following basic conditions are necessary for the karst development: a) physical – a significant thickness of carbonate rocks and low groundwater levels; b) chemical – alkalinity of groundwater of hydrocarbonate-sodium composition and the presence of soluble and free carbon dioxide.

2. Hydrogeological features of karst development in the study area are based on the role of fracture-cavity space in the filtration of groundwater of different formation and upward discharge of aggressive to carbonates

waters of deep aquifers and carbon dioxide, as well as adverse physical-chemical dissolution conditions of marl-chalk rocks.

Prospects for the use of research results. After establishing the main hydrogeological conditions of karst development in carbonate rocks on the territory of Sviatohirsk monastery, the next stage will be the establishment of technogenic factors of these processes activation – pollution of surface water and groundwater, intensification of water withdrawal, extension of water intake network.

References

1. Белоконь В. Г. Бассейн р. Северский Донец как геодинамическая система, отражающая процессы больших глубин. *Геологический журнал.* 1984. Т. 34. Вып. 5. С. 11–27.
2. Белоконь В. Г. Неотектонические движения в Донбассе и их связь со структурными элементами. *Материалы по геологии Донецкого бассейна:* книга. Москва, 1968. С. 11–15.
3. Белоконь В. Г. О глубинном источнике энергии углеобразования формации Донецкого бассейна. *Геологический журнал.* 1981. Т. 41. № 6. С. 88–99.
4. Гидрогеология СССР: у 6 т. Т. VI, Донбасс. Москва, 1971. 480 с.
5. Климчук А. Б. Гипогенный спелеогенез, его гидрогеологическое значение и роль в эволюции карста. Симферополь: ДИАЙПИ, 2013. 180 с.
6. Климчук А. Б. Эпикарст : гидрогеология, морфогенез и эволюция. Симферополь : Сонат, 2009. 112 с.
7. Лазаренко Е. К., Панов Б. С., Павлишин В. И. Минералогия Донецкого бассейна. Киев : Наукова думка, 1975. Ч. II. 502 с.
8. Лущик А. В., Морозов В. И., Милешин В. П. Подземные воды карстовых платформенных областей юга Украины. Киев : Наук. думка, 1981. 200 с.
9. Основы гидрогеологии. Геологическая деятельность и история воды в земных недрах / Е. В. Пиннекер, Б. И. Писарский, С. Л. Шварцев и др. Новосибирск : Наука, 1982. 239 с.
10. Соколов А. Д. Закономірності тріщинуватості крейдяних порід долини р. Сіверського Донця. *Доповіді АН УССР*, No. 7. 1963. С. 937–940.
11. Соколов Д. С. Основные условия развития карста. М.: Госгеолтехиздат, 1962. 321 с.
12. Сухов В. В., Суярко В. Г., Сердюкова О. О. Гідрогеологічні особливості карбонатного карсту. *ScienceRise.* 2015. No. 7/1(12). С. 23–27.
13. Сухов В. В., Суярко В. Г., Нємець К. А., Матвєєв А. В. Гідрогеодинамічні процеси у карбонатних породах. Частина II. Карст і його вплив на геологічне середовище. *Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія.Географія. Екологія».* 2018. Вип. 48. С. 173–184.
14. Сухов В. В., Суярко В. Г., Чуєнко О. В. Про зв'язок сучасних геодинамічних процесів у карбонатних породах з тектонічною активізацією Петрівсько-Кремінського розлому. *Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія».* 2017. Вип. 46. С. 56–61.
15. Суярко В. Г., Сухов В. В., Чуєнко О. В. Гідрогеодинамічні процеси у карбонатних породах. Частина I. Суфозія. *Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія».* 2017. Вип. 47. С. 64–70.
16. Суярко В. Г. Геохимия подземных вод восточной части Днепровско-Донецкого авлакогена. Харьков : ХНУ имени В. Н. Каразина, 2006. 225 с.
17. Суярко В. Г., Сухов В. В. Концептуальна синергетична геолого-гідрогеологічна модель розвитку суфозії та карсту у карбонатних породах на території Святогірського монастиря. *Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія».* 2015. N 1157. С. 63–68.
18. Суярко В. Г. Особенности формирования вертикальной гидрогеохимической зональности в мезозойских структурах Донецкого прогиба. *Геологический журнал*. 1984. Т. 44, No. 1. С. 127–130.
19. Суярко О. В. Про зв'язок зон розвантажування вод глибоких горизонтів палеозою з глибинною тектонікою Донбасу. *ДАН УРСР*. 1970. Сер. Б, No. 5. С. 403–405.
20. Суярко А. В. Роль зон разгрузки глубинных вод в выяснении природы геотермических аномалий и рудной минерализации в Западном Донбассе. *II геол. конференция «Степановскиечтения».* Артемовск, 1968. С. 161–163.
21. Филькин В. А. Опыт составления карты современных движений земной коры по территории Донбасса. *Современные движения земной коры.* К. : Наукова думка, 1986. С. 216–221.
22. Klimchouk A., Ford D., Palmer A., Dreybrodt W. Speleogenesis : Evolution of Karst Aquifere. *Huntsville; Nalt, Speleol. Soc.* 2000. 495 p.
23. White W. B. Karst hydrology: recent developments and open questions. *Eng. Geol.* 2002. 65. P. 85–105.

ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ

УДК 502.57
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.21

ЗЕЛЕНІ НАСАДЖЕННЯ ПАРКОВИХ ЕКОСИСТЕМ ІВАНО-ФРАНКІВСЬКА

Кавчук І.М., Різничук Н.І.
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ
iryna.kavchuk@gmail.com, nadiia.riznychuk@pnu.edu.ua

Озеленення міст є невід'ємним компонентом сучасного містобудування. Зелені насадження завдяки своїм функціям значною мірою оздоровлюють і покращують навколишнє середовище, просторово композиційно та естетично завершують структуру міста, є незамінним природним фактором населених пунктів. Створення й утримання в належному стані високоякісних міських зелених насаджень є обов'язковою умовою екологічного благополуччя міста і його архітектурно-художньої виразності. І це загально визнано. Оцінюючи сучасний стан зелених насаджень у місті Івано-Франківську і складну екологічну ситуацію, маємо всі підстави акцентувати увагу на безвідкладному вжитті відповідних заходів щодо інтенсифікації природоохоронних і озеленювальних робіт, поліпшення якості всіх видів міських зелених насаджень, оптимізації використання засобів озеленення для формування життєвого середовища та його збереження.

Отже, актуальним є збагачення видової та сортової різноманітності квітникових культур, розширення варіантів садових композицій, більш рівномірне їх розміщення в межах населених пунктів. Паралельно із здійсненням заходів з розширення різноманіття декоративних рослин у зелених насадженнях повинні передбачатись заходи з моніторингу видового складу в урбанізованому середовищі з метою запобігання безконтрольному поширенню (експансії) представників адвентивної флори.

Дана робота дасть загальне уявлення про видове багатство зелених насаджень парків Івано-Франківська.

Дослідження паркових насаджень розпочинається зі встановлення видового різноманіття (переліку видів рослин), для чого необхідно спочатку було зібрати гербарний матеріал. Щоб встановити видове різноманіття використовували маршрутний метод дослідження.

В парках наявні як листопадні, так і шпилькові види дерев. За допомогою математичних підрахунків було встановлено їх кількісне та відсоткове співвідношення, яке виражене у формі діаграм.

Також, деревні види групували за віковою структурою, де їх розподіляли у такому співвідношенні: до 60-ти років; 100–180 років; понад 180 років. *Ключові слова:* парк, зелені насадження, м. Івано-Франківськ.

Green plantations of Ivano-Frankivsk's park ecosystems. Kavchuk I., Riznychuk N.

Urban landscaping is an integral component of modern urban planning. Due to their functions, green plantations significantly improve and improve the environment, spatially compositionally and aesthetically complete the structure of the city, are an indispensable natural factor in settlements. Creation and maintenance of high-quality urban green spaces is a prerequisite for the ecological well-being of the city and its architectural and artistic expression. And this is generally accepted. Assessing the current state of green spaces in Ivano-Frankivsk and the difficult ecological situation, we have every reason to focus on urgent measures to intensify environmental and landscaping work, improve the quality of all types of urban greenery, optimize the use of landscaping and its environment. preservation.

Thus, it is important to enrich the species and varietal diversity of flower crops, expand the options of garden compositions, their more uniform distribution within settlements. In parallel with the implementation of measures to expand the diversity of ornamental plants in green spaces, measures should be provided to monitor the species composition in the urban environment in order to prevent the uncontrolled spread (expansion) of adventitious flora.

This work will give a general idea of the species richness of greenery in the parks of Ivano-Frankivsk.

The study of park plantations begins with the establishment of species diversity (list of plant species), for which it was necessary to first collect herbarium material. To establish species diversity, a route research method was used.

Both deciduous and coniferous tree species are available in the parks. With the help of mathematical calculations, their quantitative and percentage ratio was established, which is expressed in the form of diagrams.

Also, tree species were grouped by age structure, where they were distributed in the following ratio: up to 60 years; 100 – 180 years; over 180 years. *Key words:* park, green plantations, Ivano-Frankivsk.

Постановка проблеми. Основною проблемою охорони зелених насаджень у містах і селищах є те, що зелені насадження є під охороною лише відомчих правил, які не забезпечують зеленим насадженням необхідну охорону. Інший бік проблеми – недогляд за деревами та занедбаність зелених насаджень та громадських об'єктів.

Насадження парків міста захищають від автомобільного та промислового забруднення, пилу, ерозії ґрунту, снігопаду. Озеленення міських систем

пом'якшує міський мікроклімат, зволожує повітря, створює хороші умови для відпочинку на природі, запобігає перегріву ґрунту та стін будинків та тротуарів, допомагає організувати простір та надати міський характер. природа.

У той же час підвищення глобальних температурних тенденцій, збільшення концентрації викидів транспортних засобів, збільшення рекреаційних навантажень (що призводить до збільшення щільності ґрунту) та скорочення просторово віддалених насаджень можуть призвести до стресу та фізіологічних порушень у рослин, спричиняючи хвороби та шкідників [1].

Крім того, на динаміку розвитку паркових зон впливають інтродукція екзотичних чагарників або дерев, розвиток міст та розширення транспортного навантаження.

Актуальність дослідження. XXI століття – це час усвідомлення кризи цивілізації, заснованої на індивідуалізмі, споживанні та підкоренні природи. Це час усвідомлення того, що природа має абсолютну цінність не тому, що вона приносить користь, а тому, що без неї неможливе існування людства. Сьогодні проводиться екологізація антропогенної діяльності, відновлення втрачених в ході урбанізаційних процесів природні екосистеми.

Велике і різноманітне значення мають зелені насадження у містах. Вони відіграють значну роль у формуванні навколишнього середовища людини, тому що мають властивості поліпшувати санітарно-гігієнічну обстановку. Посадки знижують силу вітру, регулюють тепловий режим, очищають і зволожують повітря, це має величезне оздоровче значення. Зелені насадження – найкраще середовище для відпочинку населення міст і селищ, для організації різних масових культурно-просвітніх заходів. Створення насаджень – це не тільки засіб поліпшення санітарно-гігієнічних умов життя в окремих населених пунктах, але й один з основних методів корінного перетворення природних умов цілих районів [2].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження виконані у рамках науково-дослідної теми кафедри біології та екології Прикарпатського національного університету «Екологічний моніторинг природних і антропогенно змінених екосистем Прикарпаття». Державний реєстраційний номер 0112U000507.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Особливою проблемою міського зеленого розвитку є пошук оптимального співвідношення архітектурно-планувальних та екологічних функцій зелених насаджень. Перше полягало у створенні комплексу, що містив будівлі та інші елементи міського ландшафту. Другий – рекультивація та відновлення міського середовища, що виявляється у створенні хорошого мікроклімату, запобіганні шуму, пилу та газу, аерації повітря, запобіганню вітрової та водної ерозії. Водночас у регіонах із некомфортними умовами життя, зокрема в українському степовому регіоні, пріоритетними є екологічні функції [4].

Роль зелених насаджень, особливо в містах, добре відома, але вони набули важливого значення в містах з розвиненою мережею промислових підприємств і швидкозростаючими транспортними потоками [3].

В Україні зелені насадження на душу населення становлять 16,2 кв. За міжнародними стандартами ця кількість має бути вище 20 кв.

Сучасне місто – це складна, відкрита і динамічна штучна природна система. Особливістю цієї потужної системи є те, що вона стає важливим фактором впливу як на природні системи, так і на людину [5].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Місто постійно розвивається, а тому стає все більш складно контролювати питання пов'язані з охороною навколишнього середовища, що і визначає актуальність теми дослідження стану зелених насаджень для визначення проблем і створення рекомендацій щодо покращення стану насаджень, що є найпростішим методом покращення і екологічних умов міста.

Новизна. Написання цієї роботи буде корисним для розширення природоохоронного і біогеографічного кругозору. А також дана робота дасть загальне уявлення про видове багатство зелених насаджень парків Івано-Франківська.

Методологічне або загальнонаукове значення. Оптимальне озеленення міста забезпечує захист від шуму, автотранспортного та промислового забруднення, пилу, ерозії ґрунтів, снігових заметів. Зелені насадження урбанізованих систем пом'якшують мікроклімат міста, зволожують повітря, створюють гарні умови для відпочинку на відкритому повітрі, оберігають від надмірного перегрівання ґрунт та поверхні стін будинків і тротуарів, а також допомагають організувати простір та надають місту індивідуальний характер. Для дослідження та вирішення проблем озеленення паркових екосистем Івано-Франківська, важливим є опис видового різноманіття та визначення їхнього віку.

Викладення основного матеріалу. Парк – справжня скарбниця цінних місцевих та завезених з інших країн дерев.

За останньої інвентаризації в парку імені Т. Шевченка нараховувалось 6203 дерева. Видовий склад його деревних насаджень представлений 62-ма видами. Серед місцевих дерев у парку можна побачити струнку ялину, віковічні стовбури дуба звичайного і липи серцеподібної, ялицю й явора. Знайдено тут, поширену в лісах Українського Полісся, але реліктову для Карпат, сосну звичайну. Також можна побачити групи лісового бука, плакучу березу, граба, а також цінного своєю міцною деревиною ясеня [6].

Поряд з деревами місцевої флори в парку росте чимало представників дендрофлори Азії та Америки. Серед найцікавіших дерев китайської флори слід назвати гінкго [6].

В асортименті деревних насаджень парку переважають листопадні види (50 видів, або 81%), шпилькових – 12 видів, або 19%.

Домінуючими видами серед листопадних порід є: липа дрібнолиста – 20%, клен гостролистий – 15%, граб звичайний – 10% Домінуючими видами серед шпилькових порід, що створюють основу дендрологічної структури парку є: ялина європейська – 37%, сосна звичайна – 12%, сосна чорна – 9%. З цінних декоративних видів слід відзначити: айлант найвищий (2 екз.), бархат амурський (24 екз.), гінкго дволопатеве (8 екз.), катальпа бігнонієвидна (20 екз.), клен сріблястий (8 екз.), платан східний (6 екз.), тюльпанове дерево (1 екз.), яблуню (21 екз.).

За структурою вікових груп деревні види парком розподіляються у такому співвідношенні: до 60-ти років – 63%, 100–180 років – 36%, понад 180 років – 1%. Із них віком до 60-ти років: акація біла, береза повисла, верба біла ф. повисла, глід, горобина звичайна, граб звичайний, каштан кінський, клен гостролистий, тополя пірамідальна, туя західна, ялина європейська. 100–180 років: акація біла, бук лісовий, в`яз шорстколистий, гінкго дволопатеве, граб звичайний, дуб кореальний, дуб звичайний, каштан кінський, клен гостролистий, клен польовий, липа дрібнолиста, сосна Веймутова, сосна чорна, сосна звичайна, туя західна, тюльпанове дерево, ялина європейська, ясен звичайний. Понад 180 років: липа дрібнолиста, дуб звичайний.

В парку нараховується 32 види кущів загальною кількістю 2213 екземплярів. В асортименті кущових видів переважають листопадні – 27 видів, або 85%, а шпилькові і вічнозелені представлені п’ятьма видами, або 15%.

Основні види листопадних кущів: айва звичайна, акація жовта, аронія, барбарис звичайний, бересклет європейський, бирючина звичайна, бузина звичайна, бузок звичайний, вейгела гібридна, калина гордовина, жасмин садовий, кизил справжній, обліпиха, троянда, спірея Вангутта, шипшина собача та інші.

Призначення меморіального скверу – відзначення видатних подій чи осіб, які відіграють роль у житті народу. Меморіальні садово-паркові масиви можна створювати на історично обумовленій (яка містить або й не містить пам’ятні меморіальні об’єкти) або на довільно вибраній території.

Головна функціональна зона парку – експозиційна. Маршрути можуть проектуватися як за замкненим, так і за лінійним принципами. Основні елементи розташовуються ближче до вхідної зони і домінують у ландшафті. За межами основної експозиції, не порушуючи характеру основної зони, планування має вільний пейзажний вигляд.

У меморіальних парках поєднані архітектура, скульптура, монументальний живопис і садово-паркове мистецтво [6].

На даний час в Івано-Франківському меморіальному сквері нараховується близько 600 одиниць зелених насаджень, які належать до 38 видів з 20 родів і 15 родин. В асортименті деревних насаджень переважають листопадні види (30 видів, або 78%), хвойних – 8 видів, або 22%.

Домінуючими видами із листопадних порід є: липа серцелиста (31 екз.), клен гостролистий (22 екз.), граб звичайний (19 екз.), гіркокаштан звичайний (17 екз.), ясен звичайний (11 екз.), береза повисла (3 екз.).

Домінуючими видами серед шпилькових порід є: ялівець високий (21 екз.), ялина європейська (17 екз.), туя західна (11 екз.), ялина колюча блакитна (6 екз.).

Із них віком до 60-ти років: дуб звичайний, береза повисла, акація біла, туя західна, ялина європейська, клен гостролистий. 100 – 180 років: граб звичайний, ясен звичайний, ялина колюча блакитна, липа дрібнолиста, ялина європейська. Понад 180 років: дуб звичайний, липа дрібнолиста.

В меморіальному сквері нараховується15 видів кущів загальною кількістю близько 83 екземпляри.

В асортименті кущових видів переважають листопадні – 12 видів (або 80%), а шпилькові представлені 3-ма видами (або 20%).

Основні види листопадних кущів: жасмин садовий, бузок звичайний, бузина звичайна, калина гордовина, шипшина собача тощо.

Головні висновки. В міському парку ім. Т.Г. Шевченка нараховується 6203 дерева. Видовий склад його деревних насаджень представлений 62-ма видами. В асортименті деревних насаджень парку переважають листопадні види (50 видів, або 81%), шпилькових – 12 видів, або 19%. За структурою вікових груп деревні види парком розподіляються у такому співвідношенні: до 60-ти років – 63%, 100–180 років – 36%, понад 180 років – 1%. В парку нараховується 32 види кущів загальною кількістю 2213 екземплярів.

В Івано-Франківському меморіальному сквері нараховується близько 600 одиниць зелених насаджень, які належать до 38 видів з 20 родів і 15 родин. В асортименті деревних насаджень переважають листопадні види (30 видів, або 78%), хвойних – 8 видів, або 22%. За структурою вікових груп деревні види скверу розподіляються у такому співвідношенні: до 60-ти років – 54%, 100 – 180 років – 43%, понад 180 років – 3%. В меморіальному сквері нараховується 15 видів кущів загальною кількістю близько 83 екземпляри.

Перспективи використання результатів дослідження. Для міських ландшафтів важливо вибирати стійкі рослини, які не тільки успішно очищають забруднене повітря, але й протистоять шуму, пилу

та забрудненню повітря. Зелені насадження ефективно впливають на тепловий режим і мікроклімат міста. Сталість зелених насаджень у забруднених міських районах є одним із найбільш економічно ефективних способів покращення навколишнього середовища. Одним із рішень майбутніх проблем може стати створення садів на дахах будинків, тепер у наших містах можна використовувати мобільні та вертикальні ландшафти. Рекомендуються породи дерев з найкращими характеристиками, такими як звукопоглинання, вітропоглинання, антибактеріальні властивості, поглинання сонячної енергії та естетичність, які найлегше адаптуються до міського середовища та сприяють благоустрою міста.

Література

1. Геник Я.В., Дудин Р.Б., Дида А.П., Марутяк С.Б. Трансформаційні процеси в лісопаркових і паркових насадженнях урбанізованих екосистем Заходу України. Науковий вісник НЛТУ України. Львів, 2017. Вип. 27 (10). С. 9–15.
2. Діда. Р. Алеями міського парку. Івано-Франківськ. : Лілея – НВ, 2010. 88 с.
3. Заячук В.Я. Дендрологія. Львів : СПОЛОМ, 2014. 676 с.
4. Зеленюк Г.О. До історії створення мережі парків м. Київ. Вісник Харківської державної академії культури, 2013. Вип. 41. С. 52–58.
5. Зібцева О. В. Динаміка площ зелених насаджень у населених пунктах України. Наукові доповіді НУБіП України. 2017. № 4(68). С. 143–149.
6. Кавчук І.М., Різничук Н.І. Паркові насадження міста Івано-Франківськ. Шацьке поозер'я в контексті змін клімату. Збірник матеріалів VI Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 70-річчю від дня народження професора Петліна В.М. 1–3 жовтня 2021 р.

УДК 57.017.3+634.6:582.776.2
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.22

МОЖЛИВОСТІ ІНТРОДУКЦІЇ *FEIJOA SELLOWIANA* O.BERG В ЛІСОСТЕП УКРАЇНИ: НАУКОВІ ТА ПРАКТИЧНІ ПІДХОДИ

Красовський В.В.[1], **Федько Р.М.**[2], **Черняк Т.В.**[1], **Григоренко А.В.**[3]
[1]Хорольський ботанічний сад
вул. Кременчуцька 1/79, оф. 46, 37800, м. Хорол
[2]Дослідна станція лікарських рослин Інституту агроекології і природокористування
Національної академії аграрних наук України
вул. Покровська, 16А, 37535, с. Березоточа
[3]Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, м. Київ
horolbotsad@gmail.com, ukrvilar@ukr.net, alla_gr@ukr.net

Відзначено, що серед колекційних зразків субтропічних плодових культур Хорольського ботанічного саду перспективним видом для подальшого вивчення адаптаційної здатності та культивування в умовах відкритого ґрунту є *Feijoa sellowiana* O. Berg з родини *Myrtaceae* і яка може стати новою нетрадиційною культурою в лісостеповій зоні України.

Набуває значущості зміна клімату як невідворотна реальність і це дає можливість більш широко здійснювати інтродукцію корисних рослин з півдня на північ, а *F. sellowiana* могла б збагатити видовий склад цінних плодових культур Лісостепу України, тому інтродукція цього виду в новій зоні обробітку є невирішеною проблемою.

Недивлячись на деяку неузгодженість у визначенні терміну «інтродукція», підкреслено, що інтродукція культурних рослин не викликає і не може викликати заперечення того, що цей процес здійснюваний людиною. Інтродукція F. sellowiana в Лісостеп України є введенням в нові регіони обробітку культивару з господарсько цінними властивостями. Показано агротехнічні заходи, спрямовані на захист рослин в змінених умовах зростання як один з найважливіших складових цього процесу.

Зазначено, що *F.* sellowiana є вічнозеленою рослиною вологих субтропіків, проте, у дорослому віці це ксеромезофіт, а ксеромезофіти краще витримують небезпечне зниження температури, ніж вологолюбні рослини, оскільки мають щільні листки. Такі біоекологічні та біоморфологічні особливості як тривале квітування рослин (30–35 діб), невибагливість до ґрунтів, за винятком вапнякових, утворення плодів на пагонах приросту поточного року, наявність партенокарпічних сортів також сприяють інтродукції виду в лісостепову зону України.

За попередніми дослідженнями встановлено, що при культивуванні F. sellowiana у закритому ґрунті, рослини невеликих габітуальних розмірів сформовані у вигляді куща або дерева добре плодоносять. Таке ж формування можливе і при культивуванні у відкритому ґрунті, але для зимового укриття краще використати кущеподібну форму із 4–7 стебел.

Вирощування рослин з насіння дозволить відібрати ряд форм, перспективних для подальших досліджень. *Ключові слова:* ботанічний сад, *Feijoa sellowiana*, біоекологічні властивості, випробування.

Possibilities of introducing *Feijoa sellowiana* O. Berg in the Forest-Steppe of Ukraine: scientific and practical approaches. Krasovsky V., Fedko R., Chernyak T., Hryhorenko A.

It was noted that among the collection samples of the subtropical fruit crops of the Khorol Botanical Garden, *Feijoa sellowiana* O. Berg from the *Myrtaceae* family is a promising species for further study of adaptability and cultivation in open ground conditions, which can become a new non-traditional crop in the forest-steppe zone of Ukraine.

Climate change is gaining importance as an inevitable reality and this makes it possible to more widely introduce useful plants from the south to the north, and *F. sellowiana* could enrich the species composition of valuable fruit crops of the Forest-Steppe of Ukraine, therefore the introduction of this species in a new area of cultivation is an unsolved problem.

Despite some inconsistency in the definition of the term «introduction», it is emphasized that the introduction of cultivated plants does not and cannot cause denial that this process is carried out by man. The introduction of *F. sellowiana* into the Forest-Steppe of Ukraine is the introduction of a cultivar with economically valuable properties into new regions of cultivation. Agrotechnical measures aimed at protecting plants in changed growth conditions are shown as one of the most important components of this process.

It is noted that *F. sellowiana* is an evergreen plant of the humid subtropics, however, in adulthood it is a xeromesophyte, and xeromesophytes can withstand dangerous temperature drops better than hygrophilous plants because they have dense leaves. Such bioecological and biomorphological features as long flowering of plants (30–35 days), unpretentiousness to soils, except for limestone, the formation of fruits on the shoots of the growth of the current year, the presence of parthenocarpic varieties also contribute to the introduction of the species into the forest-steppe zone of Ukraine.

According to previous studies, it was established that when cultivating *F. sellowiana* in closed soil, plants of small habitual sizes formed in the form of a bush or tree bear fruit well. The same formation is possible when cultivating in open ground, but for winter shelter it is better to use a bush-like form with 4–7 stems.

Growing plants from seeds will allow selecting a number of forms that are promising for further research. *Key words:* botanical garden, *Feijoa sellowiana*, bioecological properties, test.

Постановка проблеми. В Хорольському ботанічному саду вивчають адаптаційні можливості окремих господарсько цінних субтропічних плодових культур в умовах відкритого ґрунту, серед

яких фейхоа Зелловова (*Feijoa* sellowiana O. Berg) з родини Миртові (*Myrtaceae*).

F. sellowiana нова нетрадиційна культура в умовах лісостеопвої зони України і ціниться за особливі смакові якості плодів, що мають лікувально-дієтичні властивості.

Масова частка цукрів у плодах складає 5–12 % (в основному – глюкоза та сахароза) [1], 2,5–13% [2]; клітковини – 2,0–4,0; пектинових речовин – 1,0–2,4 [1], до 2,8 [2, 3], близько 2,5 [4]; білків – 0,8–0,9; органічних кислот 1,0–2,4 % (основна кислота – яблучна) [1], 1,5–3,6 % [4], а мінеральних речовин – 0,5–1,0 % [1]. Плоди багаті на вітамін С (в середньому в цілих плодах його масова частка складає 34 мг/100 г, а в м'якоті плодів – 31 мг/100 г) [1], від 22,7 до 46 мг / 100 г [4], до 90 мг/% [2], сухих речовин 27 % [2]. Вміст катехінів в плодах варіює в межах 100–120 мг % [2]. Унікальною особливістю плодів *F.* sellowiana є здатність накопичувати значну кількість водорозчинних з'єднань йоду (200–300 мг/100 г) [1], 40 мг на 100 г м'якушу, що легко засвоюються організмом людини [4].

Своєрідний сунично-ананасовий аромат плодів обумовлений наявністю ефірної олії, яка складається із 93 специфічних речовин. Характерний аромат плодів визначається в першу чергу наявністю метилбензоату (до 82 % від усіх ароматичних речовин), етилбутирату і етилбензоату [1].

Амінокислотний склад плодів представлений переважно аспарагіном, аргініном, глютаміном, аланіном і тирозином. Плоди містять багато фенольних сполук, які знаходяться переважно в шкірці і надають плодам терпкого смаку. Однак шкірка легко відділяється від м'якуша і в їжу майже не використовується.

Плоди *F.* sellowiana вживають в свіжому і переробленому вигляді. Дивовижний аромат, гармонічне поєднання кислоти і цукру при значному вмісті пектинових речовин роблять ці плоди цінною сировиною для приготування високоякісних джемів, пюре, варення, желе, цукерок (карамелі з начинкою, мармеладу), соків, компотів, лимонаду [1, 2, 4] або як інгредієнт до різних фруктових і овочевих салатів, консервовані плоди *F.* sellowiana використовують в кулінарії з м'ясними закусками [1]. Також із *F.* sellowiana готують вина, лікери і наливки [2, 4].

Характерною особливістю цієї рослини є висока фітонцидність, а звідси значна стійкість до хвороб і шкідників [3, 5].

Завдяки великим квіткам, з тривалим періодом цвітіння та своєрідному забарвленню листків, кущі *F.* sellowiana виглядають надзвичайно декоративно тому, *F.* sellowiana широко використовують як декоративну культуру в усіх типах озеленення – алеї, групові посадки у відкритих ландшафтах, солітери в партерах тощо [1–3].

Нині зміна клімату невідворотна реальність і це дає можливість оптимізувати інтродукцію корисних рослин з півдня на північ, а *F. sellowiana* могла б збагатити видовий склад цінних плодових культур Лісостепу України, тому інтродукція цього виду в новій зоні обробітку відповідає потребам сучасності.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Серед важливих питань, які необхідно розв'язати людству на передній план виходять: збереження біорізноманіття в умовах зміни клімату, раціональне використання природних ресурсів та відтворення біорізноманіття, а також урізноманітнення продуктів харчування. Інтродукція рослин є одним з визначальних факторів вирішення окремих із зазначених завдань, а саме збагачення та урізноманітнення рослинних ресурсів в цілому, а також збагачення біотичного різноманіття культурфітоценозів зокрема [6].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття та новизна досліджень. Перш ніж обґрунтувати можливість інтродукції *F. sellowiana* в Лісостепу України, варто звернути увагу на поняття і терміни що визначають інтродукцію рослин як у минулому так і теперішньому аспекті та характерну особливість яка має істотне значення для розуміння цього процесу.

Загальновідомо, що завдання інтродуктора полягає в тому, аби виявити потенційно цінні об'єкти і пришвидшити процес інтродукції. Відомий у свій час видатний учений інтродуктор і селекціонер М.Ф. Кащенко стверджував, що коли акліматизують який-небудь живий організм, то для практичних цілей не досить, щоб він у змінених умовах середовища жив і давав потомство. Необхідно, щоб він зберіг ті корисні властивості, заради яких його акліматизують, тоді мету акліматизації буде досягнуто [7].

При обґрунтуванні широкого кола питань з інтродукції рослин в наукових літературних джерелах зазначається, що латинське слово «introductio» означає «введення», в даному випадку – «введення рослин у культуру», хоча традиційно це поняття називається «інтродукція рослин». Беззаперечним фактом є те, що інтродукція рослин – це цілеспрямована діяльність людини з введення в культуру рослин. Виходячи з цього, інтродукція рослин є процесом, причому необмеженим у часі та обмеженим у просторі. Інтродукція рослин все ще не оформилася остаточно в самостійну науку, перебуваючи переважно як недиференційована складова різних сільськогосподарських наук. І такому стану справ є пояснення. Інтродукція рослин як наука – це неоднозначне за своєю суттю явище на стику ботанічних знань та практики культивування рослин. Інтродукція рослин у більшості аспектів своєї діяльності – явище регіональне, та її застосування багато в чому визначається можливостями тієї місцевості, де рослини вводяться в культуру. Окремі положення інтродукції рослин є спільними із селекцією рослин, хоча науково-практична спрямованість останньої має

принципово інший характер [8]. Також вказується, що інтродукція рослин це розділ ботаніки, який вивчає закономірності переселення окремих видів, ценозів і видопопуляцій за межі природного чи культурного ареалу [9] і підкреслюється що інтродукція рослин означає широке поняття перенесення і введення в культуру дикоростучих видів або культурних сортів і форм в нові умови зростання. Інтродукція рослин направлена на збагачення рослинних ресурсів країни або області новими рослинами, а також зникаючими видами [10].

У спеціалізованих словниках інтродукція зазначається як переселення окремих видів тварин і рослин у місцевості, де вони раніше не жили [11] або впровадження видів або сортів рослин у місцевості, де вони раніше не зростали [12]. Більшість науковців минулого століття, що розробляли теорію інтродукції рослин (Малєєв, 1933, Керн, 1925; 1934; Гінкул, 1938, 1940; Русанов, 1954; Аврорін, 1956; Соколов, 1957; Гурський, 1957; Шликов, 1963; Базилевська, 1964; Логгінов, 1964; Харкевич, 1966; Базилевська, Мауринь, 1982, та ін.) під інтродукцією розуміли введення рослин в культуру [13]. В сучасній Екологічній енциклопедії термін «інтродукція» трактується як переселення деяких видів організмів за межі їхніх природних ареалів, здійснюване людиною цілеспрямовано або випадково [14].

Сучасні дослідники теорії інтродукції рослин вказують на те, що аналіз основних понять інтродукції рослин є суперечливим, адже більшість з них трактується неоднозначно, а головна вимога до тезаурусу (сукупність понять) – чіткість формулювання термінів, не виконується. Вони вказують на різноманітність поглядів на основні поняття інтродукції рослин (інтродукція, введення в культуру, інтродукційна адаптація, акліматизація, натуралізація, інтродукційна популяція, популяційне поле, культигенний ареал, реінтродукція, репатріація) і пропонуються доповнення та уточнення до формулювання деяких з них [15]. Також підкреслюється, що сприйняття понять інтродукція рослин і впровадження рослин в культуру мають деякі розбіжності, адже у більшості сприймають впровадження рослин як завершальний етап інтродукційної роботи. З огляду на подальший розвиток сучасної теорії інтродукції рослин не менш важливим є гармонізація термінології з інтродукції рослин відповідно до міжнародних стандартів. В міжнародному контексті більш прийнятним термін вважається «акліматизація» [16].

Недивлячись на деяку неузгодженість у визначенні терміну «інтродукція», інтродукція культурних рослин не викликає і не може викликати заперечення того, що цей процес здійснюваний людиною. Інтродукція F. sellowiana в Лісостеп України є введенням в нові регіони обробітку культивару з господарсько цінними властивостями. Одними з найважливіших складових цього процесу є агротехнічні заходи, спрямовані на захист рослин в змінених умовах зростання.

Відсутність оцінки можливості інтродукції F. sellowiana в Лісостепу України та експерементальних робіт обумовлюють напрямок наших досліджень що є новим.

Методичне або загальнонаукове значення. Інтродукція F. sellowiana здійснюється у науковій зоні Хорольського ботанічного саду на колекційній ділянці «Сад субтропічних плодових культур».

Насіння F. sellowiana зібране у 2020 році з плодів повної фізіологічної стиглості культиварів культигенного походження зростаючих у Туреччині. Середня маса плодів становила 27,5 г, кількість насінин – 18–32 шт. Сіянці вирощені у шкілці, наразі культивуються як пристановна культура. У зимовий період 2021–2022 років рослини зростали у контейнерах в закритому ґрунті за температури 0 плюс 5 ºС, приросту не мали, але і не страждали в умовах низької температури. З весни зростають на дослідній ділянці «Сад субтропічних плодових культур» (рис. 1), мають висоту в межах 25–40 см. У відкритий ґрунт на постійне місце зростання висаджуватимуться у 3–4-річному віці за збільшення вегетативної маси і культивуватиметься як вкривна на зиму культура.

Викладення основного матеріалу. При інтродукції рослин суттєвим є факт активної діяльності людини напрвленої на вирішення як фундаментальних так і практичних задач з використання рослинних ресурсів світу, адже як зазначалось вище, під інтродукцією рослин розуміється процес залучення або введення рослин в нові місця зростання.

З літературних джерел відомо, що успішна інтродукція рослин у пунктах їх інтродукції може спиратися на два біологічних явища: натуралізацію,



Рис. 1. Культивування сіянцевих рослин F. sellowiana на дослідній ділянці «Сад субтропічних плодових культур», Хорольський ботанічний сад, 28.06.2022 р.

коли інтродуковані екотипи успішно розвиваються в нових умовах, зберігаючи свою початкову генетичну структуру, і акліматизацію, коли адаптація до нових умов досягається лише на основі певних генетичних перебудов вихідних форм і створення на їх основі нових екотипів [17].

Інтродукцію плодових культур здійснюють у відкритий ґрунт, адже лише за таких умов можливе поширення виду у аматорське плодівництво чи фермерські господарства. Під відкритим ґрунтом розуміється культивування рослин просто неба. При цьому допускається влаштування захисту від вітру, прямих сонячних променів або атмосферних опадів, а також укриття рослин у холодну пору року.

Успішна інтродукція плодової культури забезпечує виживання виду, що має значення для практичного використання. В умовах інтродукції в Хорольському ботанічному саду нині плодоносять такі субтропічні рослини як гранатник зернистий та смоківниця карійська (рис. 2, рис. 3). Зростання цих рослин здійснюється на рівні виду, який успішно зимує в нових умовах навколишнього середовища завдяки застосуванню такого агротехнічного заходу як зміна життєвої форми, а саме типової – «дерево» на похідну – «кущ», що дозволяє культивувати їх як вкривні на зиму культури.

Інтродукцію P. granatum та F. carica здійснювали перенесенням вегетативного матеріалу рослин як зразків сортів.

Варто зазначити що *P. granatum* може витримувати зниження температури до мінус 12–16 ºС, а *F. carica* до мінус 15 ºС в залежності від сортів та стану здерев'яніння пагонів [5]. Такий же спосіб захисту від низьких температур може бути застосований і до *F. sellowiana,* адже вид може зростати в районах, де спостерігається короткочасне зниження температури до мінус 15 ºС [3, 5].

F. sellowiana є вічнозеленою рослиною вологих субтропіків, проте у дорослому віці це ксеромезофіт [2, 12], а ксеромезофіти краще переносять загрозливе зниження температури, ніж вологолюбні рослини, оскільки мають щільні листки. Такі біоекологічні та біоморфологічні особливості як тривале квітування рослин (30–35 діб), невибагливість до ґрунтів, за винятком вапнякових, утворення плодів на пагонах приросту поточного року, наявність партенокарпічних сортів також сприяють інтродукції виду в лісостепову зону України. Також *F. sellowiana* добре розмножується насінням, що сприяє інтенсивному процесу розщеплення та формоутворення.

За нашими попередніми дослідженнями, при культивуванні у закритому ґрунті, рослини *F. sellowiana н*евеликих габітуальних розмірів сформованих у вигляді куща або дерева добре плодоносять [18]. Таке ж формування можливе і при культивуванні у відкритому ґрунті, проте, для зимового укриття краще використати кущеподібну форму із 4–7 стебел.

Головні висновки. Поповнення асортименту плодових культур у лісостеповій зоні України через їх інтродукцію було і залишається однією з важливих проблем сучасного плодівництва. Інтродукція рослин передбачає активну дію інтродуктора, що суттєво впливає на стан виживання особин та їх репродуктивну здатність. *F. sellowiana* належить до цінних плодових культур, має комплекс біоекологічних властивостей, включаючи високу зимостійкість як для субтропічної рослини. Вирощування рослин з насіння дозволяє відібрати ряд форм, перспективних для подальших досліджень.



Рис. 2. Формування плодів гранатника зернистого (Punica granatum L.), Хорольський ботанічний сад, 28.06.2022 р.



Рис. 3. Формування плодів смоківниці карійської (Ficus carica L.), Хорольський ботанічний сад, 28.06.2022 р.

Література

1. Вдовенко С. А., Гаврись І. Л., Полутін О. О. Субтропічні і рідкісні плодоовочеві рослини : навч. посіб. Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2020. 252 с.
2. Субтропические плодовые и орехоплодные культуры : научно-справочное издание / Казас А. Н. и др. Симферополь : ИТ «Ариал», 2012. 304 с.
3. Цитрусові та субтропічні плодові культури / Чебан С. Д., Долід А. В., Сіленко В. О., Чередниченко Л. І. Камянець-Подільський, 2013. 198 с.
4. Саркитов Н. Д. Плодовые и ягодные растения : энциклопедический словарь-справочник. Москва : ТЕРРА – Книжный клуб, 2003. 560 с.
5. Федоренко В. С. Субтропические и тропические плодовые культуры : учеб. пособие. Киев : Выща шк., 1990. 239 с.
6. Адаптація інтродукованих рослин в Україні : монографія / Рахметов Д. Б. та ін. ; відп. ред. Д. Б. Рахметов. Київ : Фітосоціоцентр, 2017. 516 с.
7. Збереження та збагачення рослинних ресурсів шляхом інтродукції, селекції та біотехнології : монографія / Черевченко Т. М. та ін. ; відп. ред. Т. М. Черевченко. Київ : Фітосоціоцентр, 2012. 432 с.
8. Карпун Ю. Н. Основы интродукции растений. *Hortus Botanicus*, 2004. № 2. С. 17–32.
9. Фармацевтична енциклопедія. Вид. 2-ге, переробл. і доповн. / голова ред. ради В. П. Черних; Нац. фармац. ун-т України. Київ : МОРІОН, 2010. 1632 с.
10. Шайтан И. М., Мороз П. А., Клименко С. В. Интродукция и селекция южных и новых плодовых растений. Київ : Наукова думка, 1983. 216 с.
11. Біологічний словник / за ред. І. Г. Підоплічка, К. М. Ситника, Р. В. Чаговця. Київ : Голов. ред. УРЕ, 1974. 552 с.
12. Барна М. М. Ботаніка. Терміни. Поняття. Персоналії. Київ: Видавничий центр «Академія», 1997. 272 с.
13. Кохно Н. А., Курдюк А. М. Теоретические основы и опыт интродукции древесных растений в Украине. Киев : Наукова думка, 1994. 188 с.
14. Екологічна енциклопедія : у 3 т. / гол. ред. А. В. Толстоухов. Київ : ТОВ «Центр екологічної освіти та інформації», 2007. Т. 2. 416 с.
15. Булах П. Є. Теоретичні основи оптимізації інтродукційного процесу : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра біол. наук : 03.00.05. Київ, 2006. 30 с.
16. Рахметов Д. Б. Сучасні проблеми інтродукції рослин в Україні. *Фундаментальні та прикладні аспекти інтродукції рослин у реаліях євроінтеграції*: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 9–11 жовт. 2018 р. Київ : Ліра-К., 2018. С. 171–180.
17. Клименко С. В., Григор'єва О. В., Скрипченко Н. В., Кузнєцов В. В., Левон В. Ф., Голубкова І. М., Гончаровська І. В., Андрієнко О. О., Книш В. П. Відділ акліматизації плодових рослин національного ботанічного саду імені М. М. Гришка НАН України: 80 років інтродукційно-селекційних досліджень. *Фундаментальні та прикладні аспекти інтродукції рослин в умовах глобальних змін навколишнього середовища* : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 22–24 вересня 2020 р. Київ : Ліра-К. 2020. С. 111–120.
18. Красовський В. В. Біоекологічний потенціал і перспективи культивування *Acca sellowiana* (O. Berg.) Burret у Хорольському ботанічному саду. *Наукові доповіді національного університету біоресурсів і природокористування України*. Київ, 2015. № 4(53). 12 с.

УДК 632.937.12
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.23

АНАЛІЗ ТИПІВ ПОШКОДЖЕНЬ ЛИСТОВИХ ПЛАСТИНОК ДЕРЕВНИХ РОСЛИН КОМАХАМИ-ШКІДНИКАМИ У ПРОМИСЛОВИХ ЗОНАХ М. ЗАПОРІЖЖЯ

Крупєй К.С.[1], **Скляренко А.В.**[2]
[1]Запорізький державний медичний університет
пр. Маяковського, 26, 69000, м. Запоріжжя
[2]Департамент освіти і науки Запорізької обласної державної адміністрації
пр. Соборний, 164, 69107, м. Запоріжжя
krupeyznu@gmail.com; s-k2015@ukr.net

Автори провели аналіз структури пошкоджень листових пластинок деревних рослин, що складають основні зелені насадження санітарно-захисних зон ПАТ «Український графіт» (№ 1) і ПАТ «Запорізький виробничий алюмінієвий комбінат» (№ 2), комахами-фітофагами. На території ПАТ «Укрграфіт» найменш пошкодженими фітофагами були листки гілок нижнього ярусу *Ailanthus altissima* Mill. (1,33 %), *Robinia pseudoacacia* L. та *Morus alba* L. (5,22 % та 5,70 %, відповідно). Основні пошкодження листків у *Robinia pseudoacacia* L. представлені галами (86,59 %), що спричинив *Obolodiplosis robiniae* Hald. На інших деревних рослинах пошкоджень цього типу не виявили. Подібна тенденція була на території ПАТ «Запорізький виробничий алюмінієвий комбінат» (галами пошкоджено 62,81 % листових пластинок *Robinia pseudoacacia* L.). Найбільш чутливими до шкідників виявилися рослини родини *Ulmaceae*. Основний тип пошкодження – скелетування листя, який був характерний лише для деревних рослин цієї родини на обох досліджуваних ділянках. Проте на території № 2 спостерігали також скелетування *Quercus robur* L. (23,58 % уражень цього типу від загальної кількості). Скелетування цих фанерофітів викликали листоїди (*Coleoptera: Chrysomelidaea*). Критичний стан листової поверхні в обох досліджуваних санітарно-захисних зонах виявили в *Aesculus hippocastanum* L. Всі листові пластинки виду були вражені мінуючою каштановою міллю (*Cameraria ohridella* Deschka et Dimic).

Отже, *Ailanthus altissima* Mill., *Robinia pseudoacacia* L., *Acer pseudoplatanus* і *Salix alba* L. виявилися найменш чутливими деревами до шкідників-фітофагів. Стійкість до пошкоджень комахами-шкідниками дозволяє рекомендувати висаджувати ці деревні рослини на промислових територіях для виконання ряду екологічних функцій і відокремлення підприємств від житлової забудови. *Ключові слова:* деревні рослини, екобіоморфа, урбоекосистема, санітарно-захисна зона, фітофаги, об'їдання листків, закручування, скелетування, гали, міни.

Analysis of types of damage to leaf blades of woody plants by pests in industrial zones of Zaporizhzhia. Krupiei K., Sklyarenko A.

The authors analyzed the structure of damage to leaf blades of woody plants by phytophagous insects that make up the main greenery of sanitary protection zones of PJSC «Ukrainian Graphite" (№ 1) and PJSC "Zaporizhzhia industrial aluminum integrated plant" (№ 2). On the territory of PJSC "Ukrgrafit" the least damaged phytophages were the leaves of the branches of the lower tier *Ailanthus altissima* Mill. (1.33 %), *Robinia pseudoacacia* L. and *Morus alba* L. (5.22 % and 5.70 %, respectively). The main leaf damage in *Robinia pseudoacacia* L. is represented by galls (86.59 %), which caused *Obolodiplosis robiniae* Hald. No damage to this type was found on other woody plants. A similar trend was on the territory of PJSC "Zaporizhzhia industrial aluminum integrated plant" (62.81 % of *Robinia pseudoacacia* L. leaf blades were damaged by galls). Plants of the family *Ulmaceae* were the most sensitive to pests. The main type of damage was skeletalization of leaves, which was characteristic only of woody plants of this family in both study areas. However, skeletonization of *Quercus robur* L. was also observed on the territory № 2 (23.58 % of total lesions of this type). The skeletonization of these phanerophytes was caused by leafhoppers (*Coleoptera: Chrosomelidaea*). A critical condition of the leaf surface in both studied sanitary protection zones was found in *Aesculus hippocastanum* L. All leaf blades of the species were affected by the passing chestnut moth (*Cameraria ohridella* Deschka et Dimic).

Thus, *Ailanthus altissima* Mill., *Robinia pseudoacacia* L., *Acer pseudoplatanus* and *Salix alba* L. were the least sensitive trees to phytophagous pests. Resistance to damage by pests allows us to recommend planting these woody plants in industrial areas to perform several environmental functions and the separation of enterprises from housing. *Key words:* woody plants, ecobiomorph, urban ecosystem, sanitary protection zone, phytophagous, leaf eating, twisting, skeletonization, galls, mines.

Постановка проблеми. Фітофаги – це тварини, які живляться виключно рослинною їжею (первинні споживачі) та мають різний ступінь харчової спеціалізації до кормових рослин, що склалася в процесі еволюції. Тип пошкоджень листків комахами-фітофагами пов'язаний з особливостями будови їх ротових органів, які розподіляють на дві групи: гризучі та колюче-сисні. Перші призводять до механічних пошкоджень листових пластинок, другі – викликають зміну забарвлення рослинних тканин, скручування, в'янення й іноді повне всихання листків, що пов'язано з харчуванням комах рослинними соками [1, 2]. На сьогодні відомо декілька наукових праць щодо особливостей передачі стресових сигналів в клітинах рослин та ідентифікації генів, що кодують специфічні білки, які беруть участь у розвитку стресостійкості рослин [3–6]. Проте зв'язку між видовим складом шкідників-фітофагів та уразливістю деревних рослин присвячено недостатньо публікацій [7, 8].

Актуальність дослідження. Зазначена вище інформація окреслює необхідність проведення досліджень щодо виявлення стресостійких деревних рослин до шкідників – консументів І порядку з метою рекомендації неуразливих фанерофітів для озеленення промислових зон.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Отримані результати дозволять науковцям, які займаються фітомоніторингом та екологічною ентомологією, створити систему взаємопов'язаних екобіоморф на промислових територіях, що призведе до змін структурно-видового різноманіття угруповань комах та зменшить кількість шкідників-фітофагів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На сьогодні розроблено чимало систем заходів захисту сільськогосподарських культур від шкідників-фітофагів, захворювань і бур'янів [9–11]. Значно менша кількість наукових робіт присвячена вивченню резистентності рослин до фітофагів та рекомендаціям щодо озеленення територій міст неуразливими деревними рослинами [12, 13]. І.П. Мацях, В.О. Крамарець [14] детально вивчили біологічні особливості інвазійних філофагів різних груп та відокремили основний шлях поширення цих комах-шкідників на територію України (торгівля садивним матеріалом та декоративними рослинами). Тому сучасні дослідники [15] наголошують на важливості вивчення буферних можливостей аборигенної фракції флори урбоекосистем задля розробки теоретичних і методологічних основ урбанофлористики в системі озеленення міських територій.

Виходячи з цього, **метою** дослідження було проведення кількісного обліку й аналізу структури типів пошкоджень фітофагами листя деревних порід санітарно-захисних зон Запорізького промислового регіону (на прикладі ПАТ «Український графіт» та ПАТ «Запорізький виробничий алюмінієвий комбінат»).

Об'єктом дослідження були деревні породи, що складають структуру санітарно-захисної лісосмуги, **предметом** – структура пошкоджень листових пластинок дерев комахами-фітофагами.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Проведений аналіз структури пошкоджень листя фанерофітів санітарно-захисних зон промислових підприємств м. Запоріжжя шкідниками-фітофагами, що дозволяє виявити стресостійкі види дерев для озеленення промислових територій і забезпечення їх екологічної рівноваги.

Новизна. Вперше проведений порівняльний аналіз структури пошкоджень листових пластинок деревних рослин санітарно-захисних зон ПАТ «Український графіт» та ПАТ «Запорізький виробничий алюмінієвий комбінат» комахами-фітофагами; наданий перелік модельних дерев, які виявилися стійкими до пошкоджень, внаслідок чого їх можна рекомендувати для висаджування в санітарно-захисних промислових зонах.

Методологічне або загальнонаукове значення. Результати проведеного обстеження характеру пошкоджень листків деревних рослин фітофагами можуть бути використані студентами й науковцями при проведенні еколого-ентомологічних та моніторингових досліджень екобіоморф техногенно навантажених урбоекосистем, а також доповнять відомості щодо спектра стійких до ушкоджень деревних рослин, висаджування яких в санітарно-захисних зонах промислових підприємств може призвести до трансформації угруповань комах й зменшення кількості шкідників багаторічних рослин з твердим стовбуром.

Матеріали та методи дослідження. Для проведення досліджень обрали 2 промислові зони на території м. Запоріжжя, а саме ПАТ «Український графіт» (ділянка 1) та ПАТ «Запорізький виробничий алюмінієвий комбінат» (ділянка 2). Такий вибір обумовлено тим, що за результатами попередніх досліджень авторів [16, 17] виявлені домінантні за кількістю екземплярів родини, детально вивчені їх життєвий стан й таксаційні характеристики, щільність, а також обґрунтована необхідність у планомірній реконструкції зелених насаджень на цих територіях з метою підвищення їх екологічної ролі в урбоекосистемі. При вивченні пошкоджень листків комахами-фітофагами керувалися загальноприйнятою класифікацією [18]. Згідно з цією класифікацією, морфологічна картина пошкоджень, які викликають комахи, залежить від будови їх ротового апарату. Гризучий тип ротового апарату призводить до грубих об'їдань (знищують понад 40 % листової поверхні), а також крайового об'їдання, дірчастого (мінування листка), скелетування. Колюче-сисний тип ротового апарату спричинює проколи листових пластинок. Обстеження проводили в серпні 2021 р. (по 40 гілок з нижнього ярусу кожного дерева). Ідентифікацію фітофагів за характером пошкоджень листків здійснювали за визначниками та підручниками з ентомології і фітопатології [19–22]. Картосхеми ділянок відбору проб представлені на рис. 1.

Результати дослідження та їх обговорення. В санітарно-захисній зоні ПАТ «Укрграфіт» найменш пошкодженими фітофагами виявилися листові пластинки гілок нижнього ярусу *Ailanthus altissima* Mill. (1,33 %), *Robinia pseudoacacia* L. та *Morus alba* L. (у 4 рази більше). Основні пошкодження листків у *Robinia pseudoacacia* L. представлені галами (86,59 %), що спричинив *Obolodiplosis robiniae* Hald. Подібна тенденція була на території ПАТ «Запорізький виробничий алюмінієвий комбінат» (галами пошкоджено 62,81 % листових пластинок *Robinia pseudoacacia* L. від загальної кількості уражень) (див. табл. 1, 2 та рис. 2–4). О.А. Пономарьова та В.П. Бессонова у 2016 р. при вивченні пошкоджень деревних рослин ділянки примагістральної



Рис. 1. Точки обстеження деревних рослин: ПАТ «Український графіт» (ділянка 1 – зліва) та ПАТ «Запорізький виробничий алюмінієвий комбінат» (ділянка 2 – справа)

лісосмуги Дніпро – Донецьк фітофагами *O. robiniae* Hald. також зафіксували найменшу кількість пошкоджень листків *Robinia pseudoacacia* L. [7]. Інші дослідники пояснюють це тим, що для комах-філофагів цієї рослини степова зона України з низьким рівнем вологості є несприятливою [23]. У XXI столітті сформувався комплекс інвазивних шкідників робінії з 3-х спеціалізованих фітофагів, до яких належать *Parectopa robiniella* Clemens, *Phyllonorycter robiniella* Clemens, а також ідентифікований нами вид *O. robiniae* Hald.

Останній представник є повсюдно поширеним інвазивним видом. Попри те, що личинок галиці часто вражають паразитоїди *Platygaster robiniae* Buhl & Duso, 2007, *O. robiniae* Hald. демонструє високу чисельність у різних лісових умовах понад 10 років [24]. Окрім утворення гал листової поверхні, цей вид разом з довгоносиками, хрущами, цикадками викликає крайове пошкодження листових пластинок робінії. На листках цих дерев подекуди зафіксували міни *Ph. robiniella* Clemens, але відсоток пошкодження ними листків робінії на 2-х досліджуваних ділянках виявився незначним (4,5 %).

В санітарно-захисних зонах ділянок № 1 та № 2 спостерігали високий ступінь ураження листків *Ulmus carpinifolia* Rupp. та *U. laevis* Pall. шкідником *Eriosoma ulmi*, який спричиняв закручування листків родини в'язових. Фітофаг навесні осідає на нижньому боці листка, що призводить до його скручування, та утворює свого роду укриття попелицям, які харчуються соком. Шкодочинність, нанесена в'язам, незначна, за винятком можливої затримки росту [18]. *U. carpinifolia* Rupp., *U. laevis* Pall. у порівнянні з іншими видами дерев санітарно-захисних зон промислового комплексу м. Запоріжжя найбільш часто страждали від пошко-

Таблиця 1

Пошкодження листків шкідниками на модельних деревах в санітарно-захисній зоні ПАТ «Укрграфіт», %

Вид	Крайове об'їдання	Дирчасте об'їдання	Грубе об'їдання	Скелетування	Закручування листя	Гали	Міни	Сумарний відсоток
Robinia pseudoacacia L.	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	4,52	0,23	5,22
Ulmus carpinifolia Rupp.	5,40	1,94	6,71	9,50	0,67	0,00	4,63	28,85
Ulmus laevis Pall.	1,20	3,72	7,56	8,19	2,47	0,00	0,67	23,81
Aesculus hippocastanum L.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100	100
Acer negundo L.	2,22	22,72	1,11	0,00	0,00	0,00	0,00	26,05
Populus simonii Carr.	4,44	4,88	3,94	0,00	0,00	0,00	0,00	13,26
Fraxinus lanceolata Borkh.	10,25	16,41	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,66
Juglans regia L.	0,00	7,20	0,00	0,00	2,14	0,00	0,00	9,34
Ailanthus altissima Mill.	0,00	0,83	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	1,33
Morus alba L.	0,00	5,28	0,00	0,00	0,42	0,00	0,00	5,70

Таблиця 2

Пошкодження листків шкідниками на модельних деревах в санітарно-захисній зоні ПАТ «Запорізький виробничий алюмінієвий комбінат», %

Вид	Крайове об'їдання	Дірчасте об'їдання	Грубе об'їдання	Скелетування	Закручування листя	Гали	Міни	Сумарний відсоток
Robinia pseudoacacia L.	0,00	0,00	3,33	0,00	0,00	6,42	0,47	10,22
Ulmus carpinifolia Rupp.	14,12	3,85	2,92	3,10	0,00	0,00	2,55	26,54
Ulmus laevis Pall.	6,67	8,83	3,93	3,89	0,00	0,00	1,67	24,99
Aesculus hippocastanum L.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100	100
Tilia cordata Mill.	1,67	17,97	4,72	0,00	2,89	0,01	0,00	27,26
Populus simonii Carr.	17,06	2,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,28
Salix alba L.	3,12	0,83	4,75	0,00	0,00	0,00	0,00	8,70
Platanus spp.	0,00	0,00	6,0	0,00	0,00	0,00	19,33	25,33
Acer pseudoplatanus	0,00	3,11	4,91	0,00	0,00	0,00	0,00	8,02
Fraxinus lanceolata Borkh.	7,05	6,57	5,14	0,00	0,95	0,00	0,00	19,71
Quercus robur L.	0,00	2,96	0,67	3,33	5,16	0,00	2,00	14,12
Ailanthus altissima Mill.	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50

джень листової поверхні листоїдами (*Coleoptera: Chrysomelidaea*). Такі пошкодження відносили до скелетування. Значну шкоду для в'язів у степовій зоні України спричиняє ільмовий листоїд (*Pyrrhalta luteola* Mull.). Ці личинки зимують в ґрунті під кронами дерев. Жуки з'являються на початку травня, підіймаються на дерева і харчуються молодими листками, надалі утворюють в них отвори різної форми й знищують дрібні жилки [18, 20]. Після чого вони відкладають яйця й спричиняють грубе, дірчасте та крайове об'їдання листків (останній тип пошкодження викликає також зимовий п'ядун *Operophtera brumata*). Личинки листоїдів скелетують листя шляхом виїдання м'якої частини листка і не вражають верхній епідерміс [25]. За результатами обстежень фанерофітів, частка скелетованих листків *Ulmus* у структурі пошкодження досягала 10 % (санітарно-захисна зона ПАТ «Укрграфіт»). На ділянці № 2 пошкоджень цього типу майже в 3,5 раза менше. Листки в'язів на досліджуваних ділянках уражені мінами, спричинені молями-малютками (*Stigmella marginicolella* Stt.), які є ендофілобіонтами цих рослин. Максимально пошкоджені листки дерев *U. carpinifolia* Rupp. на території ПАТ «Укрграфіт» (16,05 %). На ділянці ПАТ «Запорізький виробничий алюмінієвий комбінат» міни на листках цих дерев зустрічалися майже в 2 рази рідше. Найбільшу пошкодженість в обох досліджуваних санітарно-захисних зонах виявили в *Aesculus hippocastanum* L. Листя цього виду були вражені мінуючою каштановою міллю (*Cameraria ohridella* Deschka et Dimic), стан рослин можна назвати критичним. У всіх досліджуваних насадженнях поблизу промислових підприємств на початку серпня 2021 р. було зафіксовано 100 % ураження листової пластинки *A. hippocastanum* L. цим фітофагом.

Міни являють собою порожнини, заповнені екскрементами гусені каштанової молі, які вона утворює в паренхімі листя. В.Г. Мартиненко [26] детально описав причини уразливості *A. hippocastanum* L. до цього шкідника. По-перше, дерева стають уразливими через засоленість та сухість ґрунту, забрудненість урбанізованих едафотопів, по-друге – внаслідок повторного «осіннього квітнення» після дефоліації.

На модельних гілках *Ailanthus altissima* Mill. відмічали до 2 % пошкоджених листків від загальної кількості. Для цього виду характерні незначні дірчасті та грубі об'їдання листків.

В санітарно-захисній зоні ПАТ «Укрграфіт» було зафіксоване пошкодження волоського горіху, спричинене американським білим метеликом (*Hyphantria cunea* Drury), але ступінь ураження листової поверхні була несуттєва (1 гілка). Доросла гусениця горіхової мінуючої молі скручує та об'їдає листя цієї деревної рослини. Горіховий листковий довгоносик, лунка сріблясta, зимовий п'ядун та інші фітофаги також здатні пошкоджувати листки *Juglans regia* L. [18].

Крайове, грубе й дірчасте об'їдання та пошкодження листя *Tilia cordata* Mill. на ділянці № 2 викликають гусениці грушевої совки (*Cosmia trapezina* L.) і зимовий п'ядун (*Operophtera brumata* L.). Скелетують листя личинки дубового слизового пильщика (*Caliroa cinxia* Kl.) та липового слизового пильщика (*Caliroa annulipes* Kl.). Сумарний ступінь пошкодження листових пластинок *Tilia cordata* Mill. цими шкідниками-фітофагами складав 27,26 % (поступається лише *Aesculus hippocastanum* L.). Значно рідше подібні пошкодження листя липи дрібнолистої викликали гусениці листовійки глодової (*Archips crataegana* Hb.) різних генерацій та кільчастий шовкопряд (*Malacosoma neustria*). Скручування

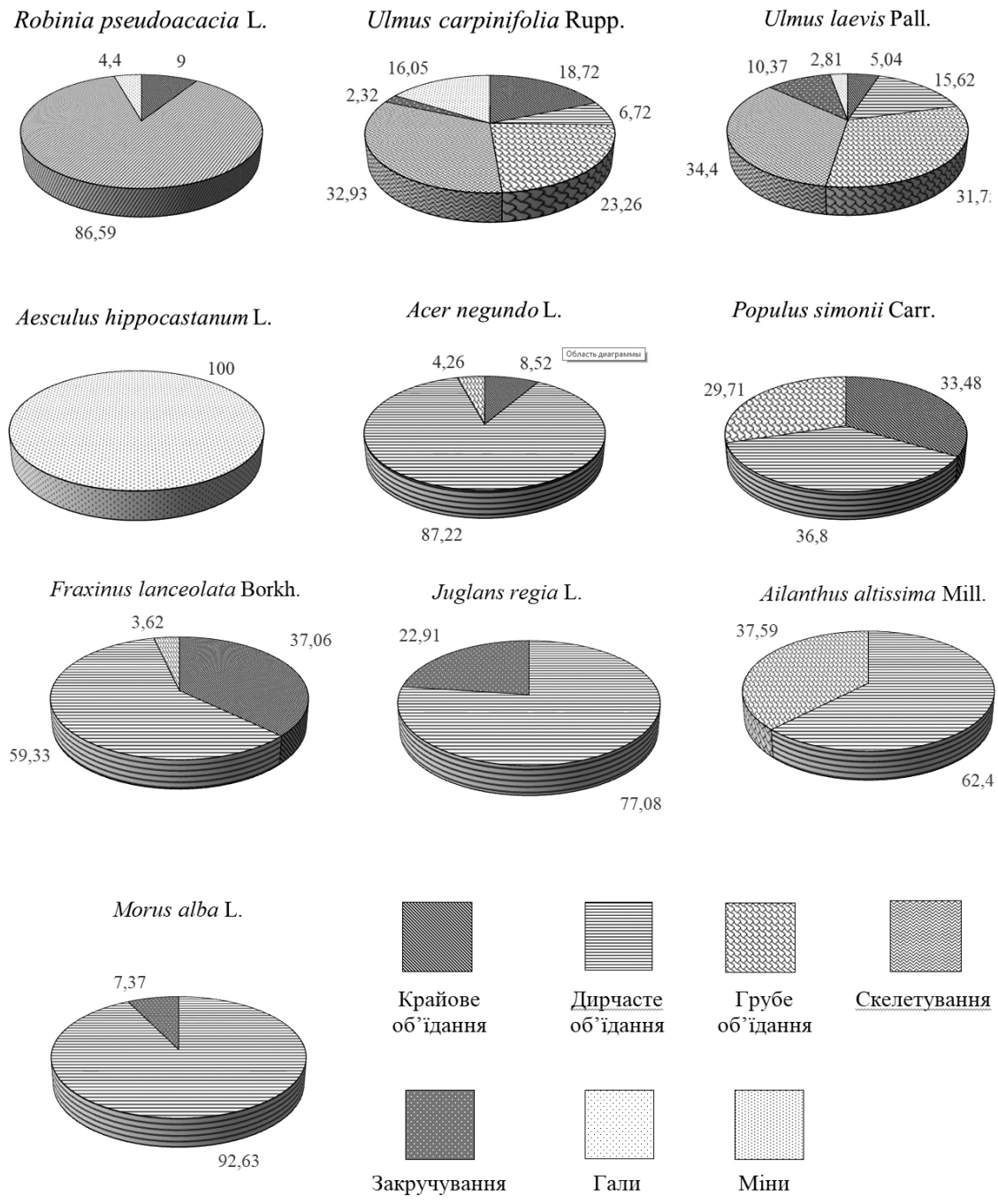


Рис. 2. Структура пошкоджень листків деревних рослин санітарно-захисної зони ПАТ «Укрграфіт», % від загального числа пошкоджень

листків спричиняв трубкокрут березовий (*Byctiscus betulae* L.) [20].

При обстеженні листків *Fraxinus lanceolata* Borkh. спостерігали неправильно порізані з країв листові пластинки, які утворювали різної величини виступи й заглиблення, подекуди значна частина листової пластинки була з'їдена фітофагами до середньої жилки. Об'їдання листя дерев роду ясеневі викликали жучки шпанки ясеневої (*Lytta vesicatoria* L.), а також дорослі комахи ясеневого білокрапкового пильщика (*Macrophya punctum album* L.). Личинки виїдали отвори в листках, а дорослі комахи об'їдали листки. На ділянці № 2 кількість пошкоджених листових пластинок *Fraxinus lanceolata* Borkh. була майже в 1,5 раза менше, ніж на ділянці № 1.

Як у більшості обстежених видів дерев на території ПАТ «Запорізький виробничий алюмінієвий комбінат», листя *Quercus robur* L. мали дірчасте об'їдання, а також скелетування і закручування. Жуки родини *Chrysomelidaea* вигризають неправильної форми овальні отвори, а їх личинки скелетують листя без ушкодження жилок. На листках нижнього ярусу *Quercus robur* L. виявили також гусениці лунки сріблястої (*Phalera bucephala* L.).

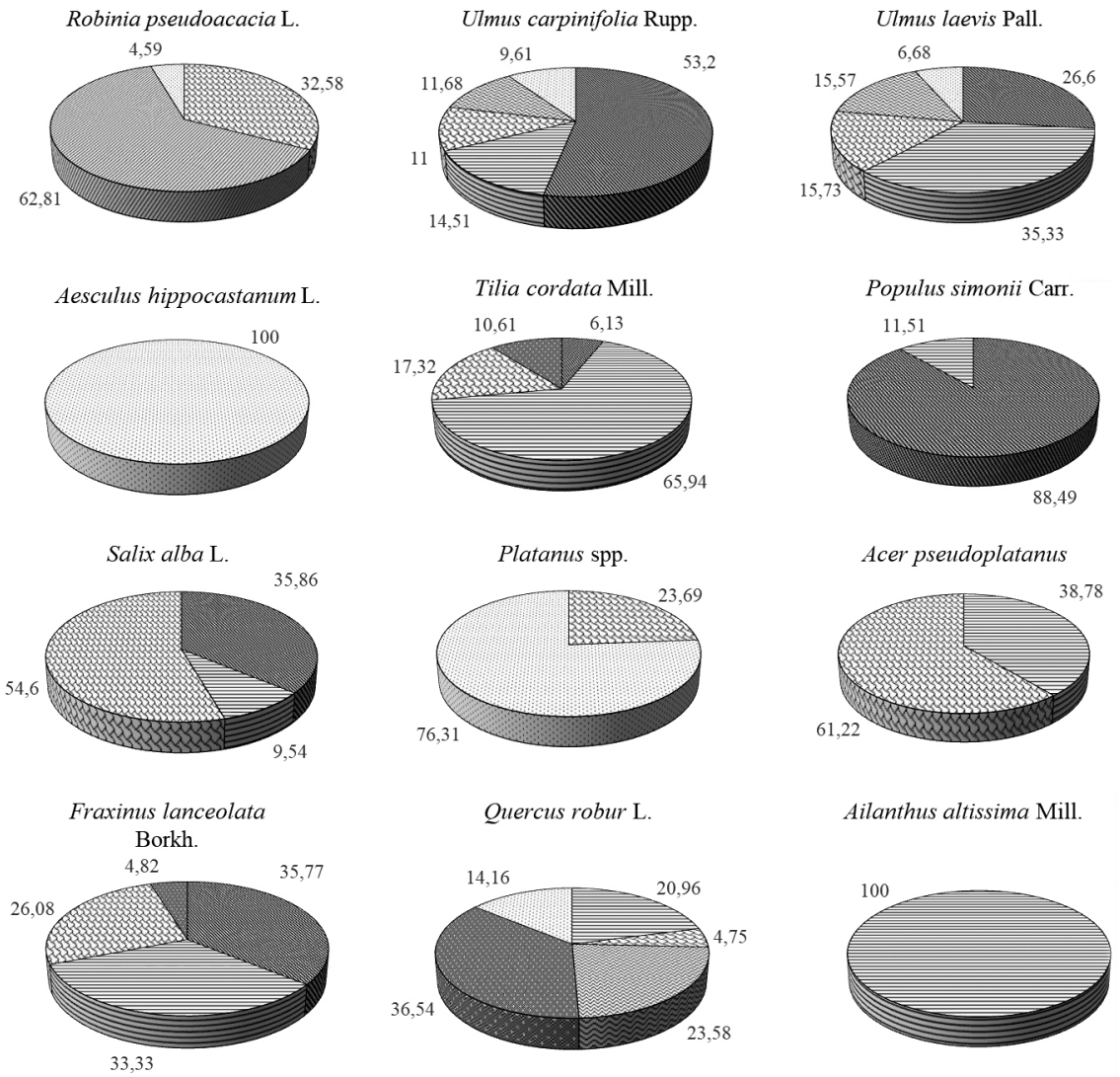


Рис. 3. Структура пошкоджень листків деревних рослин санітарно-захисної зони ПАТ «Запорізький виробничий алюмінієвий комбінат», % від загального числа пошкоджень

Перші дві генерації цього фітофага скелетують листя, а третя й наступні – з'їдають їх. Закручування листя дубу викликала зелена дубова листовійка (*Tortrix viridana* L.). Самка *T. viridana* L. об'їдає лист, верхню частину листка згортає у вигляді короткого боковидного пакета, після чого відкладає в ньому одне яйце. Закручування листя склало до 6 % від усіх типів пошкоджень листків на модельних видах дерев 2-ї ділянки.

Структура пошкодження листя у домінувальних видів фанерофітів санітарно-захисних промислових зон демонструє, що частка різних типів пошкоджень листових пластинок у досліджуваних деревних порід значно відрізняється. Найбільша кількість пошкоджень припадає на дірчасте, крайове та грубе об'їдання. Скелетування листя виявлено тільки у родини *Ulmaceae*, *Quercus robur* L., а гали – на листках *Robinia pseudoacacia* L. й подекуди *Tilia cordata* Mill. Стійкими до пошкоджень фітофагами були листя *Ailanthus altissima* Mill. та *Robinia pseudoacacia* L., проте найбільш чутливими до шкідників виявилися рослини, що належать до родини *Ulmaceae*. Проведений аналіз ступеня пошкоджень листків деревних рослин на досліджуваних ділянках дозволяє розташувати їх в такому порядку (від найбільш стійкого до найбільш чутливого до фітофагів): ділянка № 1 – *Ailanthus altissima* Mill. → *Robinia pseudoacacia* L. → *Morus alba* L. → *Juglans regia* L. → *Populus simonii* Carr. → *Ulmus laevis* Pall. → *Acer negundo* L. → *Fraxinus lanceolata* Borkh. → *Ulmus carpinifolia* Rupp. → *Aesculus hippocastanum* L.; ділянка № 2 – *Ailanthus altissima* Mill. → *Acer pseudoplatanus* → *Salix alba* L. → *Robinia pseudoacacia* L. → *Quercus robur* L. → *Populus simonii* Carr. → *Fraxinus lanceolata* Borkh. → *Ulmus laevis* Pall. → *Platanus spp*. → *Ulmus carpinifolia* Rupp. → *Tilia cordata* Mill. → *Aesculus hippocastanum* L. Отже, *Ailanthus altissima* Mill. та *Robinia pseudoacacia* L.



Ulmus carpinifolia Rupp. (скелетування та крайове об'їдання листя)



Ulmus carpinifolia Rupp. (дирчасте об'їдання)



Ulmus laevis Pall. (мінові ходи)



Tilia cordata Mill. (гали)



Tilia cordata Mill. (закручування листя)



Aesculus hippocastanum L. (мінові ходи)



Quercus robur L. (скелетування)



Fraxinus lanceolata Borkh. (грубе об'їдання листя)



Robinia pseudoacacia L. (міни)

Рис. 4. Типи пошкоджень листків деревних рослин санітарно-захисних зони промислових підприємств м. Запоріжжя

виявилися найменш чутливими деревами до шкідників-фітофагів на обох досліджуваних територіях. Стійкість до пошкоджень листків *Acer pseudoplatanus* і *Salix alba* L. на 2-й ділянці дозволяє рекомендувати висаджувати ці деревні рослини й на інших промислових територіях для виконання ряду екологічних функцій. Окрім того, інші автори показали, що ці рослини є ефективними поглиначами органічних й неорганічних полютантів [27].

Головні висновки. Проведений порівняльний аналіз структури пошкоджень фанерофітів санітарно-захисних зон промислових підприємств Запорізького регіону. Стресостійкими деревними рослинами виявилися представники виду *Ailanthus altissima* Mill. На модельних гілках відмічали до 2 % пошкоджених листків від загальної кількості (незначні дірчасті та грубі об'їдання). Основні пошкодження листків у *Robinia pseudoacacia* L. представлені галами (86,59 % та 62,81 %, відповідно, на ділянці № 1 та № 2), що спричинив *Obolodiplosis robiniae* Hald. Проте сумарний відсоток ураження листків із усієї досліджуваної вибірки незначний (5,22 % та 10,22 %, відповідно, на 1-й та 2-й території). Найбільш чутливими до фітофагів були деревні рослини родини *Ulmaceae.* Листки *U. carpinifolia* Rupp. та *U. laevis* Pall. потерпали від пошкоджень листової поверхні листоїдами (*Coleoptera: Chrysomelidaea*). Домінувальний тип пошкоджень – скелетування, який майже не зустрічався на інших модельних рослинах.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати проведених досліджень можуть бути використані науковцями, студентами закладів вищої освіти, спеціалістами фітосанітарної служби при екологічному моніторингу лісових екосистем й плануванні озеленення територій, прилеглих до промислових підприємств. Перспективою подальших досліджень є вивчення фітофагів і викликаних ними пошкоджень листків деревних рослин в санітарно-захисних зонах ПАТ «Запоріжтрансформатор», «Запоріжсталь», «Дніпроспецсталь» та інших міст України з потужним промисловим комплексом.

Література

1. Неверова О.А. Применение фитоиндикации в оценке загрязнения окружающей среды. *Биосфера.* 2009. № 1 (1). С. 82–92.
2. Yudytska I., Klechkovskyi Yu. Species composition of harmful entomocomplex in peach orchards of Southern Ukraine. *Scientific Horizons.* 2021. 24(1). P. 61–67.
3. Голобородько К.К. Інвазійні моліі-строкатки *(Lepidoptera, Gracillariidae)* України: екологія, масштаби інвазії : дис. ... д-ра біол. наук : 03.00.16, 03.00.24. Дніпро, 2021. 310 с.
4. Приседський Ю.Г. Характеристика стійкості деревних та чагарникових рослин до забруднення повітря сполуками сірки, фтору та нітрогену. *Вісник Харківського національного університету.* 2014. № 21. С. 162–167.
5. Kaur N., Gupta A.K. Signal transduction pathways under abiotic stresses in plant. *Current Science.* 2005. Vol. 88. P. 1771–1780.
6. Neill S.J., Desikan R., Clarke A., Roger D. Hurst, John T. Hancock. Hydrogen peroxide and nitric oxide as signalling molecules in plants. *Journal* of *Experimental Botany*. 2002. Vol. 53. P. 1237–1247.
7. Пономарева Е.А., Бессонова В.П. Структура повреждений листьев вредителями древесных растений в примагистральных лесополосах. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета.* № 1(135). 2016. С. 77–82.
8. Бессонова В.П., Іванченко О.Є. Оцінка видового різноманіття та життєвого стану придорожніх насаджень пр. С. Нігояна м. Дніпро. *Питання біоіндикації та екології.* 2019. Вип. 24, № 1. С. 36–56.
9. Прогноз фітосанітарного стану агроценозів Тернопільської області та рекомендації щодо захисту рослин у 2022 році. Управління фітосанітарної безпеки Головного управління Держпродспоживслужби в Тернопільській області. 2022. 129 с.
10. Симочко В.В., Піпаш М.М., Олень А.Б. Порівняльний аналіз чисельності комах-фітофагів яблуневих насаджень з різним ступенем захисту. *Науковий Вісник Ужгородського університету: Серія «Біологія».* 2012. Вип. 32. С. 88–92.
11. Сахненко В.В., Сахненко Д.В. Багаторічний аналіз динаміки розвитку та розмноження шкідників на пшениці озимій. *Таврійський науковий вісник.* 2019. № 107. С. 159–164.
12. Хромих Н.О., Більчук В.С., Россихіна-Галича Г.С., Вінниченко О.М. Сезонна динаміка антиоксидантних процесів у листках *Acer negundo* за дії полютантів. *Вісник Дніпропетровського університету: Серія «Біологія, екологія».* 2014. Том 22(1). С. 71–76.
13. Секун Н.П. Проблемы резистентности вредных организмов к пестицидам. *Вісник аграрної науки.* 2000. № 10. С. 19–21.
14. Мацях І.П., Крамарець В.О. Інвазії комах-філофагів на територію України. *Наукові праці Лісівничої академії наук України.* 2020. Т. 20. С. 11–25.
15. Зінченко О.О., Алексик М.В. До питання вивчення урбанофлори міста Ужгорода. *Проблеми збереження біорізноманіття українських Карпат :* матеріали IX регіональної конференції молодих вчених та студентів із міжнародною участю 5–6 травня 2016 р. Ужгород : ДВНЗ «УжНУ», 2016. С. 65.
16. Скляренко А.В., Бессонова В.П. Таксаційні характеристики та життєвий стан деревних рослин санітарно-захисної зони ПАТ «Український графіт». *Науковий вісник НЛТУ України.* 2017. Т. 27, № 1. С. 83–87.
17. Скляренко А.В., Бессонова В.П. Оцінка щільності та стану зелених насаджень санітарно-захисних зон промислових підприємств м. Запоріжжя в динаміці з використанням даних супутника Landsat. *Науково-практичний журнал «Екологічні науки».* 2020. №1(28). С. 64–77.
18. Рубан М.Б., Гадзало Я.М. Сільськогосподарська ентомологія [підручник] ; за ред. М.Б. Рубана. К. : Арістей, 2008. 520 с.
19. Марченко А.Б. Лісова ентомологія. К. : КНТ, 2015. 133 с.
20. Цилюрик А.В., Шевченко С.В. Лісова фітопатологія. К. : КВІЦ, 2008. 464 с.
21. Гойчук А.Ф., Решетник Л.Л. Лісова фітопатологія у визначеннях, рисунках, схемах [2-е видання, перероблене і доповнене]. Житомир : «Полісся», 2010. 186 с.

22. Гусев В.И. Определитель повреждений лесных, декоративных и плодовых деревьев и кустарников. М. : Лесная промышленность, 1984. 472 с.
23. Берест З.Л., Титар В.М. Робінієва крайова галиця. *Карантин та захист рослин.* 2007. № 7. С. 24–26.
24. Мартынов В.В., Никулина Т.В., Левченко И.С. Инвазивные вредители робинии ложноакациевой (*Robinia pseudoacacia* L., 1753) в степной зоне Восточного Причерноморья. *X Чтения памяти О. А. Катаева*. 2018. Т. 2. С. 72.
25. Мателешко О.Ю., Рошко В.Г. Твердокрилі *(Insecta, Coleoptera)* м. Ужгород. *Науковий вісник Ужгородського університету: Серія «Біологія».* 2006. Вип. 19. С. 231–242.
26. Мартиненко В.Г. Каштанова мінуюча міль в Україні. *Наукові записки.* 2010. Вип. 10. Ч. 1. С. 61–62.
27. Ліханов А.Ф. Поліфункціональна організація і трансформація вторинного метаболізму деревних рослин у лісових урбофітоценозах: дис. ... д-ра біол. наук : 06.03.01. Київ, 2020. 440 с.

УДК 504.056; 504.54.062.4;631.618
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.24

ГІРНИЧО-ПРОМИСЛОВІ ЛАНДШАФТИ ПРАВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ ЯК ПОТЕНЦІЙНІ СТРУКТУРНІ ЕЛЕМЕНТИ РЕГІОНАЛЬНОЇ ЕКОМЕРЕЖІ

Мудрак О.В.[1], **Дем'янюк О.С.**[2], **Магдійчук А.П.**[2]
[1]Комунальний заклад вищої освіти «Вінницька академія безперервної освіти»
вул. Грушевського, 13, 21000, м. Вінниця
[2]Інститут агроекології і природокористування Національної академії аграрних наук України
вул. Метрологічна, 12, 03143, м. Київ
ov_mudrak@ukr.net, demolena@ukr.net; mahdiichuk@gmail.com

В запропонованій статті розглянуто можливість внесення гірничо-промислових ландшафтів в структуру регіональної екологічної мережі в якості відновлювальних територій. Зазначено, що після завершення видобування корисних копалин, обов'язковим етапом є здійснення заходів з відновлення, що впливає на подальше визначення шляхів рентабельного використання цих територій, а саме етапів сільськогосподарської, лісової, рекреаційної, санітарно-гігієнічної рекультивації тощо. Встановлено, що за успішної реалізації заходів з відновлення, такі об'єкти є потенційним резервом біорізноманіття для подальшої трансформації та включення в якості резерву до структурних елементів регіональної екомережі. Визначено, що основним критерієм вибору відновлювальних територій є збереження в них середовищ існування навіть за часткового знищення природного біорізноманіття. Запропоновано виділяти відновлювальні територій регіональної екомережі на основі таких критеріїв: 1) ступеня природності території; 2) рівня біорізноманіття (відповідає корінним типам певних екосистем); 3) ландшафтно-ценотичної репрезентативності; 4) структурно-функціонального призначення; 5) існуючого режиму збереженості; 6) площі (конфігурації). Авторами за вказаними критеріями було проведено оцінку Андрійковецького піщаного кар'єру, локалізованого в межах Бужоцько-Бузько-Вовкського-Смотрицького місцевого екокоридору, як потенційної відновлювальної території в структурі регіональної екомережі Центрального Поділля. Виявлено, що сумарний показник значимості Андрійковецького піщаного кар'єру, відповідно до проведеної оцінки, відповідає низькому рівню, тому надано рекомендації щодо подальшого проведення виположування та укріплення схилів для стабілізації і наближення умов кар'єру до природних. *Ключові слова:* відновлювальні території, кар'єри, розробка корисних копалин, природоохоронні заходи, Поділля.

Mining and industrial landscapes of the right-bank forest-steppe as potential structural elements of the regional eco-network. Mudrak O., Demianiuk O., Mahdiichuk A.

This proposed article considers the possibility of introducing mining and industrial landscapes into the structure of the regional ecological network as restoration territories. It's indicate, that after the completion of mineral extraction, the mandatory stage is the implementation of restoration measures, which affects the further determination of the ways of profitable use of these territories, namely the stages of agricultural, forestry, recreational, sanitation reclamation, etc. It was established, that with the successful implementation of restoration measures, this objects could be as a potential reserve of biodiversity for further transformation and inclusion as a potential reserve of structural elements of the regional eco-network. It was determined, that the main criteria for the selection of restoration territories is the preservation of habitats in them, even with the partial destruction of natural biodiversity. It was suggested the allocation of restoration territories of the regional eco-network, based on such criteria as: 1) degree of naturalness of the territory; 2) level of biodiversity (corresponds to indigenous types of certain ecosystems); 3) landscape and cenotic representativeness; 4) structural and functional purpose; 5) the existing conservation regime; 6) areas (configurations). According to the specified criteria, the authors evaluated the Andriykovetskyy sand quarry as a potential restoration area in the structure of the regional eco-network of Central Podillya. It was found, that the total indicator of the significance of the Andriykovetskyy sand quarry, according to the conducted assessment, corresponds to a low level, so authors made recommendations for the further laying out and strengthening of the slopes to stabilization and bringing the conditions of the quarry closer to natural ones. *Key words:* restoration territories, quarries, mineral development, nature protection measures, Podillya.

Постановка проблеми. Під дією гірничодобувної промисловості формуються значні площі деградованих земель. Після припинення видобування корисних копалин, постає питання рекультивації кар'єрів як частини гірничо-промислових ландшафтів для їх подальшого використання. Ці території можуть стати перспективними структурними елементами екологічної мережі як відновлювальні ділянки. Вони є потенційним резервом для розширення екологічної мережі і можуть виконувати роль осередків зонального біорізноманіття. Однак це можливо лише за сприятливих еколого-стабілізаційних умов в межах гірничо-промислових ландшафтів за проведення відповідних етапів технічної і біологічної рекультивації.

Актуальність дослідження. В Україні пошук оптимальних еколого-збалансованих рішень для подальшого відновлення і використання гірничо-промислових ландшафтів є пріоритетним науковим напрямом. Процеси природного відновлення біогеоценотичного покриву та рельєфу порушених земель проходять повільно або можуть бути

неефективними і недієвими, оскільки значні порушення перетворюються у стійке техногенне формування: кар'єрні виїмки, утворені за екстенсивного відкритого видобування корисних копалин, характеризуються подальшою зміною ландшафтів, а саме утворенням антропогенних ландшафтних комплексів. Родючість на таких ділянках низька, що робить їх малопридатними для формування стійких фітоценозів. Пошук оптимальних шляхів для покращення ситуації на деградованих ділянках та їх подальше збалансоване використання є актуальним питанням для території Правобережного Лісостепу, зокрема Поділля, оскільки гірничо-промислові ландшафти в регіоні оригінальні за походженням, умовами, просторовим розташуванням, особливістю геологічної і геоморфологічної будови, природними властивостями, розвитком сучасних еколого-фітоценотичних процесів, характером ландшафтно-біотичної структури, відповідним господарським освоєнням [1,2].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими і практичними завданнями. Характерними особливостями гірничо-промислових ландшафтів є значні порушення цінних ґрунтів, біотопів, гідрологічного режиму території. За відсутності контролю часто виникають стихійні звалища, що призводять до забруднення ґрунтових вод. Площі з глибинних, розпушених порід, незакріплені рослинністю, стають осередками водної і вітрової ерозії, що безпосередньо впливає на навколишній ландшафт. Вибір правильного напряму рекультивації впливає на подальший шлях використання: проведення сільськогосподарської рекультивації сприяє формуванню багаторічних насаджень чи кормових угідь; лісова рекультивація може застосовуватись навіть при несприятливих умовах рельєфу; рекреаційну рекультивацію застосовують при розташуванні кар'єрів недалеко від селитебних територій (населених пунктів); санітарно-гігієнічну рекультивацію використовують для консервації девастованих земель тощо [3]. За успішної реалізації заходів з відновлення, такі об'єкти є потенційним резервом біорізноманіття для подальшої трансформації та включення в якості потенційного резерву структурних елементів регіональної екомережі – відновлювальних територій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Використання методик і методів в дослідженнях місць гірничо-промислових розробок залежить від особливостей території та природних умов регіону, типу видобувної сировини, ступеню антропогенного порушення тощо. За результатами досліджень в Україні, рекультиваційні методи найчастіше спрямовувались на подальше використання девастованих земель в лісовому і сільському господарствах [4,5]. Відомі шляхи інтеграції гірничо-промислових ландшафтів в структури міст за основними принципами проведення відновлювальних робіт [6]. Окрім відомих, виділяються і нові цілі рекультивації, зокрема відновлення природних екосистем, які не будуть експлуатуватися, за винятком використання їхнього рекреаційного потенціалу (із застосуванням геоботанічних методів і методів геологічної розвідки) [7]. Гірничо-промислові ландшафти можуть використовуватись в сфері геологічного і краєзнавчого туризму, особливо цікавими в цьому аспекті є кар'єри з добування граніту, графіту і каоліну, оскільки видозмінений рельєф різко відрізняється від природних елементів ландшафту та містить на відносно обмеженій території різноманітні природні й антропогенні комплекси [8]. Вони можуть також використовуватись і в рекреаційних цілях, зокрема створення рекреаційної зони навколо техногенних озер і гідротехнічних парків, які призначені для створення умов збереження біорізноманіття та відновлення девастованих ґрунтів. Також їх доцільно використовувати у просвітницькій і природоохоронній діяльності [9]. Відновлення цих ділянок має здійснюватись за ландшафтно-екологічними принципами, які будуть враховувати природні чинники та сприяти формуванню високопродуктивних фітоценозів, припинення негативного впливу на компоненти довкілля.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Особливо актуальним та недостатньо вивченим для Поділля є питання подальшої рекультивації піщаних кар'єрів. Стан видобування піску в регіоні наведено в таблиці 1 [10].

Таблиця 1

Стан видобування піску в межах Поділля

№	Область	Кількість родовищ / з них не розробляється	Балансовий запас, тис. м^3
1	Східне Поділля (Вінницька обл.)	41/30	43811,9
2	Центральне Поділля (Хмельницька обл.)	38/23	75759,8
3	Західне Поділля (Тернопільська обл.)	47/18	63881,1

Як приклад відновлення порушених екосистем гірничо-промислових ландшафтів Поділля, в цій статті досліджується Андрійковецький піщаний кар'єр, видобування корисної копалини в якому було призупинено у 2015 році.

Новизна. Вперше було проведено оцінку функціональних можливостей потенційної відновлювальної території регіональної екомережі на прикладі Андрійковецького піщаного кар'єру в умовах Центрального Поділля.

Методологічне або загальнонаукове значення. За успішної реалізації заходів з відновлення іренатуралізації гірничо-промислових ландшафтів Центрального Поділля, проведення типологічного

ранжування, об'єкти видобування корисних копалин стають своєрідними елементами ще не сформованої екомережі регіону, цінність якої проявляється у просторово-функціональному об'єднанні таких елементів у екомережу, що дозволить її частково оптимізувати з позицій фізико-географічного і геоботанічного районування території, забезпечити збалансоване природокористування та сталий розвиток регіону [2].

Виклад основного матеріалу. Відновлювальні території (ВТ) як просторові елементи регіональної екомережі створюють з метою подальшого її розвитку і удосконалення функціонування. Ця зона – потенційний резерв території, за рахунок якої можливе розширення екомережі у майбутньому, особливо площ ключових і сполучних територій. Певна ВТ після вжиття відповідних заходів щодо ренатуралізації може бути включена до складу ключової чи сполучної території або перетворитися на них. Тому основним критерієм вибору ВТ є збереження в них середовищ існування (оселищ), якщо навіть природне біорізноманіття частково знищене. Нами запропоновано виділяти ВТ регіональної екомережі на основі таких критеріїв: 1) ступеня природності території; 2) рівня біорізноманіття (відповідає корінним типам певних екосистем); 3) ландшафтно-ценотичної репрезентативності; 4) структурно-функціонального призначення; 5) існуючого режиму збереженості; 6) площі (конфігурації). Через встановлені критерії (таблиця 2), оцінку ВТ регіональної екомережі можна визначати за 5-бальною шкалою: 1 бал – низька, 2 – задовільна, 3 – добра, 4 – висока, 5 – дуже висока.

Оцінка ВТ регіональної екомережі дає можливість здійснити їх типологічне ранжування, встановивши 5 груп за сумарним показником значущості: 1 група – найвищий показник в регіоні; 2 група – високий; 3 група – середній; 4 група – задовільний; 5 група – низький. Здійснене типологічне ранжування ВТ регіональної екомережі Поділля засвідчило про їх істотну диференційованість за основними критеріями виділення. ВТ 1-ої, 2-ої і 3-ої груп переважно відповідають вказаним критеріям, їх зони можуть бути залучені до виконання комплексних науково-дослідних робіт для виділення на місцевості (встановлення конкретних меж, конфігурації). ВТ 4-ої і 5-ої груп потребують проведення комплексу заходів охорони, які б забезпечували збереження і відтворення біорізноманіття в структурі природних коридорів регіональної екомережі. Виділені ВТ репрезентують усі групи ландшафтів Поділля, відповідають загальнонауковим і практичним підходам до їх формування. Вони охоплюють практично всі характерні для регіону типи біотопів (оселищ) і, відповідно, флористично-фауністичне різноманіття. Однак формуванню ВТ у низці ландшафтів

Таблиця 2

Удосконалені критерії відбору для створення відновлювальних територій регіональної екомережі

Критерій	Ознаки відповідності критерію
Природності	Відновлювальна територія повинна мати природні межі
Ефективної довжини	Довжина відновлювальної території не має бути меншою від відстані, на яку мігрують чи розселяються особини популяцій
Ефективної ширини	Ширина відновлювальної території повинна давати можливість популяціям розселятися або мігрувати вздовж неї з необхідною ефективністю. Розрахунок ширини відновлювальної території здійснюють залежно від типу прилеглих угідь. Оптимальну ширину відновлювальної території екологічного коридору у вигляді лінійних смуг доцільно встановлювати відповідно до водоохоронних зон річкової і яружно-балкової мережі, прибережно-захисних смуг, полезахисних лісосмуг тощо
Ефективної площі	Оптимальна площа відновлювальної території повинна бути в двічі більшою від площі заповідного об'єкта (ключової території, біоцентру)
Конфігурації	Оптимальною конфігурацією відновлювальної території є форма кола чи еліпса
Екотопічний	Відновлювальна територія за природними умовами повинна бути подібною до ключових чи сполучних територій. Вона має поєднувати чи забезпечувати умови для тимчасового перебування видів, які мігрують на великі відстані чи кочують
Територіального зв'язку	Відновлювальна території має бути суцільною
Біорізнома-нітності	Відновлювальна територія повинна мати добре збережений біогеоценотичний покрив і рівень біорізноманіття, що відповідає корінним типам певних екосистем
Екосистемності	Чим більше у відновлювальної території екосистем, тим вона стійкіша
Созологічний	Відновлювальна територія може включати ділянки, на яких зростають рідкісні, ендемічні, реліктові види рослин чи рідкісні фітоценози, які з певних причин відсутні у природних ядрах чи природних коридорах екомережі. Відновлювальна територія може включати оселища, на яких мешкають рідкісні, ендемічні, реліктові види тварин чи цілі популяції, які з певних причин відсутні у природних ядрах чи природних коридорах екомережі

Таблиця 3

Оцінка Андрійковецького піщаного кар'єру як потенційної ВТ регіональної екомережі

Назва території	СП	Рівень БР	ЛЦР	ФП ВТ	РЗ ВТ	Площа	Сума балів
Андрійковецький піщаний кар'єр	2	3	1	2	1	1	10

Примітка. СП – ступінь природності; Рівень БР – рівень біорізноманіття; ЛЦР – ландшафтно-ценотична репрезентативність; ФП ВТ – функціональне призначення відновлюваної території; РЗ ВТ – режим збереженості відновлюваної території.

передуватиме створення заповідних об'єктів, проведення значних природовідновних ренатуралізаційних заходів, оптимізація землекористування структурних елементів екомережі. Саме на етапі реалізації локальних схем регіональної екомережі у розрізі адміністративних районів, територіальних громад (міських, селищних, сільських) просторова структура пропонованих ВТ має бути деталізована на рівні окремих виділів землекористування з наданням їм різного статусу [1].

Виділення ВТ – Андрійковецького піщаного кар'єру як складової гірничо-промислового ландшафту в структурі регіональної екомережі Центрального Поділля проводили з урахуванням наступних критеріїв (за умовно-прийнятою 5-бальною шкалою):

1. Ступінь природності (трансформованості) території/ландшафту. Здійснювали за допомогою карти, де визначали ступінь поширення природних елементів ландшафту і зафіксували його в межах 11–20%;

2. Рівень біорізноманіття. Цей критерій визначали з врахуванням ботанічної і фауністичної значимості. За результатами попередніх досліджень [11] встановлено, що рослинність піщаного кар'єру не має созологічного значення, однак в його межах вже була зафіксована поява таких видів як крук (*Corvus corax)*, серпокрилець чорний (*apus apus)*, куріпка сіра (*perdix perdix)*, які включені до ІІІ Додатку Бернської конвенції і потребують охорони [12].

3. Ландшафтно-ценотична репрезентативність. Для її визначення враховували поширення в межах типових і унікальних ландшафтів рідкісних фітоценозів (лісових, чагарникових, наскельно-степових, степових, лучно-степових, лучних, лучно-болотних, водно-болотних, прибережно-водних, а також тих, що внесені до ЗКУ). В межах піщаного кар'єру рідкісні типи фітоценозів не фіксувалися;

4. Функціональне призначення. Андрійковецький піщаний кар'єр розташований в межах Бужоцько-Бузько-Вовкського-Смотрицького місцевого екокоридору [13];

5. Існуючий режим збереженості – задовільний;

6. Площа об'єкту. Площа піщаного кар'єру становить 0,015 км^2.

Результат оцінки функціональних можливостей потенційної ВТ (в балах) наведено у таблиці 3.

Головні висновки. Сумарний показник значимості Андрійковецького піщаного кар'єру як потенційної ВТ в структурі регіональної екомережі, відповідно до проведеної оцінки, відповідає низькому рівню. Основний вплив на поширення зонального біорізноманіття здійснюють геологічні, орографічні, едафічні, кліматичні і гідрологічні умови. Тому нами рекомендується провести такі обов'язкові інженерні заходи рекультивації як виположування і укріплення схилів. Це в подальшому буде сприяти швидшому поширенню зонального біорізноманіття, наближенню умов піщаного кар'єру до природних та виконання функції ВТ в структурі регіональної екомережі.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати проведеного дослідження можуть застосовуватись для реалізації регіональної екомережі за рахунок виділення гірничо-промислових ландшафтів в якості ВТ.

Література

1. Мудрак О.В. Збалансований розвиток екомережі Поділля: стан, проблеми, перспективи: монографія. Вінниця : «СПД Главацька Р.В.», 2012. 914 с.
2. Мудрак О.В., Мудрак Г.В. Заповідна справа : навч. посіб. для студентів галузі знань 10 «Природничі науки». Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2020. 640 с.
3. Олійник Я.Б., Шищенко П.Г., Гавриленко О.П. Основи екології : підручник. К. : Знання, 2012. 558 с.
4. Давидова І.В., Шомко О.М. Фізико-механічний склад ґрунтів рекультивованих територій після видобування ільменіту на Житомирському Поліссі. Технічна інженерія, 1(89), 2022. С. 166–175. https://doi.org/10.26642/ten-2022-1(89)-166-175
5. Карпюк З.К., Чижевська Л.Т. Напрямки раціонального використання порушених земель Волинської області. *Природні ресурси регіону: проблеми використання, ревіталізації та охорони:* Матеріали ІІІ міжнародного науковогосемінару (Львів, 5–7 жовтня 2018 р). Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2018. С. 156–160.
6. Харченко К.С., Чорна В.І., Ворошилова Н.В., Бєлкіна М.Д. Принципи ревіталізації відпрацьованих кар'єрів на прикладі м. Кривий Ріг. Український журнал будівництва та архітектури, № 2, 2021. С. 94–102. DOI: 10.30838/J. BPSACEA.2312.270421.106.757
7. Хом'як І.В., Гарбар Д.А., Андрійчук Т.В., Костюк В.С., Власенко Р.ПДинаміка відновлюваної рослинності піщаних кар'єрів Житомирського Полісся. Екологічні науки, 6 (39), 2022. С. 204–207. DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.35

8. Ситник О.І., Хлевнюк О.Я. Вивчення об'єктів антропогенної морфоскульптури під час навчальних практик та перспективи їх використання для геотуризму. *Туризм і гостинність: стан, проблеми, перспективи* : матер. IV Міжнар. наук.-практ. конф. (18–19 жовтня 2018 р., м. Черкаси). Черкаси : Видавець О.М. Третяков, 2018. С. 55–61.
9. Копій М.Л., Гончар В.М., Копій С.Л. та ін. Фітомеліоративна роль рослинного покриву у відтворенні девастованих земель в межах сірчаних розробок Західного Лісостепу : монографія. Рівне : НУВГП, 2019. 230 с.
10. Мудрак О., Магдійчук А. Антропогенний вплив видобування піску на компоненти довкілля в межах Поділля. *Екологічна безпека – сучасні напрямки та перспективи вищої освіти:* II Міжнародна інтернет-конференція (Харків, 25 лютого 2022 року). С. 82–84.
11. Мудрак О.В., Магдійчук А.П. Екологічні особливості флористичної структури девастованих земель Правобережного Лісостепу України. Агроекологічний журнал, №1, 2022. С. 32–37. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2022.257123
12. Годлевська О., Парнікоза І., Різун В. та ін.. Фауна України: охоронні категорії: довідник. Вид.2. Київ, 2010. 80 с.
13. Регіональна схема формування екологічної мережі Хмельницької області. URL: https://www.adm-km.gov.ua/?page_id=9773

УДК 581.9
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.25

АНАЛІЗ АДВЕНТИВНОЇ ФРАКЦІЇ ФЛОРИ ДРОГОБИЦЬКОГО РАЙОНУ

Павлишак Я.Я.[1], **Даньків В.Я.**[2]
[1]Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка
вул. Шевченка, 23, 82100, м. Дрогобич
[2]Інститут сільського господарства Карпатського регіону
Національної академії аграрних наук України
вул. Грушевського, 5, 81115, с. Оброшине
pavlyshak2210@ukr.net, victoriya2206@ukr.net

Поява адвентивних видів у складі місцевої флори, зростання фітоценотичної ролі цих видів у формуванні рослинних угруповань є одним із найбільш небажаних наслідків антропічної трансформації аборигенної флори. Значна кількість адвентивних рослин за короткий час поширюється по всій країні, інші ж навпаки поволі розселяються, проте збільшують свої ареали, а треті майже не поширюються. Велика кількість рослин гине одразу або через певний час. Адвентивні види у флорі захоплюють антропогенно змінені місця, утворюючи зарості, стають злісними сегетальними бур'янами регіону, негативно впливають на збереження біорізноманіття, заміщаючи рослини-апофіти. Україна за рівнем адвентизації посідає досить високе місце серед інших флор світу, де види адвентивної флори складають 14 % від загального числа видів.

В статті представлені результати дослідження адвентивної фракції флори Дрогобицького району. Складено конспект адвентивної фракції флори рослин та систематизовано їх по родинах, класах, відділах. Встановлено систематичний, біоморфологічний, географічний та еколого-ценотичний аналіз флори. Проаналізовано життєві форми рослин за характером розташування бруньок відновлення щодо поверхні землі та снігового покриву.

У результаті проведених досліджень виявлено зростання 28 адвентивних видів, які належать до 26 родів, 12 родин. У систематичному спектрі дослідженої флори усі види належать до відділу *Magnoliophyta.* 85,7 % представники класу *Magnoliopsida*.

Провідне місце у спектрі флори займає родина *Asteraceae* 28,6 %. За життєвими формами переважають терофіти – 53,3 %. Аналіз центрів походження показав, що основу становить європейський тип 26,7 %. Провідне місце у флорі за відношенням до вологи посідають види мезофітної групи 64,3 %, за вимогливістю до світла переважають геліофіти 57,1 %, за відношенням до родючості ґрунту – евтрофи 57,1 %.

Найбільша кількість адвентивних видів трапляється вздовж доріг, біля смітників, на закинутих місцях. *Ключові слова:* адвентивні види, моніторинг, структурний аналіз, археофіт, кенофіт.

Analysis of the adventitious flora fraction of Drohobych district. Pavlyshak Y., Dankiv V.

The appearance of adventitious species in the local flora, the growth of the phytocenotic role of these species in the formation of plant communities is one of the most undesirable consequences of the anthropic transformation of the aboriginal flora. A significant number of adventive plants spread throughout the country in a short time, while others, on the contrary, are slowly settling, but increasing their habitats, and others are almost not spreading. A large number of plants die immediately or after some time.

Adventive species in the flora capture anthropogenically altered places, forming thickets, becoming vicious segetal weeds in the region, negatively affecting the conservation of biodiversity, replacing apophyte plants.

In terms of adventism, Ukraine ranks quite high among other flora in the world, where the species of advent flora accounts for 14 % of the total number of species.

A study of the adventitious flora fraction in the meadow and forest groups of Drohobych district was peformed.

The summary of adventitious flora for the plants is made, and families, classes, genus were systematized. Systematic, biomorphological, geographical, ecological-coenotic analysis of flora was carried out. The key role of the different plant life forms by the type of root sestems and position of revival buds about the blanket of snow in restore vegetation of grasslands were definited.

As a result of our research, the growth of 28 adventitious species was found, which belong to 26 genera, 12 families. In the general systematic spectrum of the studied flora, all species belong to the division *Magnoliophyta*. 85,7 % are representatives of the class *Magnoliopsida*.

The leading place in the spectrum of flora is occupied by the family *Asteraceae* 28,6 %. By life forms, therophytes predominate – 53,6 %. Analysis of centers of origin showed that the basis is the European type 26,7 %. The leading place in the flora in relation to moisture is occupied by species of mesophytic group 64,3 %, in terms of light requirements heliophytes 57,1 %, dominated eutrophs 57,1 %, dominated in relation to soil fertility. The largest number of adventions species occus along roads, near garbage, on abandoned sites. *Key words:* adventitious species, monitorin, structural analysis, flora, arheophytes, kenophytes.

Постановка проблеми. Поширення адвентивних рослин є одним із чинників, який останнім часом все більше негативно впливає на аборигенну флору. Це одна з глобальних проблем, що набуває серйозного регіонального масштабу, оскільки інвазії заносних адвентивних рослин завдають непоправної шкоди існуванню типових аборигенних чи культурних видів та нормальному функціонуванню біоценозів взагалі [1, 2, 7]. Тому дослідження поширення адвентивних видів рослин та вивчення локалізацій їх у аборигенній флорі є дуже важливим, спрямованих на захист типових для регіону аборигенних видів рослин.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Тема дослідження відповідає основним напрямам наукової діяльності кафедри біології та хімії ДДПУ імені Івана Франка і виконувалась в межах науково-дослідної теми: «Моніторинг стану природних, техногенно змінених та урбанізованих екосистем Передкарпаття». Вивчення структури адвентивної фракції флори дозволить прогнозувати та регулювати можливі зміни у рослинних угрупованнях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз адвентивної фракції флори міста Львова наведений у працях Чуби М., Мамчур З. [14]. Поширення та систематичну структуру адвентивних рослин Українських Карпат досліджували Крамарець В. О., Соломаха В. А., Соломаха Т. Д. [6]. Вплив адвентивних видів рослин на лісові екосистеми Українського Полісся досліджено у роботі Тарасевич О. В. [13]. Окремі відомості про адвентивні рослини міста Новий Розділ наведено у праці [8].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Метою нашого дослідження було здійснити аналіз адвентивної фракції флори у складі лісових та лучних угруповань Дрогобицького району.

Новизна. Відомості щодо адвентивної фракції флори Дрогобицького району є дуже фрагментарні і нечисленні. Встановлено та систематизовано дані про адвентивні рослини лучних та лісових угруповань Дрогобицького району.

Складений конспект видів адвентивної фракції флори (с. Лішня) Дрогобицького району на основі власних даних зібраних під час флористичних досліджень, які проводилися маршрутно-експедиційним методом та методом пробних ділянок протягом квітня-жовтня 2020–2021 рр.

Біоморфологічний аналіз адвентивної фракції проводили згідно класифікації К. Раункієра [10] і системою життєвих форм І.Г. Серебрякова [11]. Рясність визначали окомірним методом за шкалою Друде [4]. Для аналізу адвентивної фракції використано історико-географічну класифікацію J. Kornas [15]. Первинні ареали видів їх аналіз здійснено за А. Л. Тахтаджяном [12].

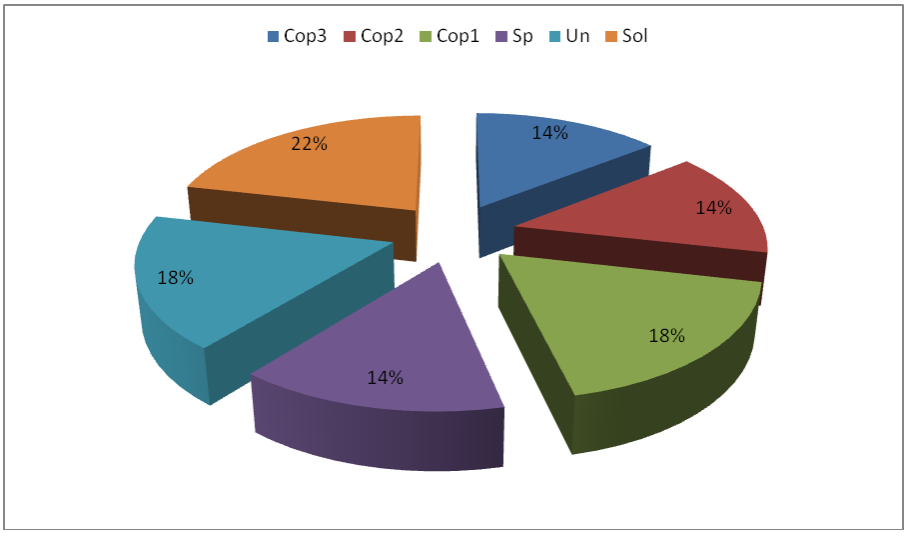
Виклад основного матеріалу. В результаті дослідження виявлено, що адвентивна фракція флори території Дрогобицького району налічує 28 видів, які об'єднані у 12 родин, 26 родів, 2 класи та належать до одного відділу *Magnoliophyta.*

За часом занесення переважають кенофіти – 67,9 %. *Galinsoga parviflora* Cav., *Heracleum sibiricum* L., *Acer negundo* L., *Solidago canadensis* L., *Impatiens parviflora* L., *Reynoutria japonica* Houtt тощо. Археофіти – 32,1% (*Chamomilla recutita* L., *Capsella bursa-pastoris* L., *Lamium album* L., *Artemisia absinthium* L., *Senecio vulgaris* L. тощо.

На території дослідження досить рясно (*Cop1 за шкалою Друде*) зустрічаються 18,0 % адвентивних видів. Це – *Robinia pseudoacacia* L., *Setaria pumila* L. та ін. Дуже рясно (*Cop3*) ростуть 14,0 % (*Capsella bursa-pastoris* L., *Urtica urens* L.) та рясно (*Cop 2*) 14,0 % (*Myosotis arvensis* L., *Sonchus arvensis* L.), рідко (*Sp*) 14,0 % (*Erusimum cheiranthjides* L., Cicorium intubus L. та ін.), поодиноко (*Sol*) 22,0 % (*Fumaria officinalis* L., *Lepidium ruderale* L.) та по одній рослині (Un) виявлено на площі, що становить 18,0 % (діаграма 1). У діаграмі 1 представлено % співвідношення рясності видів за шкалою О. Друде.

У складі рослинних угруповань найбільшу фітоценотичну роль із високим значенням проекційного покриття відіграють такі види, як *Chamomilla recutita L., Myosotis arvensis* L., *Sonchus arvensis* L., *Lamium album* L. тощо.

Аналіз родинного спектру засвідчив, що чотири найбагатших на види родини нараховують 20 видів (71,4 %) від загальної кількості. Домінуючими роди-



Діаграма 1. Співвідношення рясності адвентивних видів за шкалою О. Друде

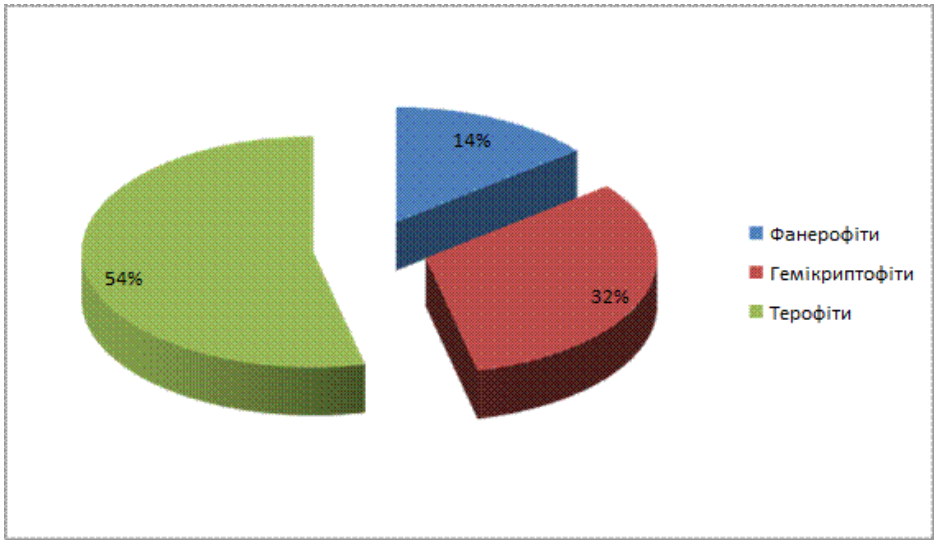
нами виступають *Asteraceae* – 8 видів, *Brassicaceae* – 5, *Poaceae* – 4 та *Lamiaceae* – 3 види. Значна частка у флорі малочисельних родин. Так одно видові родини об'єднують 8 видів, що становить майже 28,6 % від загальної кількості видів.

В спектрі життєвих форм за К. Раункієром [10] переважають терофіти -53,6 % (*Galinsoga parviflora* Cav., *Anthemis arvensis* L. тощо). Далі розмістились гемікриптофіти – 32,1 % (*Centaurea jacea* L., *Souchus arvensis* L., *Cicorium intubus* L., *Artemisia absinthium* L., *Ballota nigra* L.) та фанерофіти – 14,3 % (*Acer negundo* L., *Salix fragilis* L. тощо) (діаграма 2).

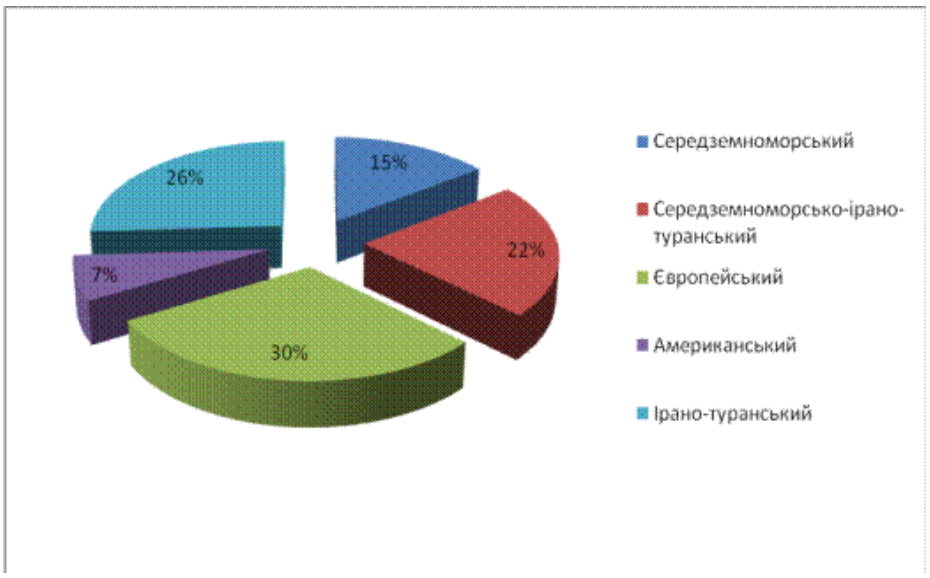
У відповідності до класифікації І. Г. Серебрякова [11] 85,7 % трави, 10,7 % дерева та 3,6 % кущі.

Аналіз розподілу за походженням засвідчує, що переважає європейський тип (8 видів; 26,7 %) – *Centaurea cyanus* Dost., *Salix fragalis* L., *Sonchus arvensis* L. тощо. Друге місце за чисельністю займає ірано-туранський тип (23,3 %) – *Descuraina Sophia* L., *Lepidium ruderale* L., *Thlaspi arvense* L., *Lamium album* L. тощо. До середземноморсько-ірано-туранського типу належать 6 видів (20,0 %) *Myosotis arvensis* L., *Setaria viridis* L., *Cicorium intubus* L. та ін. Середземноморський тип налічує – 4 види (13,3%): *Urtica urens* L., *Fumaria officinalis* L., тощо. Двома видами (10,0%) представлений північноамериканський тип – *Acer negundo* L., та *Galinsoga parviflora* Cav. Один вид (3,6%) невизначений – *Syringa vulgaris* L. (діаграма 3).

За відношенням до режиму зволоження рослини адвентивної фракції поділяються на три групи. Мезофіти нараховують 18 видів (64,3%) – *Lamium album* L., *Souchus arvensis* L., *Thlaspi arvense* L., *Erusimum cheiranthjides* L., *Fumaria officinalis* L., *Malva neglecta* L. та ін. Друге місце у спектрі за



Діаграма 2. Життєві форми рослин за Раункієром



Діаграма 3. Флористичні області походження видів адвентивної фракції

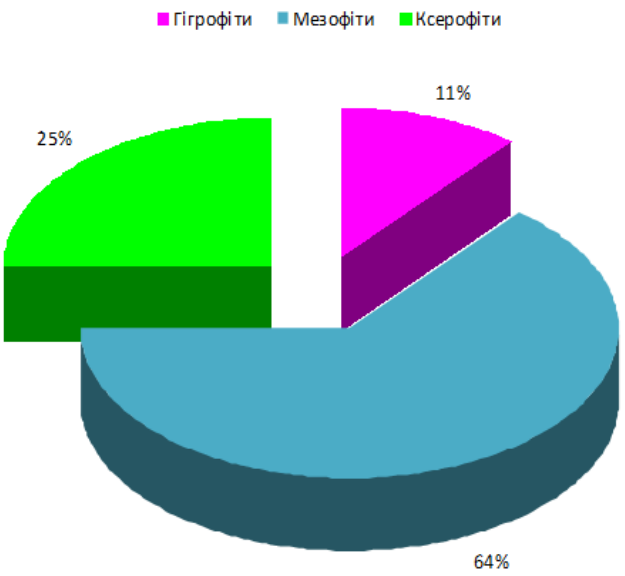
відношенням до води і вологості ґрунту посідають ксерофіти, частка яких становить 25,0 % (7 видів) від загальної кількості видів. До них належать: *Centaurea cyanus* Dost., *Lactuca serriola* L., *Descuraina Sophia* L., *Ballota nigra* L. тощо. Гігрофіти складають 10,7 % (3 види) – *Salix fragilis* L., *Heracleum sibiricum* L., *Galinsoga parviflora* Cav (діаграма 4).

За відношенням рослин до світла переважають геліофіти – 16 видів (57,1%), що характерно для адвентивних фракцій флор багатьох регіонів та України загалом [9] – *Galinsoga parviflora* Cav., *Chamomilla recutita* L., *Anthemis arvensis* L., тощо. Сціогеліофіти – 10 видів (35,7%) – *Salix fragilis* L., *Lamium purpureum* L., *Ballota nigra* L., *Centaurea cyanus* Dost., тощо. Сціофіти – 2 види (7,2%) – *Lamium album* L., *Impatiens parviflora* DC.

Поширення й розвиток рослин тісно пов'язані з родючістю ґрунту, із його трофністю. Найбільш вибагливими до трофності є евтрофні види. Зростання евтрофів приурочене переважно до лісових ґрунтів, які разом з дерново-опідзоленими є панівними.

За відношенням до родючості ґрунту, евтрофи є найчисельнішою групою – 57,1 % (*Anthemis arvensis* L., *Capsella bursa-pastoris* L., *Thlaspi arvense* L., *Lepidium ruderale* L., *Malva neglecta* L.). До мезотрофів належать 39,3 % (*Centaurea jacea* L., *Chamomilla recutita* L., *Lactuca serriola* L., *Ballota nigra* L., *Acer negundo* L., *Myosotis arvensis* L., та ін.). Найменш чисельна група оліготрофів – 3,6 % *(Setaria pumila* L.*)*.

Головні висновки. Таким чином, адвентивна фракція території Дрогобицького району представлена 28 видами, які належать до 26 родів, 12 родин. Усі види представлені одним відділом *Magnoliophyta,* 85,7 % – це представники класу *Magnoliopsida*. За кількістю видів домінує родина *Asteraceae*, їх частка становить 28,6 %. У біоморфологічному аспекті переважають терофіти. За географічним аналізом переважають види європейського типу. Найчисельнішими екологічними групами за ступенем пристосованості до інтенсивності світла є геліофіти, за відношенням до вологості ґрунту – мезофіти, до родючості ґрунту – евтрофи. Потрібно зауважити, що види рослин адвентивної фракції мають господарське значення, зокрема окремі із них використовуються у медицині та є добрими медоносами.



Діаграма 4. Екологічні групи рослин по відношенню до води

Перспективи використання результатів дослідження. Дані досліджень є основою практичних заходів для збереження природної фіторізноманітності та для розробки заходів контролю інвазійних видів рослин.

Література

1. Бурда Р. І., Пашкевич Н. А., Бойко Г. В. Чужорідні види охоронних флор Лісостепу України. Київ : Наук. думка, 2015. 114 с.
2. Бурда Р. І. Концепція сучасної науки про сегетальні бур'яни. Агроекологічний журнал. 2002. № 1. С. 3–11.
3. Бурда Р. І., Патика В. П. Моніторинг фітобіоти сегетальних екосистем. Вісник аграрної науки. 2002. № 7. С. 59–63.
4. Друде О. Екологія рослин: підручник. К. : «Фіона-К». 2003. 208 с.
5. Кучерявий В. О., Соломаха В. А., Соломаха Т. Д. Синтаксономія рудеральної рослинності м. Львова. *Український ботанічний журнал*. 1991. Т. 48. № 3. С. 48–55.
6. Крамарець В. О., Соломаха В. А., Соломаха Т. Д. Синантропізація флори національного природного парку «Сколівські Бескиди». *Науковий вісник НЛТУ України*. 2011. Вип. 21.1 С. 68–74.
7. Мар'юшкіна В. Я. Адвентизація рослинності як наслідок спонтанної та цілеспрямованої інтродукції // Інтродукція рослин. 2002. № 1. С. 49–60.
8. Павлишак Я. Я., Кречківська Г. В. Синантропні рослини в урбанофлорі Новий Розділ Львівської області. *Екологічні науки*. Науково-практичний журнал. 2021. Вип. 6(39). С. 199–203.
9. Протопопова В. В., Шевера М.В. Висвітлення у навчальному процесі проблеми не аборигенних рослин. *Освіта регіону.* 2006. Ч. 1. С. 14–16.
10. Раункиер Х. Жизненные формы высших растений и их изучение. Полевая геоботаника. М. : 1964. С. 146–205.
11. Серебряков І. Г., Чернова О.М. Життєві форми рослин. К. : Лібра, 1986. С. 94–103.
12. Тахтаджян А. Л. Система магнолиофитов. Л. : Наука, 1987. 439 с.
13. Тарасевич О. В. Розповсюдження адвентивних видів трав'яних рослин на Поліссі та можлива загроза для лісового господарства. *Лісівництво та агролісомеліорація.* 2012. Вип. 121. С. 88–94.
14. Чуба М., Мамчур З. Апофіти і адвентивні види у флорі м. Львова. *Вісник Львівського університету*. Серія біологічна. 2018. Випуск 77. С. 109–118.
15. Kornas J. Geographically historical classification of synanthropic plants.Warsaw, 1968. Vol. 25. P. 33–41.

УДК 581.52:634.942(477.60)
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.26

ДИНАМІКА ВМІСТУ ФОТОСИНТЕТИЧНИХ ПІГМЕНТІВ АСИМІЛЯЦІЙНОГО АПАРАТУ *JUNIPERUS MEDIA* MELLE '*MINT JULEP*' В МІСЬКИХ НАСАДЖЕННЯХ СТЕПОВОЇ ЗОНИ УКРАЇНИ

Суслова О.П.
Криворізький ботанічний сад НАН України
вул. Маршака 50, 50000, м. Кривий Ріг
elenasuslova2901@gmail.com

Проведено дослідження вмісту пігментів в хвої *Juniperus media* 'Mint Julep' в насадженнях м. Покровськ (в розсаднику, парковій зоні, сквері, вуличних насадженнях). Визначення вмісту хлорофілів та каротиноїдів здійснювали спектрофотометричним методом за методикою Мусієнко М.М., Паршинової Т.В., Славного П.С. (2001) впродовж вегетаційного періоду від травня до жовтня 2021 року. За результатами досліджень пігментний комплекс *Juniperus media* 'Mint Julep' чутливий до забруднення атмосфери полютантами. Найбільший вміст хлорофілу *a* і *b* виявлено в хвої рослин, що ростуть в контрольному насадженні приватного розсадника – від 1,9 мг/г і 0,8 мг/г сирої маси в травні до 2,62 мг/г і 1,1 мг/г в жовтні; впродовж періоду досліджень в паркових насадженнях кількість хлорофілу *a* і *b* зменшувалася відносно показників рослин з розсадника на 5,3%, та 13,7% відповідно; в сквері біля райвиконкому на 10,5% та 25%; у вуличних насадженнях на 15,7% та 37,5%. Найменші значення вмісту каротиноїдів визначено в хвої рослин з розсадника – 0,30 мг/г сирої маси в травні та 0,42 мг/г в жовтні, в інших насадженнях показник збільшувався на 17–50%. Найбільша їх кількість відмічена в хвої рослин у вуличних насадженнях: 0,45–0,54 мг/г сирої маси, що перевищувало контрольні значення з розсадника на 46–50%, в сквері біля райвиконкому на 21-33%, в парку – на 17–33%. Впродовж вегетації підвищувалося співвідношення хлорофілів *a/b*: найменші показники відмічено в хвої рослин з розсадника (1,94–2,38), найбільші – у вуличних насадженнях (2,84–3,20). В хвої рослин з розсадника зафіксовано найбільші показники відношення суми хлорофілів *a* і *b* до каротиноїдів (8,3–9,9), в інших місцях зростання вони зменшувалися на 41–50%. Таким чином, зменшення вмісту хлорофілів *a* і *b* в пігментному комплексі *Juniperus media* 'Mint Julep', збільшення каротиноїдів та співвідношень хлорофілів *a/b* і суми хлорофілів *a* і *b* до каротиноїдів відповідно до зростання рівня техногенного забруднення є адаптивною реакцією на погіршення стану середовища і забезпечує успішне проходження фотосинтезу в стресових умовах урбосередовища. *Ключові слова: Juniperus media* 'Mint Julep', степова зона України, пігментний комплекс, хлорофіли *a* і *b*, каротиноїди.

Dynamic pattern of photosynthetic pigment content of the assimilation apparatus in *Juniperus media* Melle 'Mint Julep' found in city green spaces of the Ukrainian steppe. Suslova O.

Research on pigment content in the needles of *Juniperus media* 'Mint Julep' was carried out in the green spaces of Pokrovsk (in the plant nursery, parkland, square, roadside plantings). Chlorophyll and carotenoid contents were determined by spectrophotometric method according to methodology originated by Musienko M.M., Parshinova T.V., Slavny P.S. (2001) over the growing season from May to October 2021. According to our research results, the pigment complex of *Juniperus media* 'Mint Julep' is sensitive to air pollution by pollutants. The highest *a* and *b* chlorophyll contents were recorded in the needles of plants growing in the control plantation of a private nursery – from 1.9 mg/g and 0.8 mg/g of raw weight in May to 2.62 mg/g and 1.1 mg/g in October; during our research terms *a* and *b* chlorophyll amounts in the parkland were reported decreasing compared to those of plants from the nursery by 5.3% and 13.7%, respectively; in the square near the district executive committee building these indicators were 10.5% and 25% lower; in roadside plantings –15.7% and 37.5% lower. The lowest values of carotenoid content were determined in the needles of plants from the nursery – 0.30 mg/g of raw weight in May and 0.42 mg/g in October, in other plantations these values were 17–50% higher. The largest numbers of them were observed in the needles of plants in roadside plantings: 0.45–0.54 mg/g of raw weight, which exceeded by 46–50% the control values from the nursery plants, by 21–33% those in plants growing the square near the district executive committee building, by 17–33% – those in the parkland. The ratio of *a/b* chlorophylls increased over the growing season: the lowest rates were observed in the nursery (1.94–2.38), the highest in roadside stands (2.84–3.20). We recorded the highest ratio of *a* and *b* chlorophylls to carotenoids (8.3–9.9) in the needles of plants from the nursery, in other places of growth they decreased by 41–50%. Thus, reduced *a* and *b* chlorophyll contents in the pigment complex of *Juniperus media* 'Mint Julep', increased carotenoids and the ratio between *a/b* chlorophylls and that between sum of *a* and *b* chlorophylls to carotenoids along with increasing levels of man-induced pollution is an adaptive response to environmental degradation and is responsible for the successful photosynthesis flow in the stressful conditions of the urban environments. *Key words: Juniperus media* 'Mint Julep', steppe of Ukraine, city green spaces, pigment complex, *a* and *b* chlorophylls, carotenoids.

Постановка проблеми. При інтродукції хвойних в нові природно-екологічні умови особливе місце займає визначення пластичності їх асиміляційного апарату і його здатність пристосовуватися до зовнішніх факторів, оскільки хвою вважають найбільш чутливим органом рослин [16]. Асиміляційна поверхня рослин знаходиться в постійному контакті з довкіллям, тому вона недостатньо захищена від впливу несприятливих кліматичних умов зростання та техногенного навантаження промислових міст,

часто піддається різним пошкодженням і передчасному відмиранню. Значну роль в асиміляційному апараті рослин відіграє пігментна система, завдяки якій здійснюється процес фотосинтезу. Під впливом забруднюючих речовин міського середовища кількість фотосинтетичних пігментів (хлорофілів та каротиноїдів) може зменшуватись, структура мембран хлоропластів змінюватись, що негативно впливає на фотосинтез [14, 18]. Функціонування фотосинтетичного апарату рослинного організму залежить від кількості пігментів та їх співвідношення, зміни показників яких відображають реакцію рослинного організму на різні умови зростання [1, 6].

Актуальність дослідження. В степовій зоні України наразі часто використовують нові види і культивари роду *Juniperus* L., завезені в Україну з європейських розсадників та які не пройшли комплексного інтродукційного дослідження в нових умовах з визначенням доцільності використання їх в міських насадженнях різних категорій. До таких рослин віднесено *Juniperus media* Melle 'Mint Julep', який використовують в озелененні міських територій, не враховуючи його стійкість до умов зростання, тому при всебічному дослідженні культивару актуальним є визначення вмісту хлорофілів та каротиноїдів у хвої, оскільки фізіолого-біохімічні показники чутливі до несприятливих природних факторів і техногенного забруднення та можуть характеризувати стан рослин залежно від їх місцезростання.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими і практичними завданнями. Представлені результати є висновками в межах комплексної науково-дослідної роботи, що виконувалась у відділі інтродукції та акліматизації рослин Криворізького ботанічного саду НАН України за темою «Інтродукція та використання деревних і чагарникових рослин в еколого-ландшафтній оптимізації міських зелених насаджень у промисловому регіоні степової зони України», державний номер реєстрації 0117U00082883.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У науковій літературі представлено значну кількість даних з досліджень видів роду *Juniperus* в умовах Степу України. Фахівцями висвітлено асортимент видів та їх культиварів, встановлено життєвий стан деяких з них в техногенно забрудненому середовищі міста [4, 7, 15], досліджено особливості вегетативного і генеративного розвитку ялівців [12, 15]. Також визначено вміст фотосинтетичних пігментів у хвої деяких представників роду *Juniperus*, що зростають в умовах промислового міста південного сходу України [13], проте дані щодо особливостей асиміляційного апарату *Juniperus media* 'Mint Julep' в умовах Степу України відсутні.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. При інтродукційному випробовуванні ялівців визначення особливостей функціонування асиміляційного апарату залишається найменш дослідженим. Мало інформації щодо динаміки вмісту фотосинтетичних пігментів в хвої видів *Juniperus* в урбоекосистемах степової зони України. Особливої уваги набуває встановлення кореляційних зв'язків між змінами у кількості пігментів та функціональним станом рослин в міських насадженнях різних категорій.

Наукова новизна. Вперше визначено особливості динаміки вмісту фотосинтетичних пігментів у хвої *Juniperus media* 'Mint Julep' в міських умовах степової зони України, встановлено, що зменшення вмісту хлорофілів *a* і *b*, збільшення каротиноїдів та співвідношень хлорофілів *a/b* і суми хлорофілів *a* і *b* до каротиноїдів відповідно до зростання рівня техногенного забруднення є адаптивною реакцією на погіршення стану середовища.

Матеріали та методи досліджень. Для оцінки впливу техногенного забруднення міського середовища на пігментний комплекс хвойних в умовах північно-степової зони України за об'єкт досліджень було обрано культивар *Juniperus media* 'Mint Julep', що зростає в різних категоріях декоративних насаджень м. Покровськ Донецької області (парку, сквері, вуличних насадженнях). За контроль було обрано рослини, що зростають в приватному розсаднику на околиці міста. Визначення вмісту хлорофілів та каротиноїдів здійснювали спектрофотометричним методом [10]. Проби відбирали один раз на місяць з травня по жовтень 2021 року. Екстракцію пігментів проводили 100% ацетоном. Наважку (0,5 г) свіжого матеріалу ретельно подрібнювали у фарфоровій ступці зі скляним порошком та 5 мл ацетону. Спектрофотометрування проводили у кюветі з товщиною шару 1 см при довжині хвилі 644, 662 та 440 нм у трьох повторностях. Результати оброблені методами математичної статистики [8].

Результати досліджень. Аналіз даних щодо сезонної динаміки вмісту зелених пігментів у хвої *Juniperus media* 'Mint Julep' в різних насадженнях впродовж вегетаційного періоду показав, що кількість хлорофілу *a* і *b* збільшувалася в першій половині вегетації та поступово зменшувалася в другій (рис. 1). Така динаміка є закономірною для рослин, які зростають у сприятливих умовах без, або з мінімальним впливом аерополютантів [2, 5]. Проте, в різних місцях зростання вміст хлорофілу *a* і *b* був неоднаковим. Найбільший вміст цих пігментів упродовж шести місяців виявлено в хвої рослин, що ростуть у приватному розсаднику на околиці міста – від 1,9 мг/г і 0,8 мг/г сирої маси в травні до 2,62 мг/г та 1,1 мг/г в жовтні (рис. 1, 2). В інших міських насадженнях кількість хлорофілу *a* зменшувалася відносно показників у розсаднику в травні на 5,3% в паркових насадженнях, на 10,5% в сквері біля райвиконкому, на 15,7% в насадженнях вздовж автодороги на вул. Захисників Вітчизни. Вміст хлорофілу *b* в травні зменшувався на 13,7% в парку, на

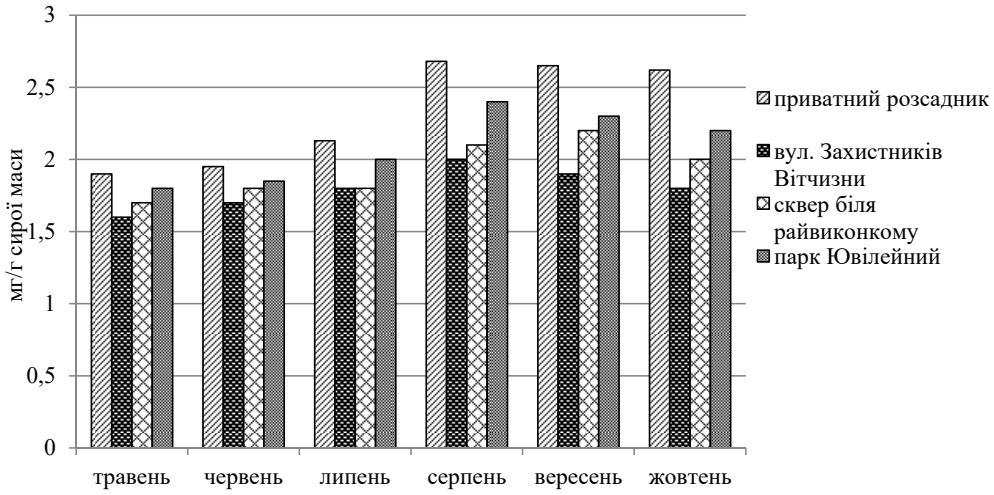


Рис. 1. *Сезонна динаміка вмісту хлорофілу a в хвої Juniperus media Melle 'Mint Julep' в м. Покровськ*

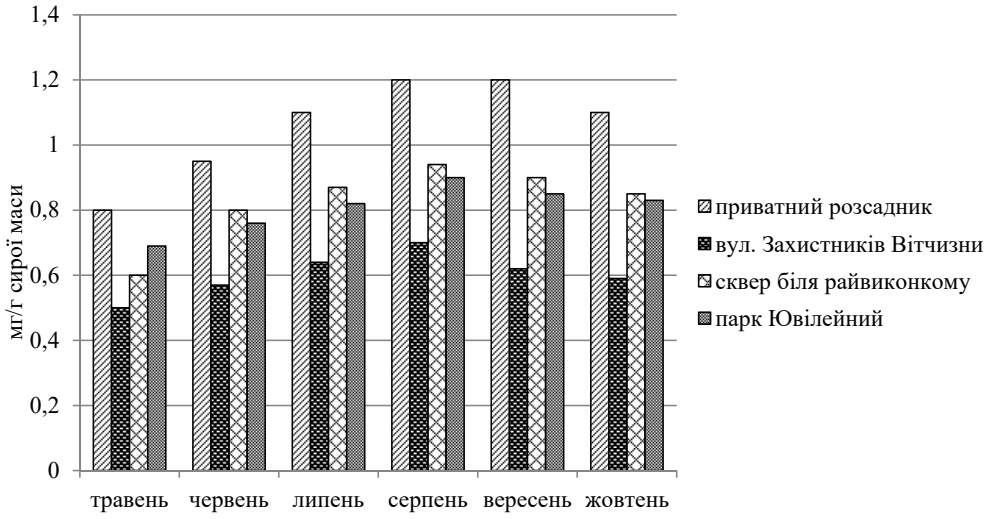


Рис. 2. Сезонна динаміка вмісту хлорофілу b в хвої Juniperus media Melle 'Mint Julep' в м. Покровськ

25% в досліджуваному сквері, на 37,5% у вуличних насадженнях. Отримані результати доводять, що техногенне забруднення значно впливає на вміст зелених пігментів у хвої, і зі збільшенням аеротехногенного забруднення кількість хлорофілів в клітинах рослин зменшується.

Не менш важливим показником є вміст каротиноїдів, які виконують фотопротекторну функцію, запобігаючи руйнуванню хлорофілів при інтенсивному сонячному випромінюванні [1]. Так, у хвої *Juniperus media* 'Mint Julep' в умовах міста вміст жовтих пігментів у період з травня по жовтень поступово збільшувався в усіх насадженнях на 10–66% (рис. 3). Така сезонна динаміка вмісту каротиноїдів є закономірною і підтверджена в багатьох дослідженнях з різними видами рослин [2].

В різних насадженнях м. Покровськ в хвої досліджуваного культивару кількість каротиноїдів упродовж вегетаційного періоду становила від 0,30 мг/г до 0,54 мг/г сирої маси. Найменші значення відмічені у рослин, що ростуть в приватному розсаднику – 0,30 мг/г сирої маси в травні та 0,42 мг/г в жовтні. В інших місцях зростання ці показники збільшувалися на 17–50% упродовж всього вегетаційного періоду. Найбільша кількість жовтих пігментів відмічена в хвої рослин, що зростають в насадженнях на вул. Захисників Вітчизни: 0,45–0,54 мг/г сирої маси. Вміст каротиноїдів в клітинах рослин на вул. Захисників Вітчизни перевищував контрольні значення з розсадника на 46–50%, в сквері біля райвиконкому на 21–33%, в парку – на 17–33%. Підвищення вмісту каротиноїдів у хвої рослин зі збільшенням техногенного впливу, ймовірно, є адаптивною реакцією на погіршення стану середовища. В цих умовах зростає захисна функція каротиноїдів щодо запобігання фотоокиснення хлорофілів.

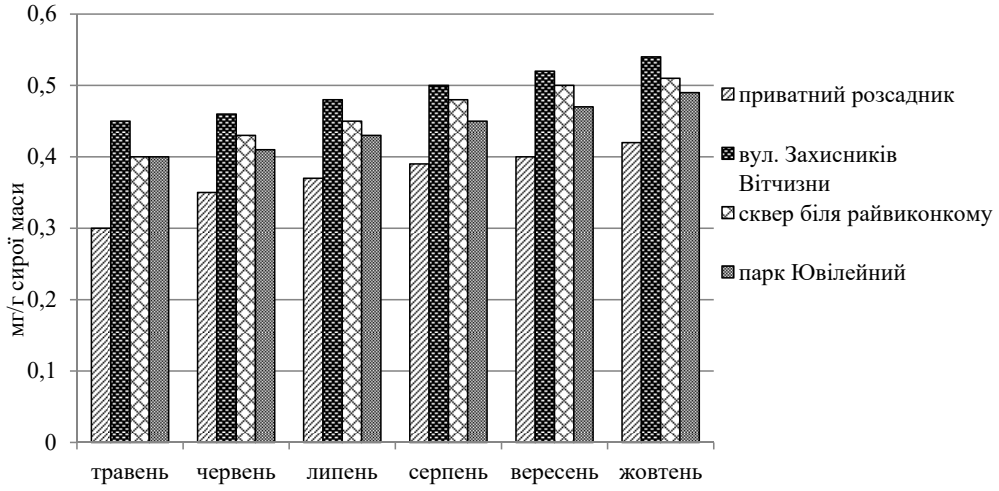


Рис. 3. Сезонна динаміка вмісту каротиноїдів в хвої Juniperus media Melle 'Mint Julep' в м. Покровськ

Загальна сума зелених пігментів у хвої *J. media* 'Mint Julep' в травні становила 2,30–2,70 мг/г сирої маси та поступово підвищувалася у рослин в різних категоріях насаджень, максимальні значення яких відмічено в серпні – 2,70–3,88 мг/г сирої маси залежно від місця зростання (табл. 1). В цей період в фотосинтетичному апараті ялівця відмічено оптимальну кількість пігментів, необхідних для активного здійснення процесу фотосинтезу [9].

У вересні загальний вміст хлорофілів *a* і *b* у хвої рослин зменшився відносно даних, отриманих в серпні на 0,8–4,5% в різних насадженнях і в подальшому знижувався. Упродовж шести календарних місяців найвищі показники вмісту хлорофілів *a* і *b* спостерігалися в хвої рослин приватного розсадника, а найменші – у рослин, що ростуть в насадженнях на вул. Захисників Вітчизни.

Співвідношення хлорофілів *a/b* та суми хлорофілів до каротиноїдів є чутливими маркерами техногенного впливу на пігментну систему хвої рослин [17]. Варіювання кількості хлорофілів та каротиноїдів у хвої ялівців в умовах міського забруднення істотно впливає на їхнє співвідношення. Нами встановлено, що зі збільшенням техногенного впливу в різних категоріях насаджень упродовж вегетаційного періоду в хвої досліджуваного культивару підвищувалося співвідношення хлорофілів *a/b* і коливалося від 1,94–2,38 (у приватному розсаднику) до 2,84–3,20 (у вуличних насадженнях). Проміжні показники цього параметра виявлені у рослин скверу біля райвиконкому та парку (див. табл. 1). За даними В. С. Ніколаєвського, збільшення співвідношення хлорофілів *a/b* є ознакою високої потенційної інтенсивності фотосинтезу [11].

Співвідношення суми хлорофілів *a* і *b* до каротиноїдів відображає оперативну реакцію пігментного комплексу хвої рослин на несприятливі зміни факторів середовища, тому часто використовується в якості показника рівня пристосованості рослин до екстремальних умов [3]. В хвої *Juniperus media* 'Mint

Таблиця 1

Сезонна динаміка суми хлорофілів *a* і *b*, їхнього співвідношення та каротиноїдів в хвої *Juniperus media* 'Mint Julep' в різних категоріях насаджень м. Покровськ

Категорія насаджень	Сума хл. (*a* + *b*), мг/г сирої маси						Співвідношення											
							хл. *a* / хл. *b*						(хл. *a* + хл. *b*) / каротиноїди					
	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень
приватний розсадник	2,70	2,9	3,23	3,88	3,85	3,72	2,38	2,05	1,94	2,23	2,21	2,38	9,0	8,29	8,73	9,95	9,63	8,86
вул. Захисників Вітчизни	2,40	2,27	2,44	2,70	2,52	2,39	3,20	2,98	2,81	2,86	3,06	3,05	5,33	4,93	5,08	5,40	4,85	4,43
сквер біля райвиконкому	2,30	2,60	2,67	3,04	3,10	2,85	2,83	2,25	2,07	2,23	2,44	2,35	5,75	6,05	5,93	6,33	6,20	5,59
парк «Ювілейний»	2,49	2,61	2,82	3,30	3,15	3,03	2,61	2,43	2,44	2,67	2,71	2,65	6,23	6,37	6,56	7,33	6,70	6,18

Julep' в умовах промислового міста відношення суми хлорофілів *a* і *b* до каротиноїдів підвищувалося з травня до початку жовтня на 7–9% та знижувалося наприкінці вегетації. Найбільші показники співвідношення суми зелених пігментів до жовтих спостерігалися у фотосинтетичному апараті рослин в приватному розсаднику, які варіювали впродовж вегетаційного сезону в межах – 8,3–9,9, а у інших місцях зростання зменшувалися максимально на 41–50% (у вуличних насадженнях). Отже, отримані дані вказують, що зменшення співвідношення суми хлорофілів *a* і *b* до каротиноїдів у хвої *J. media* 'Mint Julep' відповідно до зростання рівня техногенного забруднення, ймовірно, є адаптивною реакцією, що забезпечує успішне проходження фотосинтезу в стресових умовах урбосередовища.

Висновки. За результатами досліджень пігментний комплекс *Juniperus media* 'Mint Julep' чутливий до забруднення атмосфери полютантами. Найбільший вміст хлорофілу *a* і *b* виявлено в хвої рослин, що ростуть в контрольному насадженні приватного розсадника – від 1,9 мг/г і 0,8 мг/г сирої маси в травні до 2,62 мг/г і 1,1 мг/г в жовтні; впродовж періоду досліджень в паркових насадженнях кількість хлорофілу *a* і *b* зменшувалася відносно показників рослин з розсадника на 5,3%, та 13,7% відповідно; в сквері біля райвиконкому на 10,5% та 25%; у вуличних насадженнях на 15,7% та 37,5%. Найменші значення вмісту каротиноїдів відмічені в хвої рослин з розсадника – 0,30 мг/г сирої маси в травні та 0,42 мг/г в жовтні, в інших насадженнях показник збільшувався на 17–50%. У рослин з розсадника зафіксовано найбільші показники відношення суми хлорофілів *a* і *b* до каротиноїдів (8,3–9,9), в інших місцях зростання – зменшувалися на 41–50%. Таким чином, зменшення вмісту хлорофілів *a* і *b* в пігментному комплексі *Juniperus media* 'Mint Julep', збільшення каротиноїдів та співвідношень хлорофілів *a/b* і суми хлорофілів *a* і *b* до каротиноїдів відповідно до зростання рівня техногенного забруднення є адаптивною реакцією на погіршення стану середовища і забезпечує успішне проходження фотосинтезу в стресових умовах урбосередовища.

Література

1. Бухарина И.Л. Характеристика элементов антиоксидантной системы адаптации древесных растений в условиях городской среды. Вестник Рос. ун-та дружбы народов. Серия : Экология и безопасность жизнедеятельности. 2008. № 2. С. 5–13.
2. Володарець С.О. Сануюча функція деревних рослин культурфітоценозів урбанізованого середовища : дис. … канд. біол. наук : 03.00.16. Вінниця, 2016. 213 с.
3. Воскресенская О.Л., Сарбаева Е.В. Эколого-физиологические адаптации туи западной (*Thuja occidentalis* L.) в городских условиях. Йошкар-Ола : МарГУ, 2006. 130 с.
4. Глухов А.З., Остапко И.Н., Суслова Е.П. Изучение *Juniperus communis* L. в условиях промышленного города. Проблемы озеленения крупного города. Москва : Прима. 2004. С. 98–100.
5. Иванова Н.А., Костюченко Р.Н. Эколого-физиологические механизмы адаптации некоторых видов ив в различных условиях обитания на территории Среднего Приобья. Нижневартовск : Изд-во Нижневарт. гуманит. ун-та, 2011. 163 с.
6. Илькун Г.М. Загрязнение атмосферы и растения. К. : Наукова думка, 1978. 247 с.
7. Коршиков І.І., Суслова О.П., Петрушкевич Ю.М. Деревні рослини в умовах промислових міст Степу : монографія /за заг. ред. д.б.н., проф. І.І. Коршикова. Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2020. 456 с.
8. Лакин Г.Ф. Биометрия. М. : Высш. шк., 1990. 352 с.
9. Лищинская С.Н. Эколого-физиологические особенности березы повислой (Betula pendula Roth.) как компонентов антропогенных лесонасаждений г. Самары : автореф. дис. на соискание научн. степени канд. биол. наук : 03.00.16. Самара, 2003. 18 с.
10. Мусієнко М.М., Паршинова Т.В., Славний П.С. Спектрофотометричні методи в практиці фізіології, біохімії та екології рослин. К. : Фітософіоцентр, 2001. 200 с.
11. Николаевский В. С. Биологические основы газоустойчивости растений. Новосибирск : Наука, 1979. 276 с.
12. Поляков А.К., Суслова Е.П. Хвойные на юго-востоке Украины. Донецк : Норд-Пресс, 2004. 195 с.
13. Приступа І. В., Шалімов І. В., Романчук Т. В. Динаміка вмісту фотосинтезуючих пігментів як фітоіндикаційний показник у представників р. Juniperus, що зростають в умовах промислового міста південного сходу України. Питання біоіндикації та екології. 2009. 1(14). С. 74–80.
14. Старикова Е.А., Воскресенская О.Л., Сарбаева Е.В. Изменение пигментного комплекса ели колючей в условиях городской среды. Международный научно-исследовательский журнал. 2016. 10(52). Ч. 4. С. 46–48.
15. Суслова Е.П. Генеративное развитие видов рода JUNIPERUS L., интродуцированных в Донецком ботаническом саду НАН Украины. Промышленная ботаника. 2004. Вып. 4. С. 241–245.
16. Тарчевский И.А., Андрианова И.А. Содержание пигментов как показатель мощности развития фотосинтетического аппарата у пшеницы. Физиология растений. 1980. Т. 27. № 2. С. 390–395.
17. Топчий Н. Н. Влияние тяжелых металлов на фотосинтез. Физиология и биохимия культурных растений. 2010. Т. 42, № 2. С. 95–106.
18. Richardson A. D., Duigan S. P., Berlyn G. P. An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content. New Phytologist. 2002. Vol. 153, Iss. 1. P. 185–194.

УДК 631.427.51
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.27

ВПЛИВ КЛІМАТИЧНИХ УМОВ НА ШВИДКІСТЬ МІНЕРАЛІЗАЦІЇ ЦЕЛЮЛОЗИ У ЛІСОВІЙ ПІДСТИЛЦІ ГОЛОСІЇВСЬКОГО ЛІСУ НПП «ГОЛОСІЇВСЬКИЙ»

Тесьолкіна Т.С., Лукашов Д.В.
Навчально-науковий центр «Інститут біології та медицини»
Київського національного університету імені Тараса Шевченка
вул. Володимирська, 64/13, 01601, м. Київ
tania.tesolkina@gmail.com, lukashov@knu.ua

Лісова підстилка є ключовим структурно-функціональним компонентом лісової екосистеми. Перш за все, це – домінуюче джерело енергії для гетеротрофних організмів. Речовинно-енергетичні потоки під час деструкції відіграють ключову роль у балансі поживних речовин лісової екосистеми, де на рослинність найбільший вплив має рециркуляція нутрієнтів з рослинного опаду. По-друге, вона є своєрідним буфером для ґрунту, затримуючи атмосферну вологу, сонячну радіацію та захищаючи верхні шари ґрунту від перепадів температури. Наразі досить актуальною є проблема порушення глобальних циклів Карбону та поживних речовин унаслідок кліматичних змін на планеті. Тому, окремі параметри лісової підстилки, зокрема рівень деструкції, можуть виступати одним з критеріїв оцінки загального стану лісової екосистеми. У даній статті представлено результати досліджень розкладу лісової підстилки у 2018 році на трьох ділянках досліджень з різним типом мікроформ рельєфу (північний і південний схили яру та плакор). Модельні ділянки розташовано у межах грабової діброви Голосіївського лісу (Національний природний парк «Голосіївський», м. Київ). Було досліджено швидкість мінералізації целюлози протягом року, яка є основним компонентом підстилкового матеріалу, аплікаційним методом з використанням фільтрувального паперу. Виявлено, що показник розкладу коливався від 0,001±0,0007 г/добу до 0,021±0,002 г/добу. Також, було проаналізовано залежність між процесами деструкції та основними кліматичними факторами (температурою та вологістю). Комплексним показником, що об'єднував ці показники було обрано індекс аридності Де Мартонна. Дослідження залежності кліматичних факторів показало позитивну залежність різного ступеня між швидкістю мінералізацією целюлози та середньомісячною температурою (r^2 коливався від 0,52 на ділянці плакору до 0,90 на ділянці південного схилу яру). Окремо було досліджено залежність між швидкістю розкладу та формою мікрорельєфу, де розташовувалися ділянки дослідження. Було з'ясовано, що найвища швидкість мінералізації целюлози виявлена у серпні на ділянці південного схилу, а найнижча – у лютому та березні на ділянках північного схилу та плакору. *Ключові слова:* лісова підстилка, целюлоза, кліматичні фактори, лісова екосистема.

The influence of climatic conditions on the rate of mineralization of cellulose in the forest litter of the Golosiiv forest of the «Goliivskyi» national park. Tesolkina T., Lukashov D.

Forest litter is a key structural and functional component of the forest ecosystem. First of all, it is the dominant source of energy for heterotrophic organisms. Material and energy flows during destruction play a key role in the nutrient balance of the forest ecosystem, where the recirculation of nutrients from plant debris has the greatest impact on vegetation. Secondly, it is a kind of buffer for the soil, retaining atmospheric moisture, solar radiation and protecting the upper layers of the soil from temperature changes. Currently, the problem of disruption of global carbon and nutrient cycles due to climate changes on the planet is quite relevant. Thus, individual parameters of the forest litter, in particular the level of destruction, can be one of the criteria for assessing the general state of the forest ecosystem. This article presents the results of research on the distruction of forest litter in 2018 at three research sites with different types of relief microforms (northern and southern slopes of the ravine and plakor). The model plots are located within the hornbeam forest of the Holosiivskyi Forest (Holosiivskyi National Nature Park, Kyiv). The rate of mineralization of cellulose during the year, which is the main component of litter material, was investigated by the application method using filter paper. It was found that the rate of decomposition ranged from 0.001±0.0007 g/day to 0.021±0.002 g/day. Also, the relationship between the destruction processes and the main climatic factors (temperature and humidity) was analyzed. De Marton's aridity index was chosen as a comprehensive indicator combining these indicators. The study of the dependence of climatic factors showed a positive dependence of various degrees between the rate of mineralization of cellulose and the average monthly temperature (r^2 ranged from 0.52 in the plakor to 0.90 in the area of the southern slope of the ravine). The relationship between the rate of decomposition and the shape of the microrelief, where the study sites were located, was separately investigated. It was found that the highest rate of cellulose mineralization was found in August at the south slope site, and the lowest in February and March at the north slope and plakor sites. *Key words:* forest litter, cellulose, climate factors, forest ecosystem.

Постановка проблеми. Лісова підстилка, насамперед, є важливим елементом біологічного кругообігу речовин, яка сполучає між собою різні складові біоценозу: фітоценоз, зооценоз, мікробоценоз. Деструкція лісової підстилки є однією з ключових процесів, що забезпечують речовинні та енергетичні потоки в наземних екосистем [1]. Швидкість її розкладу характеризує швидкість кругообігу речо-

вин в екосистемі. Основними органічними компонентами лісових підстилок є целюлоза, геміцелюлоза, лігніни, пектини, кутини тощо. Деструкція целюлози відіграє важливу роль у циклі Карбону, оскільки сприяє поверненню даного елемента, що був раніше зафіксований у біомасі суходолу, в атмосферу [2]. Целюлоза є найпоширенішим полісахаридом рослинного опаду. Її маса складає від 20% до 75% маси лісової підстилки. У порівнянні з іншими компонентами підстилки, целюлоза порівняно легко руйнується. Основними представниками ґрунтової фауни та мікробів, які беруть участь у процесах розкладання є різні групи водоростей, актиноміцетів, бактерій та грибів [3]. Крім ключової ролі у циклі Карбону розкладання лісової підстилки забезпечує рослинам легкодоступні поживні речовини. Також, підстилка відіграє важливу роль у покращенні якості ґрунту шляхом перенесення поживних речовин з наземної біомаси в ґрунт [4].

Величина розкладу лісової підстилки, переважно, залежить від трьох основних факторів: якості листяного матеріалу (вміст поживних речовин, Карбону, лігніну та ін.), кліматичних особливостей та педобіоти [5]. При цьому деструкція може лімітуватися як одним чинником, так і їх комплексом [6]. Основними кліматичними факторами, що впливають на процеси мінералізації є температура та вологість. При чому, наразі відсутня одностайна думка щодо ключового кліматичного чинника, що впливає на деструкцію лісової підстилки, як і відсутній уніфікований кліматичний індекс, що найкраще підходить для прогнозування швидкості розкладу підстилки.

Актуальність. Дослідження особливостей розкладу лісової підстилки перш за все актуальним для прогнозування функціонування циклів Карбону та поживних речовин у наземних екосистемах у контексті глобальних змін клімату [7]. Також, процеси деструкції лісової підстилки прямо впливають на вивільнення полютантів, зокрема важких металів, що можуть в ній міститися. У результаті таких процесів стійкі форми металів перетворюються на лабільні форми – потенційне джерело забруднення довкілля [8]. Тому, розуміння особливостей протікання процесів накопичення та деструкції лісової підстилки є надзвичайно важливим елементом сталого лісового господарства, особливо в сучасних умовах, коли лісові екосистеми перебувають під значним антропогенним навантаженням.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 29 грудня 2021 р. № 1777-р було схвалено важливий екологічний законодавчий нормативно-правовий акт – Державну стратегію управління лісами України до 2035 року [9]. Однією із стратегічних цілей якого є забезпечення екологічної стійкості лісів. Окремим елементом даного процесу виокремлено збільшення рівня поглинання та утримання вуглецю шляхом сталого управління лісовими ресурсами та адаптації лісів до зміни клімату. Також, Стратегією передбачено розвиток наукових досліджень лісових екосистем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наразі сучасні дослідження деструкції лісової підстилки, орієнтовані на поглиблене дослідження факторів, що впливають на ці процеси, створення прогностичних моделей функціонування наземних екосистем в умовах кліматичних змін. Результати окремих досліджень показують, що експериментальне збільшення температури підвищує швидкість розкладу лісової підстилки та сприяє активному вивільненню з неї Na, K, Mg, P, N [10]. Значну увагу приділено функціонуванню циклів Карбону та Нітрогену та нутрієнтів та їх ролі у процесах мінералізації лісової підстилки [7]. Особливий інтерес становлять тропічні ліси, як унікальна екосистема зі специфічними кліматичними умовами – високою вологістю та температурою [11].

Окрему групу публікацій становлять дослідження стану лісової підстилки (у т.ч. і процесів мінералізації) в умовах антропогенного навантаження, зокрема аеротехногенного забруднення [12, 13, 14].

Сучасні українські дослідження даної сфери стосуються вивчення особливостей енергетичного запасу лісової підстилки, динаміки розкладу та накопичення в різних типах лісів, фракційного складу [15, 16, 17, 18].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Метою даної роботи є оцінка швидкості мінералізації целюлози у лісовій підстилці в умовах Голосіївського лісу Національного природного парку «Голосіївський» в залежності від мікрорельєфу та кліматичних умов.

Новизна. Вперше для території Голосіївського лісу НПП «Голосіївський» було оцінено швидкість мінералізації целюлози на ділянках з різним типом мікрорельєфу та оцінено зв'язок цього показника з кліматичними факторами.

Умови та методи проведення дослідження. Для дослідження динаміки мінералізації целюлози нами було обрано 3 модельні ділянки території Національного природного парку «Голосіївський» (м. Київ) (далі НПП «Голосіївський») з різним типом мікроформ рельєфу в період з січня по грудень 2018 року. Домінантами верхнього ярусу лісу є грабово-кленові та грабово-дубові насадження. Ґрунти території, що досліджувалася – сірі та світло-сірі [19].

Ділянка 1

Розташована на південному схилі яружної системи ННП «Голосіївський»

Координати: N 50°22'24.5'', E 30°29'16.3''

Кут нахилу східного краю – 26°, західного краю – 32°, середній нахил – 29°.

Зімкненість крон: 70–80%.

I ярус: граб звичайний (*Carpinus betulus* L., 1753), клен гостролистий (*Acer platanoides* L., 1753) (70/30%).

Чагарниковий ярус: бузина чорна (*Sambucus nigra* L. 1753).

Трав'янистий ярус: щитник чоловічий (*Dryopteris filix-mas* (L.) Schott, 1834), копитняк європейський (*Asarum europaeum* L., 1753), осока волосиста (*Carex pilosa* Scop., 1772)

Товщина підстилки протягом періоду спостережень складала від 1 до 6 см.

Ділянка 2

Розташована на відстані 20 м. від ділянки 1 на північному схилі яру.

Координати: 50°22'24.0''N, 30°29'15.7''E

Кут нахилу східного краю – 21°, західного краю – 33°, середній нахил – 27°.

Зімкненість крон: 75–85%.

Фітоценоз аналогічний ділянці 1.

Товщина підстилки протягом періоду спостережень складала від 2 до 7 см.

Ділянка 3

Розташована на плакорі яружної системи.

Координати: N 50°22'18.00'', E 30°29'11.00''.

Зімкненість крон: ≈ 90%.

Деревостан: граб звичайний (*Carpinus betulus* L., 1753), дуб звичайний (*Quercus robur* L., 1753).

Трав'янистий ярус: аналогічний ділянкам 1–2 .

Швидкість мінералізації целюлози визначали методом аплікації знезоленого фільтрувального паперу діаметром 150 мм. На обраних ділянках було закладено по 12 поліпропіленових сітчастих мішків з фільтрами між листяним та ферментативним шаром. Через 30–33 днів, їх змінювали на нові. Вийнятий фільтрувальний папір у мішках висушували протягом 2–3 діб при температурі 95 °С. Швидкість мінералізації целюлози розраховували у г/добу за формулою:

$$V = \frac{M_1 - M_2}{T}$$

де M_1 – маса паперу на момент закладання, г; M_2 – маса паперу, г; Т– період часу, доба.

Зв'язок між сезонними змінами темпів розкладу на експериментальних ділянках з кліматичними умовами було оцінено використовуючи коефіцієнт аридності Де Мартонна (I_m) [20]. Він є одним з найперших індексів, що був введений для оцінки рівня аридності. Місячну величину I_m було розраховано за формулою:

$$I_m = \frac{12P}{t + 10}$$

де *P* і *t* це середньомісячна величина кількості опадів та температури повітря відповідно. Для оцінки I_m були використані відкриті дані Центральної геофізичної лабораторії імені Бориса Срезневського [21].

Математичну обробку результатів досліджень проводили з використанням програмного продукту MS EXCEL-2010. Ступінь мінливості середнього арифметичного виражали як стандартне відхилення (SD). Кореляційний аналіз було проведено з використанням коефіцієнту кореляції Пірсона (r^2). Статистичну значимість відмінностей вибіркових величин визначали за критерієм Стьюдента з рівнем статистичної значимості $p<0,05$.

Виклад основного матеріалу. За даними Белякової, інтенсивність розкладання опаду підстилки тісно корелює з інтенсивністю мінералізації целюлози [22]. У ході проведення дослідження було виявлено, що для процесів розкладу целюлози у підстилці є характерними чіткі сезонні зміни.

Динаміку мінералізації целюлози у 2018 році в залежності від мікрорельєфу та коефіцієнту Де Мартонна представлено на графіках (рис. 1).

Згідно з проведеними розрахунками максимальний показник індексу аридності Де Мартонна був зафіксований у березні, мінімальний – квітні (120 та 4 відповідно). Це пов'язано майже великою кількістю опадів у перший місяць весни (81 мм – подвійна місячна норма опадів) та надзвичайно сухим квітнем (8 мм – 16% кліматичної норми).

Динаміка швидкості мінералізації целюлози на дослідних ділянках мала досить схожу тенденцію. Так, було виявлено, що для ділянки плакору найвища швидкість мінералізації целюлози була характерна для серпня і становила 0,011±0,001 г/добу. Мінімальна швидкість була зафіксована у лютому та березні (0,001±0,0007 г/добу). Кореляційний зв'язок між динамікою розкладу та кліматичним індексом був слабким (r^2=0,36).

На південному схилі яру найвища швидкість мінералізації целюлози виявлена також у серпні – 0,021±0,0017 г/добу. Найнижчий рівень був у лютому – 0,002±0,0007 г/добу. Статистичне порівняння швидкості мінералізації та індексу Де Мартонна виявило середній позитивний зв'язок (r^2=0,60) між цими показниками.

Ділянка північного схилу яру характеризувалася максимальною швидкістю у серпні (0,012±0,0017 г/добу), мінімальною – у лютому-березні (0,001±0,0004 г/добу). Порівняння величини розкладання з кліматичним індексом показало слабкий зв'язок між показниками r^2=0,20.

Таким чином, було виявлено, що найбільша швидкість розкладу целюлози була характерна для літнього періоду. Максимальні показники розкладання були характерні для південного схилу (в літній період швидкість мінералізації дорівнювала 0,021 г/добу).

Подібні результати були отримані і на ділянках Канівського природного заповідника [23]. Максимальні піки мінералізації були виявлені влітку, проте мінімальні весною та восени. Варто відзначити, що швидкість мінералізації целюлози була значно меншою (в окремі місяці у 2,5 р.) у порівнянні з дослідженнями проведеними на тери-

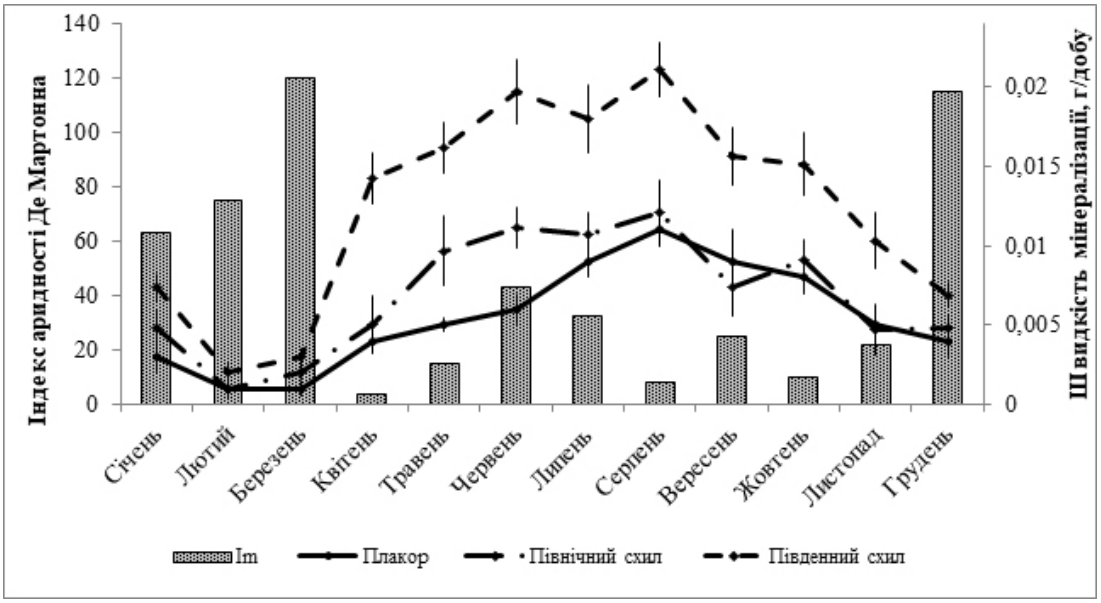


Рис. 1. Динаміка швидкості мінералізації целюлози у лісовій підстилці Голосіївського лісу протягом 2018 року на ділянках з різним типом мікрорельєфу у порівнянні з індексом аридності Де Мартонна.

торії Канівського природного заповідника. Однією з гіпотез, що пояснює такі результати на ділянках НПП «Голосіївський» може бути порівняно вищий вміст полютантів, зокрема важких металів. Досліджено, близькість джерел забруднення (наприклад промислових підприємств) сприяє збільшенню потужності лісової підстилки. Даний процес відбувається внаслідок різкого зниження інтенсивності деструкції целюлози й пригнічення діяльності мікробіоти ґрунту [24].

Відмінності середньорічної швидкості мінералізації целюлози на досліджених ділянках лісової екосистеми виявилися незначними. Цілком логічно, що найшвидше целюлоза руйнувалася в умовах південного схилу (0,012±0,001 г/доба). На ділянці північного схилу ця величина становила 0,007±0,001 г/доба. Найповільніше розклад відбувався в умовах плакору (0,005±0,0007 г/доба). Таким чином, на схилах процеси мінералізації підстилки будуть проходити значно швидше, ніж на рівнинній місцевості – плакорі. Загалом, сезонні зміни швидкості мінералізації целюлози сягали 11 кратних змін на всіх ділянках, що було досліджено. Порівняння характеру сезонного ходу швидкості мінералізації целюлози вказує на її подібність на ділянках 1–3 (коефіцієнт кореляції Пірсона коливався в діапазоні 0,90–0,63). У травні-серпні чітко прослідковується максимально швидкі процеси розкладу целюлози.

Також, було проведено кореляційний аналіз для статистичної оцінки залежності швидкості розкладу целюлози від кліматичних факторів. Нижче у таблиці представлено кореляція між швидкістю мінералізації целюлози на ділянках, що досліджувалися та окремо по середньомісячних величинах температури й місячної кількості опадів.

Таблиця 1

Коефіцієнт кореляції між кліматичними факторами (місячною кількістю опадів *P* та середньомісячною температурою *t*) та ділянками досліджень на різних формах мікрорельєфу

	P	t
Південний схил	0,001	0,90
Північний схил	0,014	0,80
Плакор	0,004	0,52

Для північного та південного схилу був виявлений сильний позитивний зв'язок між середньомісячними температурними показниками та швидкістю розкладу целюлози (r^2=0,90 та r^2=0,80 відповідно). Для плакору залежність була середньою (r^2=0,52). Варто відзначити, що коефіцієнт кореляції між місячною кількістю опадів та мінералізацією показує на незалежність цих двох процесів. Таким чином, в умовах грабової діброви НПП «Голосіївський» одним з ключових факторів, що визначає швидкість розкладу целюлози є саме температурні показники.

Подібні результати досліджень були отримані у дослідженнях кореляційних зв'язків між кліматичними факторами та розкладом лісової підстилки у заказнику «Лісники» [15]. Було показано, що кількість суттєво не пливала на процеси деструкції, що пояснюється розташуванням ділянок на межі Лісової та Лісостепової зон, де кількість опадів не є визначальним чинником. Hobbie у своїй праці

теж визначає температуру основним фактором для визначення швидкості розкладання підстилки [25].

Проте результати досліджень динаміки мінералізації целюлози та її залежність гідротермічного коефіцієнту Селянінова на території Канівського природного заповідника вказують на наявність кореляційного зв'язку між цими величинами та безпосередню вплив кількості опадів на процеси розкладу [23].

Головні висновки. Лісова підстилка Голосіївського лісу ННП «Голосіївський» складається з чітко виражений двох шарів: верхнього (листяного) шару та нижнього (ферментативного) який формується з напіврозкладених залишків. Динаміка швидкості мінералізації целюлози у підстилці грабового лісу НПП «Голосіївський» змінювалась протягом сезону. Найбільша швидкість розкладу целюлози була характерна для літнього періоду. Найвища швидкість мінералізації целюлози виявлена у серпні на ділянці південного схилу – 0,021±0,0017 г/добу. Мінімальна швидкість була зафіксована у лютому та березні на ділянках північного схилу та плакору (0,001± 0,0007 г/добу). Також, було виявлено залежність між типом мікроформи рельєфу та швидкістю мінералізації. Найбільший середньорічний показник рівня мінералізації спостерігався в умовах південного схилу (0,012± 0,001 г/доба), найповільніше – в умовах плакору (0,005± 0,0007 г/доба). Дослідження залежності кліматичного фактору показало сильну залежність між швидкістю мінералізацією целюлози та середньомісячною температурою на ділянках північного та південного схилу та середню залежність на ділянці плакору (r^2=0,90, r^2=0,80 та r^2=0,52 відповідно).

Література

1. Berg B. Nutrient release from litter and humus in coniferous forest soils: a mini review. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 1986. 1. P. 359–369.
2. Cornwell et al. Plant species traits are the predominant control on litter decomposition rates within biomes worldwide. *Ecology Letters*. 2008. 11(10). P. 1065–1071. DOI:10.1111/j.1461-0248.2008.01219.x
3. Schaefer M., Schauermann J. Soil Fauna. *Functioning and Management of European Beech Ecosystems*. R. Brumme, P.K. Khanna. Springer, Berlin, Heidelberg, 2009. P. 93–102. DOI: https://doi.org/10.1007/b82392_8
4. Vitousek P.M., Sanford R.L.Jr. Nutrient Cycling in Moist Tropical Forest. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*. 1986. 17(1). P. 137–167. DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.17.1.137
5. Aerts R. Climate, Leaf Litter Chemistry and Leaf Litter Decomposition in Terrestrial Ecosystems: A Triangular Relationship. Oikos. 1997. 79. P. 439–449.
6. Swift M., Heal O., Anderson J. Decomposition in terrestrial ecosystem. Oxford: Black well Scientific Publications, 1979. 372 p.
7. Cheng X.L. et al. Experimental warming and clipping altered litter carbon and nitrogen dynamics in a tall grass prairie. Agric. Ecosyst. Environ. 2010. Vol. 138. P. 206–213. DOI: 10.1016/j.agee.2010.04.019
8. Jonczak J., Parzych A., Sobisz Z. Dynamics of Cu, Mn, Ni, Sr and Zn release during decomposition of four types of litter in headwater riparian forests in northern Poland. *Forest Research Papers*. 2014. 75(2). P. 193–200.
9. Про схвалення Державної стратегії управління лісами України до 2035 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 29 грудня 2021 р. № 1777-р / Кабінет Міністрів України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1777-2021-%D1%80#n10
10. Liu, J., Liu, S., Li, Y. et al. Warming effects on the decomposition of two litter species in model subtropical forests. *Plant Soil*. 2017. 420. P. 277–287.
11. Chakravarty S. et al. Litter production and decomposition in Tropical forest. Handbook of research on the conservation and restoration of tropical dry forests / R. Bhadouria, S. Tripathi, P. Srivastava, P. Singh. IGI Global Publisher, India, 2019. P. 193–212.
12. Ferreira V., Koricheva J., Duarte S., Niyog D., Guerold F. Effects of anthropogenic heavy metal contamination on litter decomposition in streams: a meta-analysis. *Environmental Pollution*. 2016. 210. P. 261–270.
13. Yue K, Yang W., Tan B., Peng Y. Immobilization of heavy metals during aquatic and terrestrial litter decomposition in an alpine forest. *Chemosphere.* 2018. 216. P. 419–427.
14. Zhenchuan N., Zhang X., Wang Z. Mercury in leaf litter in typical suburban and urban broadleaf forests in China. *Journal of Environmental Sciences*. 2011. 23(12). P. 2042–2048.
15. Соколенко У.М., Дідух Я.П., Расевич В.В., Гаврилов С.О. Сезонна динаміка лісової підстилки та її зв'язок з показниками кліматичних факторів (на прикладі заказника «Лісники», Київ). *Науковий вісник НТЛУ України*. 2014. Вип. 24.3. С. 49–56.
16. Вишневська І.Г., Гінжалюк А.І. Вплив кліматичних факторів на енергетичний потенціал лісової підстилки широколистяного фітоценозу. *Наукові записки НаУКМА. Біологія і екологія.* 2021. Том 4. С. 32–36.
17. Жицька Н., Ханенко О. Трансформація органічної речовини в підстилках листяних насаджень Черкаського регіону. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. 2011. 58. С. 42–44.
18. Лукашов Д.В., Левченко І.В. Сезонні зміни структури підстилки грабової діброви Канівського природного заповідника. *Заповідна справа*. 2015. Том 21, вип. 1. С. 61–65.
19. Онищенко В.А., Прядко О.І., Вірченко В.М. Судинні рослини і мохоподібні національного природного парку «Голосіївський». Київ: Альтпрес, 2016. 94 с.
20. De Martonne E. Une nouvelle fonction climatologique: L'indice d'aridité. *La Meteorologie*. 1926. P. 449–458.
21. Центральна геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського. Архів новин. URL: http://cgo-sreznevskyi.kyiv.ua/ (дата звернення: 05.06.2022).
22. Белякова О.И. Многолетняя динамика разложения растительного опада в основных экосистемах Центральной лесостепи: автореф. дисс. канд. биол. наук: спец. 03.00.16. Воронеж, 2001. 21 с.
23. Levchenko I.V., Lukashov D.V. Influence of climatic conditions on the cellulose decomposition ratein hornbeam oak wood litter of Kaniv Natural Reserve. *Заповідна справа*. 2016. Вип. 1. С. 35–42.
24. McEnroe N.A., Helmisaari H.S. Decomposition of coniferous forest litter along a heavy metal pollution gradient, south-west Finland. *Environ Pollut*. 2001. 113(1). P. 11–8. DOI: 10.1016/s0269-7491(00)00163-9
25. Hobbie S.E. Temperature and plant species control over litter decomposition in Alaskan tundra. *Ecol. Monogr*. 1996. 66. P. 503–522.

ОСВІТА ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

УДК 502.5:355.01:371.8-057.874
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.28

ЗАГРОЗИ ДОВКІЛЛЮ ВНАСЛІДОК ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ ОЧИМА ДІТЕЙ

Герасимчук Л.О., Валерко Р.А., Ярошенко Б.О., Члек О.М.
Поліський національний університет
бульв. Старий, 7, 10008, м. Житомир
gerasim4uk@ukr.net

Проведено оцінку військових дій за даними офіційного ресурсу Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України «ЕкоЗагроза». 4911 одиниць техніки РФ спричинили викиди в атмосферне повітря 16086 т забруднюючих речовин, серед яких 6 відносяться до першого класу, 3 – до другого класу, 4 – до третього класу, 3 – до 4 класу небезпеки, а 99,6% обсягів викидів належить діоксиду вуглецю (як мінімальні, так і максимальні кількості викидів в розрізі окремих забруднюючих речовин надходили від безпілотників оперативно-тактичного рівня та літаків відповідно); утворення 100865 т відходів, серед яких 31,8% (або 32108 т) – це танки, 26,2% (або 26474 т) – бойові броньовані машини, 20,2% (або 20370 т) – автомобільна техніка; розлив нафтопродуктів – 325 т в ґрунти, джерелом привнесення 33,7% з яких є літаки (109 т), 18,8% – цистерни з паливом (61 т), 17,1% – бойові броньовані машини (56 т), 16,4% – танки (53 т), а також 3 т у воду; завдали шкоди довкіллю на суму 68,3 млн грн. Проведеним анкетуванням встановлено, що 93,8% школярів вважають військові дії на території нашої держави екологічними злочинами; 78,5% стверджують, що війна в Україні впливає на стан навколишнього природного середовища сусідніх держав; 49,2% опитаних відповіли ствердно щодо можливості покращення екологічної ситуації в Україні після закінчення військових дій, а 47,7% наголосили на позитивному результаті за умови, що заходи почнуть впроваджувати вже зараз. 96,9% опитаних здобувачів загальної середньої освіти вважають, що Україна може використати досвід післявоєнного відновлення інших країн, щоб пришвидшити процес реабілітації в екологічній сфері. Відповіді школярів та запропоновані заходи щодо покращення довкілля свідчать про їх екологічну обізнаність та зацікавленість у відновленні стану навколишнього природного середовища. *Ключові слова:* Втрачена техніка, викиди, відходи, збитки, опитування школярів.

Environmental threats from the consequences of military actions through the eyes of children. Herasymchuk L., Valerko R., Yaroshenko B., Chlek O.

An assessment of military actions was carried out according to the official resource of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine "EkoZagroza". 4.911 units of Russian equipment caused emissions into the atmosphere of 16.086 tons of pollutants, among which 6 belong to the first class, 3 to the second class, 4 to the third class, 3 to the 4th class of danger, and 99.6% of emissions belong to dioxide carbon (both the minimum and maximum emissions in terms of individual pollutants came from operational-tactical drones and aircraft, respectively); generation of 100.865 tons of waste, among which 31.8% (or 32.108 tons) are tanks, 26.2% (or 26.474 tons) are armored combat vehicles, 20.2% (or 20.370 tons) are automotive equipment; oil spillage – 325 t into the soil, the source of 33.7% of which is aircraft (109 t), 18.8% – fuel tanks (61 t), 17.1% – armored combat vehicles (56 t), 16.4% – tanks (53 t), as well as 3 t in water; caused damage to the environment in the amount of UAH 68.3 million. The conducted questionnaire established that 93.8% of schoolchildren consider military actions on the territory of our state to be environmental crimes; 78.5% claim that the war in Ukraine affects the state of the natural environment of neighboring states; 49.2% of respondents answered affirmatively about the possibility of improving the environmental situation in Ukraine after the end of hostilities, and 47.7% emphasized a positive result, provided that the measures will start to be implemented now. 96.9% of the interviewed general secondary education students believe that Ukraine can use the post-war recovery experience of other countries to speed up the process of rehabilitation in the environmental sphere. The schoolchildren's answers and proposed measures to improve the environment testify to their environmental awareness and interest in restoring the state of the natural environment. *Key words:* emissions, waste, damages, lost equipment, survey of schoolchildren.

Постановка проблеми. Військові дії на території нашої держави, причиною яких стало вторгнення окупаційних військ сусідньої держави з 24 лютого, тривають досить довгий період і, крім людських жертв, руйнування цілих міст, інфраструктури, архітектурних, культурних та історичних об'єктів, дедалі більше завдають шкоди навколишньому природному середовищу. Військові дії знищують навколишнє природне середовище, прийнятне та безпечне для нашого життя та здоров'я, завдають йому незворотної шкоди, та запускають бомбу уповільненої дії для теперішніх та прийдешніх поколінь.

В свою чергу, нестача достовірної та об'єктивної інформації про вплив військових дій на довкілля унеможливлюють надати оцінку його сучасному стану. І чим довше триватимуть військові дії, тим більше шкоди буде завдано довкіллю нашої держави.

Актуальність дослідження. Військовим вторгненням РФ порушила Статут ООН, безліч міжнародних конвенцій та принципів міжнародного права.

Військові дії спричинили загострення наявних екологічних проблем, погіршення стану екологічної безпеки та сприяли появі нових викликів, як для окремих територій, так і для держави в цілому: ріст соціальної напруги, масова міграція місцевого населення в безпечні регіони та інші країни, значні витрати з бюджету на військові дії, погіршення здоров'я населення. Активні бойові дії погіршили проблему накопичення значних обсягів небезпечних відходів, зростаючих кількостей викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, забруднення водних ресурсів.

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» (державний реєстраційний № 0120U104233) та може бути використана органами влади для формування політики у природоохоронній галузі та поступового відновлення довкілля.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема наслідків військових дій широко висвітлюється в науковій літературі: міжнародні договори та судова практика, що стосуються відповідальності за екологічну шкоду, спричинену військовими діями [1], правова охорона довкілля та забезпечення екологічного відновлення міст на постконфліктних територіях [2, 3], забезпечення екологічної безпеки на окупованих територіях [4], вплив збройних конфліктів на міжнародну екологічну безпеку [5, 6], оцінка екологічної ситуації на певній території, локалізації та ліквідації наслідків наслідків катастрофи [7], еколого-економічні наслідки російсько-української війни [8, 9]. В роботі [10] наголошено, що масштаби та ступінь ураження довкілля дозволяють говорити, що РФ здійснює в Україні екоцид.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття та новизна досліджень. Наявні дослідження недостатньо висвітлюють проблему поводження з відходами на рівні окремих регіонів України в контексті сталого розвитку, в тому числі і в Житомирській області, що й обумовило мету наших досліджень.

Методологічне значення. Інформаційною базою досліджень став вебресурс «ЕкоЗагроза» – офіційний ресурс та мобільний додаток Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, який містить дашборд із інформацією про загрози довкіллю [11]. Ресурс «ЕкоЗагроза» є необхідним для ліквідації негативних наслідків воєнної агресії на довкілля, оскільки завантаживши застосунок на мобільний телефон можна додавати дані про екологічні злочини і загрози та слідкувати за станом їх ліквідації [12].

Загрози довкіллю внаслідок військових дій оцінювали за наступними показниками: кількість втраченої техніки РФ, викиди в атмосферу забруднюючих речовин, обсяг відходів, завдані збитки. Також для виявлення сприйняття військових дій очима дітей проводили опитування учнів 7–9 класів Житомирського міського колегіуму (м. Житомир) за допомогою Google form (https://forms.gle/SnvHYjrw8xD7FDp68). Школярам було запропоновано 7 закритих запитань (запитання № 1 «Чи вважаєте Ви військові дії на території нашої держави екологічними злочинами?», № 3 «Які зі складових довкілля страждають найбільше від військових дій?», № 5 «На Вашу думку, як сильно погіршують військові дії навколишнє середовище?», № 6 «Чи війна в Україні впливає на стан навколишнього природного середовища сусідніх держав?», № 7 «Як Ви вважаєте, чи відбувається документування (фіксація) екологічних злочинів росіян проти довкілля?», № 8 «На Вашу думку, чи можливе покращення екологічної ситуації в Україні після війни?», № 9 «Чи може Україна використати досвід післявоєнного відновлення інших країн, щоб пришвидшити процес реабілітації в екологічній сфері?») та 3 відкритих запитання (№ 2 «Які військові дії, на Вашу думку, найбільше забруднюють довкілля?», № 4 «Яким чином військові дії впливають на обрану Вами сферу довкілля?», № 10 «Як покращити стан довкілля?»).

Виклад основного матеріалу. Станом на 30 червня 2022 р. за даними вебресурсу «ЕкоЗагроза» 4911 одиниць техніки РФ (танків – 698 од., бойових броньованих машин (ББМ) – 1891 од., артилерійських систем – 322 од., реактивних систем залпового вогню (РСЗВ) – 108 од., засобів протиповітряної оборони – 55 од., літаків – 150 од., гелікоптерів – 135 од., автомобільної техніки – 1358 од., легких швидкісних катерів/кораблів – 6 од., великих десантних кораблів – 1 од., цистерн з паливом – 76 од., безпілотників оперативно-тактичного рівня – 111 од.) спричинили шкоду довкіллю на суму 68,3 млн грн.

Від 4911 одиниць техніки було викинуто в атмосферу 16086 т забруднюючих речовин (рис. 1), утворено 100865 т відходів (рис. 2), а також спричинено розлив нафтопродуктів – 325 т в ґрунти (рис. 3) та 3 т – у воду.

Серед забруднюючих речовин, які надійшли в атмосферне повітря від військової техніки 6 (свинець і його неорганічні сполуки (у перерахунку на свинець), кадмію оксид (у перерахунку на кадмій), ртуті оксид (у перерахунку на ртуть), хром шестивалентний (у перерахунку на триоксид хрому), селену діоксид (у перерахунку на селен) та бенз(а)пірен) відносяться до першого класу, 3 (миш'як, неорганічні сполуки (у перерахунку на миш'як), міді оксид (у перерахунку на мідь) та нікелю оксид (у перерахунку на нікель)) – до другого класу, 4 (азоту діоксид, ангідрид сірчистий, суспендовані тверді частинки недиференційовані за складом, цинку оксид (у перерахунку на цинк)) – до третього класу, 3 (аміак, вуглецю оксид, НМЛОС) – до 4 класу небезпеки.

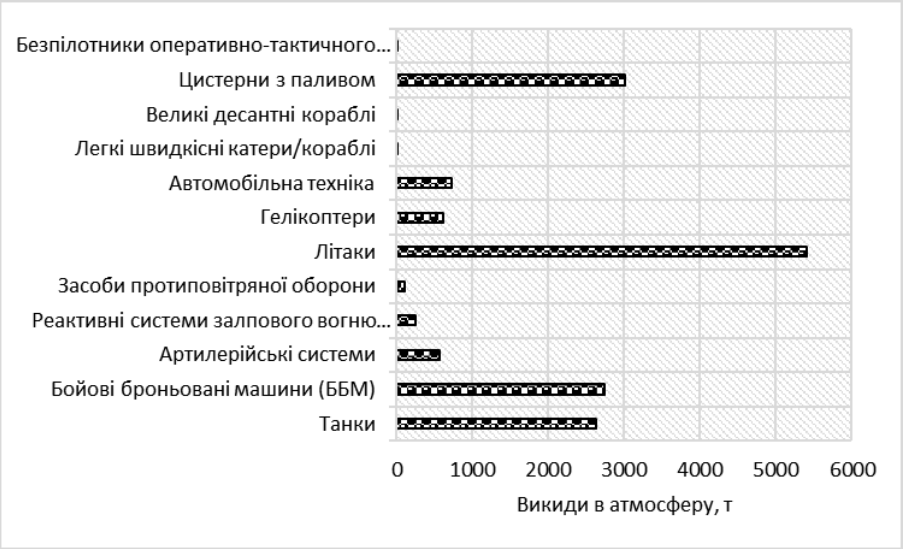


Рис. 1. Обсяг викидів від військової техніки

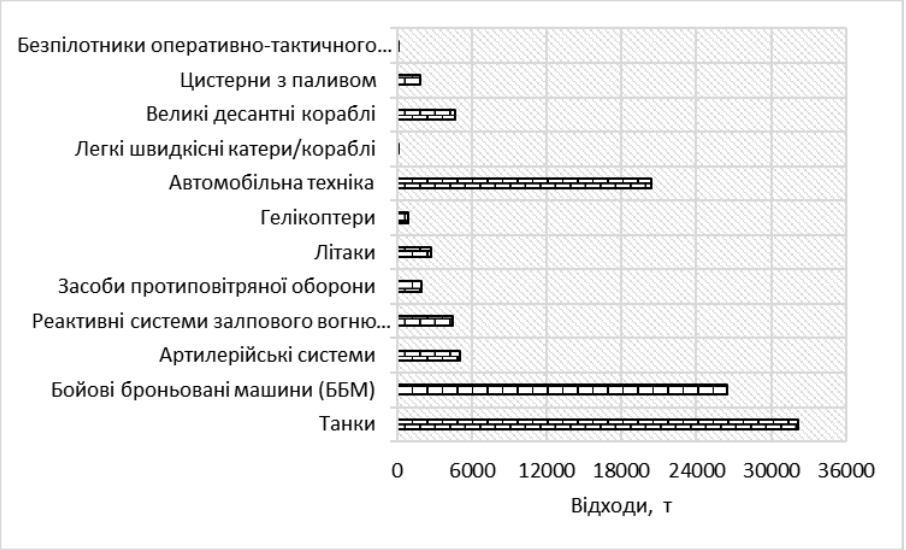


Рис. 2. Обсяги утворення відходів від військової техніки

99,6% обсягів викидів забруднюючих речовин належить діоксиду вуглецю, 0,18% – оксиду вуглецю, 0,075% – суспендованим твердим частинкам недиференційованим за складом, 0,052% – НМЛОС, 0,04% – діоксиду азоту, 0,015% – оксиду цинку, 0,0011% – оксиду нікелю, 0,00058% – оксиду кадмію, 0,00037% – сірчистому ангідриду, 0,00014% – свинцю та його неорганічним сполукам, 0,00013% – оксиду ртуті, 0,00011% – миш'яку, 0,000087% – аміаку, 0,000046% – оксиду міді, 0,000037% – хрому шестивалентному, 0,000012% – діоксиду селену та $8{,}71 \cdot 10^{-10}$% – бенз(а)пірену. Як мінімальні, так і максимальні кількості викидів в розрізі окремих забруднюючих речовин надходили від безпілотників оперативно-тактичного рівня та літаків (1,68 т та 5388,84 т відповідно викидів діоксиду вуглецю; 0,003 т та 9,84 т відповідно викидів оксиду вуглецю; $1{,}47 \cdot 10^{-11}$ та $4{,}7 \cdot 10^{-10}$ відповідно викидів бенз(а)пірену тощо).

Із 100865 т утворених відходів 31,8% (або 32108 т) – це танки, 26,2% (або 26474 т) – бойові броньовані машини, 20,2% (або 20370 т) – автомобільна техніка (рис. 3).

З 325 т нафтопродуктів, що потрапили у ґрунт джерелом привнесення 33,7% з них є літаки (109 т), 18,8% – цистерни з паливом (61 т), 17,1% – бойові броньовані машини (56 т), 16,4% – танки (53 т) (рис. 3).

Лідерами за кількістю завданих збитків у грошовому еквіваленті серед техніки є літаки – 22,96 млн грн, цистерни з паливом – 12,8 млн грн, бойові броньовані машини – 11,67 млн грн та танки – 11,19 млн грн (рис. 4).

Друга частина наших досліджень стосувалася сприйняття наслідків військових дій для довкілля очима школярів, адже досить часто їх думку не враховують і ми забуваємо, наскільки вони є вразливими



Рис. 3. Обсяги розливу нафтопродуктів у ґрунти від військової техніки

до зміни звичних для них умов життя, місця проживання, постійного стресу через численні повітряні тривоги, вибухи, новини тощо.

На перше питання «Чи вважаєте Ви військові дії на території нашої держави екологічними злочинами?» 93,8% опитаних дали ствердну відповідь.

Серед військових дій, які найбільше забруднюють довкілля, школярі виокремили наступні: вибухи; пожежі в лісових екосистемах; бомбардування промислових підприємств та нафтових баз, де є небезпечні речовини; викиди відпрацьованих газів від військової техніки; наслідки від прильоту ракет, скидання бомб, обстрілів; спалювання військової техніки; розкладання трупів; перебування «орків» в зоні АЕС.

Серед вибору компонентів довкілля, які найбільше страждають від військових дій, учні надали перевагу ґрунтам та земельним ресурсам (87,7% відповідей) та атмосферному повітрю (78,5% відповідей) (рис. 5).

Серед важелів впливу військових дій на обрану вище сферу довкілля учні відмічали: значні викиди забруднюючих речовин в атмосферу, в т.ч. й внаслідок пожеж; забруднення джерел водопостачання та земельних ресурсів, а також вплив на здоров'я людей; масове забруднення всіх складових довкілля аж до руйнування екосистем. Особисто вразила одна з відповідей школярів на зазначене запитання, що грошові кошти, які зараз йдуть на війну, могли б використовуватися на збереження довкілля.

На наступне запитання про ступінь впливу військових дій на довкілля школярам була запропонована шкала, де 1 – надзвичайно сильно, 5 – не впливають (залишають без змін). Половина здобувачів освіти відмітила надзвичайно сильний вплив військових дій на довкілля (рис. 6).

78,5% опитаних школярів ствердно відповіли, що війна в Україні впливає на стан навколишнього природного середовища сусідніх держав. Безпосередній вплив військові дії мають на продовольчу безпеку та політику щодо змін клімату.

72,3% учнів вважають, що відбувається документування екологічних злочинів росіян проти довкілля.

Хочеться відмітити й оптимістичне налаштування підростаючого покоління щодо можливості покращення екологічної ситуації в Україні після закінчення військових дій: 49,2% опитаних відповіли ствердно, а 47,7% наголосили на позитивному результаті за умови, що заходи почнуть впроваджувати вже зараз.

96,9% опитаних здобувачів загальної середньої освіти вважають, що Україна може використати досвід післявоєнного відновлення інших країн, щоб пришвидшити процес реабілітації в екологічній сфері.

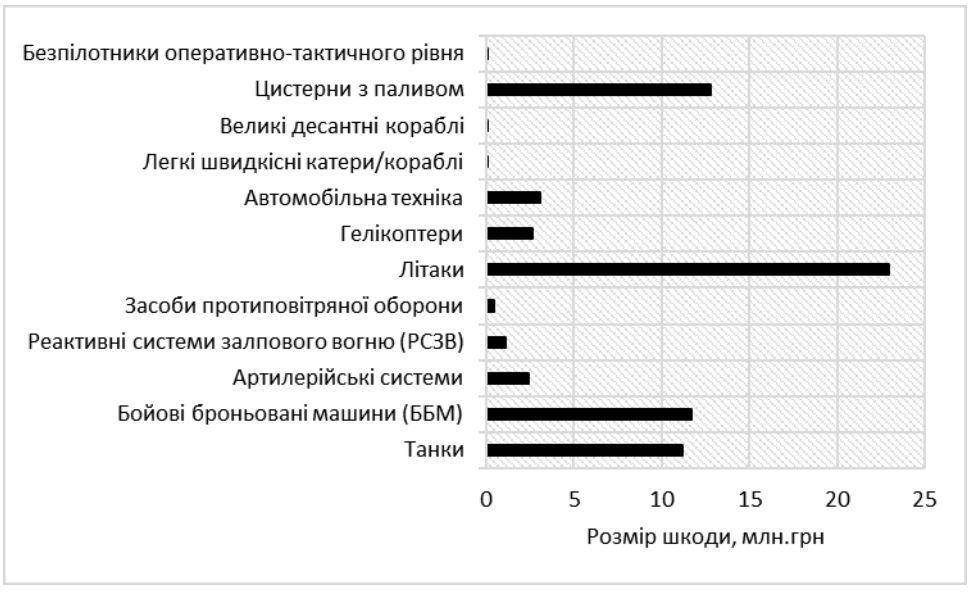


Рис. 4. Розмір завданої шкоди від техніки РФ

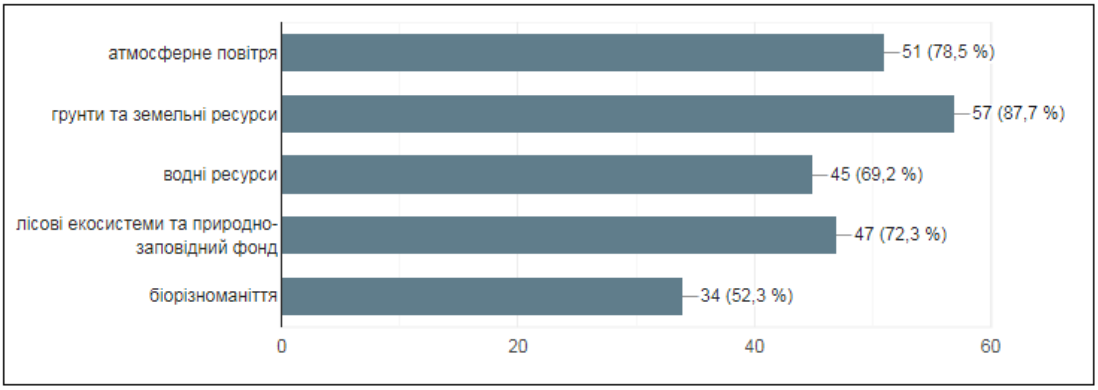


Рис. 5. Розподіл відповідей школярів на питання № 3 «Які зі складових довкілля страждають найбільше від військових дій?»

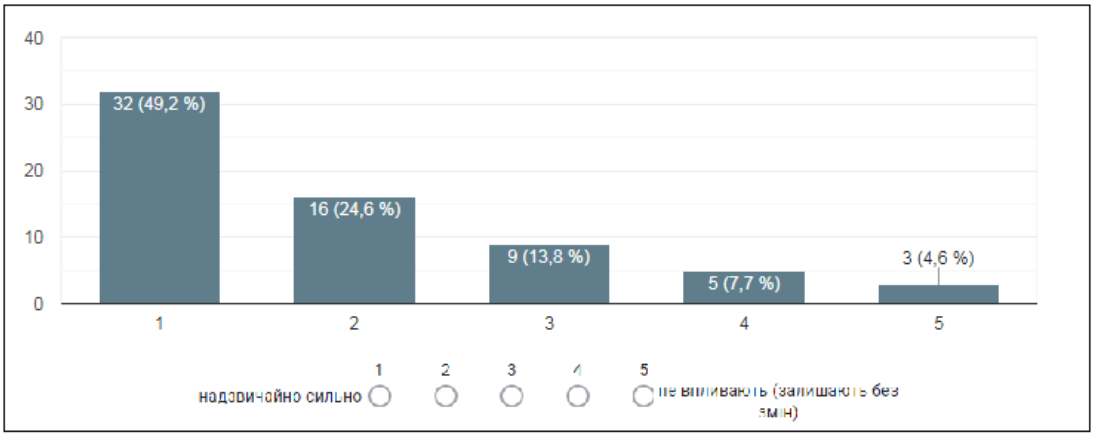


Рис. 6. Розподіл відповідей школярів на питання № 5 «На Вашу думку, як сильно погіршують військові дії навколишнє середовище?»

Останнє питання стосувалося заходів покращення стану довкілля, де учням було запропоновано надати свої пропозиції конкретним суб'єктам: місцевим органам влади, бізнесу та громадянам. Так, серед шляхів покращення стану довкілля учні пропонували місцевим органам влади: 1) переробляти та утилізувати металобрухт від військової техніки; 2) висаджувати ліси та зелені насадження в місті, очищати водойми, в т.ч. і із залученням волонтерів; 3) впроваджувати заходи з прибирання територій за участі місцевих жителів; 4) залучати фінансову допомогу; 5) налагодити ефективну співпрацю між усіма органами влади. Бізнесу учні пропонували: 1) організовувати екологічні акції; 2) матеріально допомагати; 3) шукати волонтерів та допомагати їм. Серед рекомендацій громадянам учні виділили: 1) озеленення; 2) активна участь у розчищенні забруднених територій; 3) долучення до екологічних ініціатив; 4) не заважати працювати органам влади; 5) бути не байдужими, покращити менталітет.

Головні висновки. За даними вебресурсу «ЕкоЗагроза» 4911 одиниць техніки РФ спричинили викиди в атмосферне повітря 16086 т забруднюючих речовин, утворення 100865 т відходів, розлив нафтопродуктів – 325 т в ґрунти та 3 т у воду, завдали шкоди довкіллю на суму 68,3 млн грн.

99,6% обсягів викидів забруднюючих речовин належить діоксиду вуглецю. Як мінімальні, так і максимальні кількості викидів в розрізі окремих забруднюючих речовин надходили від безпілотників оперативно-тактичного рівня та літаків відповідно. Із 100 865 т утворених відходів 31,8% (або 32108 т) – це танки, 26,2% (або 26 474 т) – бойові броньовані машини, 20,2% (або 20 370 т) – автомобільна техніка. З 325 т нафтопродуктів, що потрапили у ґрунт джерелом привнесення 33,7% з них є літаки (109 т), 18,8% – цистерни з паливом (61 т), 17,1% – бойові броньовані машини (56 т), 16,4% – танки (53 т). Лідерами за кількістю завданих збитків у грошовому еквіваленті серед техніки є літаки – 22,96 млн грн (33,6%), цистерни з паливом – 12,8 млн грн, бойові броньовані машини – 11,67 млн грн та танки – 11,19 млн грн.

Проведеним анкетуванням встановлено, що 93,8% школярів вважають військові дії на території нашої держави екологічними злочинами, а найбільше забруднюють довкілля, на їх думку, вибухи, пожежі, бомбардування, спалювання військової техніки, перебування «орків» в зоні АЕС. Відмічено оптимістичне налаштування підростаючого покоління

щодо можливості покращення екологічної ситуації в Україні після закінчення військових дій, а запропоновані учнями заходи покращення стану довкілля свідчать про їх екологічну обізнаність та зацікавленість у відновленні довкілля.

Перспективами подальших досліджень є оцінка збитків від військових дій на території Житомирської області та проведення опитування стосовно екологічних наслідків військових дій для більш широкої аудиторії різних вікових груп.

Література

1. Medvedieva M. O., Korotkyi T. R. Responsibility for the environmental damage caused during the armed conflict between Ukraine and the Russian Federation: opportunities in the algorithm of protecting national interests. *Actual problems of international relations.* 2019. № 139. P. 57 – 67. DOI: https://doi.org/10.17721/apmv.2019.139.0.58-67
2. Трегуб О. А. Правове забезпечення екологічного відновлення міст на постконфліктних територіях. *Вісник ЛДУВС ім. Е. О. Дідоренка*. 2020. № 4(92). С. 273–285. DOI: 10.33766/2524-0323.92.273-285
3. Халецька К., Сидоренко Н. Правова охорона навколишнього природного середовища в зонах проведення бойових дій. Молодий вчений. 2019. № 10(74). С. 622–627. DOI: https://doi.org/10.32839/2304-5809/2019-10-74-131
4. Кучер В. О., Євхутич І. М., Парасюк В. М. Забезпечення екологічної безпеки на території окупованого Донбасу. *Юридичний науковий електронний журнал.* 2021. № 9. С. 115–118. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0374/2021-9/27
5. Кононенко В. П. Новікова Л. В. Вплив регіональних збройних конфліктів на міжнародну екологічну безпеку. *Альманах міжнародного права.* 2020. № 24. С. 214–221. DOI: https://doi.org/10.32841/ILA.2020.24.25
6. Тодоров І. Я. Безпековий вимір міжнародних відносин в Східній та Центральній Європі в контексті російської агресії. *Політичне життя.* 2022. № 1. С. 138–144. DOI: https://doi.org/10.31558/2519-2949.2022.1.16
7. Іванов С. В., Ляшенко В. І., Харазішвілі Ю. М., Кучеров А. В. Локалізація та ліквідація наслідків катастрофи довкілля на Донбасі. *Економічний вісник Донбасу*. 2019. № 3(57). С. 217–240.
8. Геєць В. М. Про оцінку економічних втрат України внаслідок збройної агресії РФ: Стенограма доповіді на засіданні Президії НАН України 30 березня 2022 року. *Вісник Національної академії наук України*. 2022. № 5. С. 30–38. DOI: https://doi.org/10.15407/visn2022.05.030
9. Сак Т. В., Більо І. О., Ткачук Ю. Е. Еколого-економічні наслідки російсько-української війни. *Економіка та суспільство*. 2022. № 38. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-38-6
10. Планування відновлення довкілля. Аналітична записка. URL: http://epl.org.ua/wp-content/uploads/2022/06/FIN_Planuvannya-vidnovlennya-dovkillya.pdf (дата звернення: 30.06.2022).
11. ЕкоЗагроза: офіційний ресурс Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: https://ecozagroza.gov.ua (дата звернення: 30.06.2022).
12. Валерко Р. А., Герасимчук Л. О. «ЕкоЗагроза» як інструмент фіксації екологічних злочинів у лісовому господарстві. Лісові екосистеми: сучасні проблеми і перспективи досліджень-2022: Матеріали І Всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Житомир, 30 травня 2022 р.). Житомир : Поліський національний університет, 2022. С. 30–32.

УДК 621.039.736
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.29

АЛЬТЕРНАТИВНІ ЗВ'ЯЗУЮЧІ ДЛЯ ІММОБІЛІЗАЦІЇ РІДКИХ ОРГАНІЧНИХ РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ

Злобенко Б.П., Федоренко Ю.Г., Розко А.М., Ольховик Ю.О.
Державна установа Інститут геохімії навколишнього середовища
Національної академії наук України
пр. академіка Палладіна, 34А, м. Київ
borys.zl@gmail.com, al.rozko@gmail.com, yolkhovyk@ukr.net

Під час експлуатації або при знятті з експлуатації енергоблоків АЕС утворюються рідкі органічні радіоактивні відходи, поводження з якими вимагає брати до уваги їхню природу і притаманні їм специфічні властивості. Більшість органічних відходів несумісні з навколишнім середовищем, тому варіант "розведення та скидання" не може бути застосовано до рідких органічних радіоактивних відходів. Крім іммобілізації радіонуклідів, органічні компоненти відходів повинні бути зруйновані або переведені в стабільну нетоксичну форму. Розглянуто і систематизовано технологічні особливості іммобілізації рідких органічних радіоактивних відходів (РОРВ) у геополімерну матрицю, яка може становити основу упаковки радіоактивних відходів та відповідати вимогам радіаційної безпеки для розміщення у сховищах для захоронення. Запропоновано застосування відповідних компонентів для покращення ефективності синтезу композиційних матеріалів з іммобілізованими РОРВ залежно від використаного технологічного регламенту та виду сировини. Розглянуто особливості механізму синтезу геополімерів в залежності від кількості CaO у сировині. Розглянуто переваги і недоліки різних способів кондиціонування РОРВ геополімерними зв'язуючими – пряме цементування, цементування емульсії та цементування насиченого маслом адсорбента.

Для синтезу геополімерів з різними механізмами утворення застосовано метакаолін, золу виносу Дарницької ТЕС та шлак Маріупольського металургійного комбінату. Синтезовано зразки з безпосереднім введенням масла у геополімер, а також з застосуванням попередньої емульгації і неорганічних адсорбентів. Отримано компаунди з межею міцності на стиск більше 10 МПа, що відповідає вимогам для захоронення радіоактивних відходів у приповерхневих сховищах. Найбільшу міцність мають зразки на основі матеріалу з високим вмістом CaO – шлак з додаванням метакаоліну. *Ключові слова:* рідкі органічні радіоактивні відходи, кондиціонування, геополімери, шлак, метакаолін.

Alternative binders for immobilization of liquid organic radioactive waste. Zlobenko B., Fedorenko Yu., Rozko A., Olkhovyk Yu.
During the operation or decommissioning of NPP units, liquid organic radioactive waste (LORW) is generated, the management of which requires taking into account their nature and their specific properties. Most organic waste is incompatible with the environment, so the "dilution and disposal" option cannot be applied to liquid organic radioactive waste. Technological features of immobilization of liquid organic radioactive waste (LORW) into a geopolymer matrix, which can form the basis of radioactive waste packaging, and meet the requirements for placement in storage facilities for disposal are considered and systematized. Several ways to condition LORW with geopolymer binders are used in the work. This is the so-called direct method, when the oil is introduced into the geopolymer before it hardens; the method by which the oil is previously converted into an emulsion by means of surfactants, which is then mixed into the geopolymer, and the method of pre-saturation of solid adsorbents with oil. The use of appropriate components to improve the efficiency of synthesis of composite materials with immobilized LORW depending on the used technological regulations and the type of raw materials is proposed. The peculiarities of the mechanism of geopolymer synthesis depending on the amount of CaO in the raw material are considered. The advantages and disadvantages of several methods of conditioning RORV with geopolymer binders are considered.

Metakaolin, ash from the Darnytsya TPP and slag from the Mariupol Metallurgical Plant were used for the synthesis of geopolymers with different formation mechanisms. Samples with direct introduction of oil into the geopolymer, as well as with the use of pre-emulsification and inorganic adsorbents were synthesized. Compounds with a compressive strength of more than 10 MPa are obtained. Samples based on a material with a high content of CaO – slag with the addition of metakaolin have the greatest strength. *Key words:* liquid organic radioactive waste, conditioning, geopolymers, slag, metakaolin.

Постановка проблеми. Радіоактивні відходи (РАВ), що утворюються під час експлуатації або при знятті з експлуатації енергоблоків АЕС мають різноманітний склад. Деяка частина зазначених відходів повністю складається із органічних матеріалів, які можуть бути як в твердому, так і в рідкому стані. Поводження з твердими органічними радіоактивними відходами на АЕС України вирішується застосуванням технологій, передбачених у складі комплексів з переробки РАВ. Хоча об'єм рідких органічних РАВ порівняно невеликий, поводження з ними вимагає брати до уваги їхню природу і притаманні їм специфічні властивості, такі як горючість, леткість, токсичність, радіаційна і хімічна стійкість.

На діючих українських АЕС для переробки рідких органічних радіоактивних відході використовують наступні технології:

– На Запорізькій і Хмельницькій АЕС забруднена радіоактивне масло утилізується на установках спалювання потужністю 12 і 5 кг/год

– Рівненська АЕС використовує установку очищення масла потужністю 500 кг/год, призначену для регенерації накопиченого відпрацьованого мастила від усіх енергоблоків ВП РАЕС шляхом зневоднення і очищення від механічних домішок.

Чорнобильська АЕС, енергоблоки якої перебувають у стані зняття з експлуатації, не має будь-яких установок для переробки рідких органічних РАВ і накопичене радіоактивно забруднене масло (головним чином турбінне масло ТП-22) зберігається у стальних танках у сховищах на площадці станції. Наразі загальний об'єм забрудненої оливи складає 145 м^3, загальна активність внаслідок наявності ^{137}Cs оцінюється у 2,6Е+7Бк.

Оскільки багато органічних відходів несумісні з навколишнім середовищем, варіант "розведення та скидання" не може бути застосованим до рідких органічних радіоактивних відходів. Крім іммобілізації радіонуклідів, органічні компоненти відходів повинні бути зруйновані або переведені в стабільну нетоксичну форму [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Перші дослідження, пов'язані з прямим цементуванням рідких органічних радіоактивних відходів (РОРВ), були проведені у США в 1983 році [2]. Вони полягали в прямій іммобілізації насосного масла у портландцементі з добавками емульгатора та прискорювача тужавлення. Цементування характеризується невисоким наповненням матриці оливою (до 15–20% мас.) [3]. Дослідження, присвячені вивченню впливу органічних рідин на портландцементи, показали, що наявність органіки в портландцементних пастах спричиняє уповільнення гідратації та структурні дефекти, які можуть викликати значне вимивання органічних сполук [4–5]. Щоб подолати цю проблему, було рекомендовано реалізувати етап абсорбції перед іммобілізацією РОРВ в портландцементі [3,6–8]. Нещодавно було показано, що кондиціонування РОРВ можна оптимізувати за допомогою альтернативних мінеральних в'яжучих, які дозволяють обмежити, а іноді навіть виключити хімічні взаємодії між відходами та в'яжучим. Серед цих альтернативних сполук геополімери та споріднені матеріали, активовані лугом [9], є досить перспективними для застосування.

Основний зміст. Пряме кондиціонування полягає в інкапсуляції РОРВ в тверду матрицю з метою отримання композиційного геоматеріалу, який може становити основу упаковки радіоактивних відходів, та відповідати вимогам для розміщення у сховищах для захоронення. Зазначений принцип заснований на емульгуванні РОРВ в розчині лужних силікатів (активаційний розчин) з наступним додаванням джерела алюмосилікату (метакаоліну), що призводить до схоплювання композиту «РОРВ/геополімер».

Існують декілька способів кондиціонування РОРВ геополімерними зв'язуючими [5,6,9]. Це так званий прямий спосіб, коли масло вводиться у геополімер до початку його тужавлення; спосіб за яким масло попередньо за допомогою ПАР (поверхнево активні речовини) перетворюють у емульсію, що потім вмішується у геополімер, та спосіб попереднього насичення твердих адсорбентів маслом. В геополімер у такому разі вноситься насичений маслом адсорбент.

Попередніми дослідженнями встановлено, що перевагами прямого кондиціонування РОРВ за допомогою геополімерного методу в порівнянні з прямим кондиціонуванням за допомогою звичайних цементів є відсутність взаємодій РОРВ/геополімеру, що може спричинити затримку схоплювання або негативний вплив на кінцеві властивості матеріалу; при цьому дуже корисним є емульгування РОРВ в лужному силікатному розчині.

Для простоти геополімери та пов'язані з ними матеріали, активовані лугом, в решті тексту названі геополімерами (ГП).

Згідно з сучасними уявленнями [10] синтез геополімерів може відбуватися за двома механізмами в залежності від кількості CaO у сировині.

За відсутністю, або малою кількістю CaO синтез геополімерів відбувається за такою схемою:

– на першому етапі оксиди кремнію та алюмінію розчиняються у лужному середовищі концентрованого розчину NaOH чи KOH ;

– на другому– похідні мономерних структур розщеплюються на мономери;

– на третьому етапі відбувається поєднання та ущільнення внаслідок перетворення мономерів у полімерні матеріали.

Типовим представником розглянутого механізму синтезу геополімерів є метакаолін з якого як відомо, синтезовані перші геополімери.

За наявністю у сировині великої кількості CaO механізм відтворення в'яжучих змінюється [11-14]. У системах багатих CaO утворюються гелі типу $CaO – Na_2O – Al_2O_3 – SiO_2 – H_2O$ шляхом механізмів гідратації подібних утворенню $CaO – Al_2O_3 – SiO_2 – H_2O$ у портландцементах [14].

При зменшенні кількості CaO у системах утворюються гелі наступної будови $Na_2O – Al_2O_3 – SiO_2 – H_2O$ внаслідок реакції поліконденсації (геополімерізації). У цьому випадку вода потрібна лише як середовище для розчинення і після поліконденсації вода звільняється на відміну від випадку з великою кількістю CaO, де вода вбудовується у структуру.

Типовим представником системи з високим вмістом CaO є відвальний доменний шлак, який при взаємодії з лужними активаторами утворює шлаколужне зв'язуюче (геополімер) – шлаколужний цемент [11, 15, 16].

Мета роботи полягає у підвищенні ефективності синтезу композиційних матеріалів з іммобілі-

зованими РОРВ залежно від використаного технологічного регламенту та виду сировини. Розуміння фізико-хімічних процесів при цементуванні РОРВ геополімерами різними способами може покращити контроль процесу інкапсуляції та досягнення нормованих властивостей затверділих матеріалів.

Матеріали та методи досліджень. Для синтезу геополімерів з різними механізмами утворення застосовували метакаолін, золу виносу та шлак. Хімічний склад матеріалів наведено в таблиці 1.

Метакаолін отримували шляхом прогріву каоліну Глуховецького родовища протягом 4 годин за температури 800 °С. У метакаоліні в якості домішок у невеликій кількості спостерігались слюда та кварц.

Наступними компонентами, які застосовані для синтезу геополімерів, були близькі за властивостями золи виносу Трипільської та Дарницької ТЕС.

До складу золи входить недопал вугілля у кількості близько 20 %, а також алюмосилікатні мікросфери.

Для зменшення вмісту недопалу та мікросфер від золи відділяють фракцію <125 мкм. Як було встановлено до складу мікросфер також входять кристалічні речовини. Кристалічні речовини імовірно локалізуються в середині мікросфер тоді як їх поверхня має склоподібну будову. На електронно-мікроскопічних знімках спостерігаються численні лунки від мікросфер на поверхні геополімерних матриць – рис. 1.

У роботі [17] вказується, що не кожна зола придатна для створення геополімерів. Слід також зазначити, що відібрані з різних ділянок золосховища зразки можуть відрізнятися за складом та хімічною будовою. Це вимагає ретельної додаткової підготовки та контролю золи виносу, що призводить до деякого обмеження її застосування. Вважається [17], що золу виносу доцільно поєднувати із шлаком у тому випадку, коли вона вміщує велику кількість CaO.

Шлак Маріупольського металургійного комбінату використовувався у фракції <125 мкм. За співвідношенням Ca/(Si+Al) = 1 шлак відноситься до речовин з великим вмістом CaO [10]. З таблиці 1 видно, що у порівнянні з метакаоліном та золою шлак містить найменшу кількість Al_2O_3. У шлаку присутні як кристалічні речовини так і склофаза, кількість якої може сягати за масою 50 % і більше.

Найбільш важливою складовою шлаку є склоподібна (рентгеноаморфна) фаза, хімічна будова якої потребує дослідження. Можливо стверджувати, що у складі цієї фази присутні CaO та SiO_2. На користь цього свідчить той експериментальний факт, що на рентгенограмі геополімеру утвореного на основі шлаку крім дифракційних рефлексів притаманних шлаку з'являються рефлекси нової кристалічної фази, ймовірно гідросилікату кальцію $2CaO{\cdot}SiO_2{\cdot}nH_2O$.

У якості твердого адсорбенту для попереднього насичення маслом використано мінерал палигорськіт фр. <0,4 мм висушений за температурою 110 °С протягом 5 годин – рис. 2. Вибір палигорськіту обумовлений тим, що з багатьох природних дисперсних мінералів він найбільше поглинав нафту та дизельне паливо [18]. Як було встановлено сухий палигорськіт може поглинати та утримувати близько 60 % мас. компресорного масла.

У якості ПАР застосовували комерційну суміш за ТУ У 24.5 – 25470089-011-2004, основними компонентами якої є ПАР аніонні – від 5 % до 15 %, амфотерні менше 5 %, неіоногенні – менше 5 %, трилон – менше 5 %

Для кондиціонування застосовували неактивні сурогатні РОРВ, мінеральне компресорне масло КЗ-10 основні фізико-хімічні властивості якого наведені в таблиці 2. За в'язкістю та коефіцієнтом в'язкості це масло частково наближається до масла ТП-22.

Експериментальна частина. Зразки геополімерів вироблялися наступним чином: луг (КОН) розчинявся у воді і поєднувався з рідким склом. Суміш перемішувалася з порошковими компонентами із додаванням води до утворення конусу розпливу 14–16 см. Надалі у суміш вносилося масло, чи водомасляна емульсія або твердий адсорбент насичений попередньо маслом, після чого проводилося механічне перемішування при швидкості обертання мішалки 1400 об/хв ÷2000об/хв протягом 5÷7 хв. Деякий час з суміші могли виходити пухирці. Суміш заливали у форми 5 см х 5 см х 5 см і залишали у формах до закінчення тужавлення. Час закінчення тужавлення визначався приладом Віка, конус якого заповнювали одночасно з формами. Після закінчення тужавлення зразки виймалися з форм, зважувалися і розміщувалися у ексикаторах в атмосфері насичених парів води за кімнатною температурою. Через 5÷7 діб починалася сушка зразків за кімнатною температурою.

Зразки виготовлялися партіями. У кожній партії було від 3 до 5 зразків зовнішній вигляд деяких представлено на рисунку 3.

Висихання зразків контролювалось періодичним зважуванням. Зразки висушувалися до постійної маси. Як приклад на рис. 4 наводяться криві втрати вологи з часом зразками ЗБ – (30–32).

Таблиця 1

Хімічний склад матеріалів, %

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	K_2O	Na_2O	TiO_2	SO_3	ВПП
метакаолін	55,3	34	1,25	0,1	0,1	0,45	0,2	0,6		8,0
зола	54,9	30,8	5,5	–	2,8	2,4	–	1,1	1,3	–
шлак	36,53	7,9	0,2	9,5	42,9	1,3		0,47	0,54	–

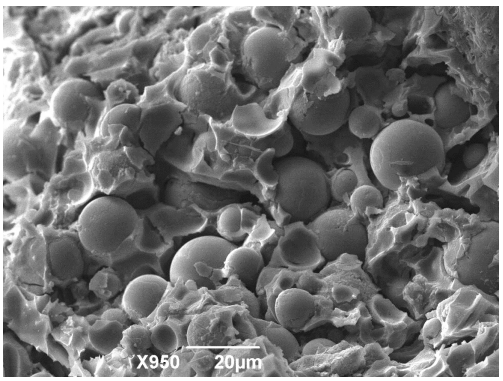


Рис. 1. Мікросфери на поверхні геополімерних матриць

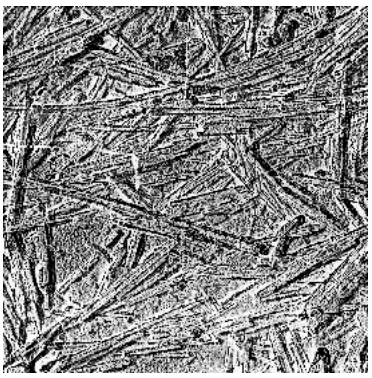


Рис. 2. Кристали палигорськіта Черкаського родовища (зб. $12 \cdot 10^4$)

Таблиця 2

Фізико-хімічні властивості компресорного масла КЗ-10

Найменування показника	Норма по ГОСТ	Метод випробувань
Температура застигання не вище, °С	10	ГОСТ 20287
Температура спалаху, визначена у відкритому тиглі, не нижче, °С	205	ГОСТ 4333
В'язкість кінематична за температури 40°С, мм²/с	73,7–96,2	ГОСТ 33
Густина за температури 20°С, г/см³	0,9	ГОСТ 3900
Зольність, % не вище	0,005	ГОСТ 1461

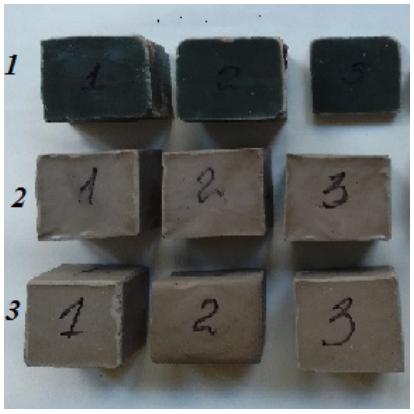


Рис. 3. Зразки компаундів різних партій: 1 – ЗБ – 9 (15.12.2020), 2 – ЗБ -17 (18.02.2021), 3 – ЗБ-18 (22.02.2021)

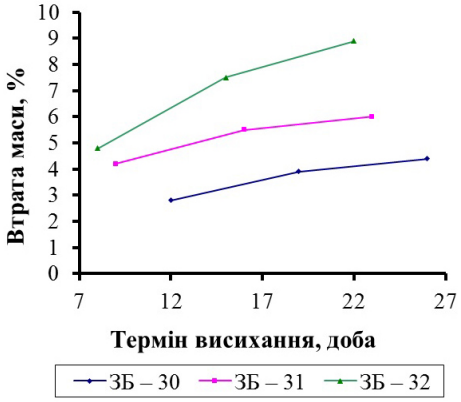


Рис. 4. Криві втрати вологи з часом зразками

Після висихання проводили вимірювання межі міцності на стиск.

Результати та їх обговорення. Порівняльні дослідження проводилися на монокомпонентних зразках у яких основою для геополімеру був шлак чи зола або метакаолін. Склад таких зразків наведено у таблиці 3.

Для утворення пастоподібного стану найменшої кількості води потребує шлак, найбільшої – метакаолін. У таблиці 4 надаються властивості вищезазначених зразків.

Найвищу щільність та найбільшу міцність демонструє зразок ЗБ – 9 на основі доменного шлаку. При вимірюванні пористості зразків шляхом їх насичення гасом для цього зразка отримані найменші значення – близько 0,5 %.

При висиханні зразка його розміри зменшуються. Якщо внаслідок нерівномірного висихання поверхня зразка висихає швидше ніж глибинні (внутрішні) шари, то у ньому утворюються тріщини. При повільному висиханні тріщини не утворювалися.

Вплив поєднання шлаку з метакаоліном у різних співвідношеннях вивчався на зразках ЗБ-30 – ЗБ-32 та ЗБ-13 – таблиця 5.

Як з'ясувалося при поєднанні двох механізмів геополімерізації збільшення кількості метакаоліну у зразках дещо зменшує їх межу міцності на стиск, але на таких зразках тріщини при висиханні не виникають.

Таблиця 3

Склад зразків компаундів з різним механізмом геополімерізації

Шифр	Склад, %					
	Шлак	Зола	Метакаолін	Рідке скло	КОН	Вода
ЗБ– 9	68,5	–	–	15,8	5,5	10,3
ЗБ– 11	–	60	–	15.3	5,3	19,3
ЗБ– 12	–	–	46,2	11,8	4,0	37,9

Таблиця 4

Властивості зразків геополімерів з різними механізмами геополімерізації

Шифр	Si/Al	(Na+K)/Al	Термін тужавлення, хв	Щільність, г/см^3	Межа міцності, МПа
ЗБ-9	1,55	0.4	120	1,98	26,4
ЗБ-11	1,85	0,5	>180	1,50	6,2
ЗБ-12	1,6	0,43	>150	1,44	14,2

Таблиця 5

Склад зразків із різними співвідношеннями між компонентами

Шифр	Склад, %				
	Шлак	Метакаолін	Рідке скло	NaOH	Вода
ЗБ-30	53,8	5,4	17,9	6,8	16,1
ЗБ-31	49,3	9,9	16.4	6,3	18,1
ЗБ-32	44,9	13,5	15,0	5,7	21
ЗБ-13	39,7	19,9	15,2	5,3	19,9

Таблиця 6

Властивості зразків з маслом з із різними співвідношеннями між компонентами

Шифр	Si/Al	Na/Al	Термін тужавлення, хв	Щільність, г/см^3	Межа міцності, МПа
ЗБ-30	4,3	2,2	190	1,96	21,0
ЗБ-31	3,57	1,1	>200	2,06	20,6
ЗБ-32	3,25	0,9	320	1,89	19,3
ЗБ-13	2,8	1.08	150	1,8	17,9

Дослідження показали, що шлак у складі зразків підвищує їх міцність, а метакаолін зменшує міцність зразків і підвищує пористість до 18 %.

У якості оптимального варіанту у зразках для цементування масла було прийнято співвідношення маси шлаку до метакаоліну як 2:1. З цим співвідношенням були синтезовані зразки ЗБ-16 – ЗБ-19 (таблиці 7, 8).

Таким чином при збільшенні масла у зразках межа міцності на стиск зменшується. Після повного висихання зразка максимальна кількість масла яке може бути зацементовано у зразках у вигляді водомасляної емульсії становитиме приблизно 15 % мас.

Для вивчення особливостей цементування масла з використанням твердих адсорбентах були виготовлені зразки ЗБ-39, ЗБ-41 (таблиця 9).

Варіювання показали, що середня межа міцності на стиск становить у зразків ЗБ-39 – 10,7 МПа у ЗБ-41 – 12,5 МПа.

Очевидно, що збільшення кількості масла зменшує межу міцності. Підвищити ефективність цементування можливо за наступними варіантами. При

Таблиця 7

Цементування масла у геополімерних зразках

Шифр	Склад, %						
	Шлак	Мета каолін	NaOH	Рідке скло	Масло	ПАР	Вода
ЗБ-16	38,8	19,4	6,3	14,9	–	–	20,7
ЗБ-17	39,8	19,4	6,5	15,2	5,3	–	13,3
ЗБ-18	38,7	19,4	6,3	14,9	10,3	0,03	10,3
ЗБ-19*	34,7	17,4	5,7	13,3	18,5	0,02	10,4

Таблиця 8

Властивості зразків з маслом

Шифр	Si/Al	Na/Al	Термін тужавлення, хв	Щільність, г/см^3	Межа міцності, МПа
ЗБ-16	2,7	1,25	190	1,53	15,4
ЗБ-17	2,7	1,25	>80	1,48	13,4
ЗБ-18	2,7	1,25	>160	1,53	11,6
ЗБ-19*	2,7	1,25	90	1,49	3,2

* Після цементування на поверхні зразка з'являється масляна плівка.

Таблиця 9

Склад зразків з адсорбентом

Шифр	Склад, %					
	Шлак	Палигорськіт	КОН	Рідке скло	Масло	Вода
ЗБ-39	28,7	13,1	3,8	12,8	6,9	28,7
ЗБ-41	30,1	20,1	4	13,4	12,3	20,1

прямому способі цементування масла потрібно зменшувати коалесценцію його крапелек у геополімері шляхом більшого їх подрібнення та скорочення початку тужавлення. Можливо також введення масла не спочатку, а через деякий час від остаточного поєднання всіх компонентів.

Позитивний результат було отримано при попередній механічній активації шлаку у активаторі, 14000 об/хв. При активації змінюється розподіл частинок за розмірами і домінуюча фракція має розмір 65 мкм – рис. 5.

Відносно зразків, у яких застосовувався твердий насичений маслом адсорбент, то їх міцність залежатиме як від кількості адсорбенту у зразках, так і від міцності частинок самого адсорбенту.

Слід також зазначити, що підвищення міцності зразків повинно узгоджуватися з властивостями вуглеводнів для кожного конкретного випадку цементування рідких вуглеводнів геополімерними зв'язуючими.

Головні висновки. Встановлено, що при геополімерізації у присутності масла, яке не змішується з водою, утворюються компаунди з межею міцності на стиск більше 10 МПа незалежно від способу цементування. При підвищенні у компаундах кількості масла їх міцність поступово спадає. Найбільшу міцність мають зразки на основі матеріалу з високим вмістом CaO – шлак з додаванням алюмосилікатного метакаоліну для зменшення можливості утворення тріщин. Встановлено, що збільшення кількості метакаоліну у зразках без масла від 5 % до 20 % зменшує їх міцність до 18 МПа.

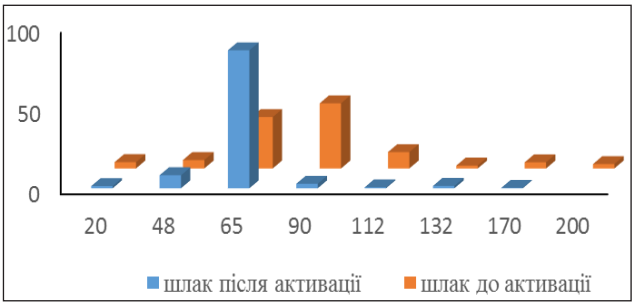


Рис. 5. Розподіл частинок за розмірами

При різних механізмах геополімерізації, а також враховуючи кристалічні фази у компонентах, відношення у зразках Si/Al; (Na + K)/Al може бути різним. Найбільш міцний геополімер на основі шлаку мав відношення Si/Al = 1,55 при; (Na + K)/Al= 0.4 у той же час як геополімер з використанням золи виносу при кращому співвідношенні Si/Al = 1,85 та (Na + K)/Al= 0.5 мав втричі меншу межу міцності.

Цементування водомасляних емульсій у кількості 18,5 % масла у зразках супроводжується утворенням масляної плівки на поверхні зразків і різким падінням межі міцності до 3,2 МПа. При меншій кількості масла межа міцності близько 12 МПа.

Для цементування масел найбільш перспективним є застосування шлаколужних зв'язуючих з додаванням метакаоліну.

Подяка. Проєкт отримав фінансування за програмою досліджень та навчання Євратому на 2019–2020 роки за грантовою угодою № 945098.

Література

1. Технологические и организационные аспекты обращения с радиоактивными отходами. МАГАТЭ, ВЕНА, 2005, IAEA-TCS-27
2. LIN, M., MACKENZIE, D.R., Tests of Absorbents and Solidification Techniques for Oil Wastes, Rep. BNL-NUREG-51589, Brook haven National Lab, Upton, NY (1983).
3. Патент РФ2317605 C1 МПК G21F 9/16. Способ цементирования жидких радиоактивных отходов, содержащих минеральные масла и/или органические жидкости, и устройство для его осуществления / ГУП Мос НПО «Радон», Варлаков А.П., Невров Ю.В., Горбунова О.А. и др., заявл. 04.07.2006 №2006] 2 3654/06]

4. Патент РФ 2437178, МПК G21F 9/20. Способ цементирования отработанных радиоактивных масел / ФГУП ПО «Маяк», Слюнчев О.М., Козлов П.В., Иванов И.А., заявл. 07.10.2010, опубл. 20.12.2011.
5. P. Duxson, A. Fernandez-Jimenez, J. L. Provis, G. C. Lukey, A. Palomo, J. S. J. van Deventer. Geopolymer technology: the current state of the art. *J. Mater. Sci*. 2007. 42(9). p. 2917–2933.
6. J.L. Provis, and J.S.J. Van Deventer, eds. Introduction to geopolymers. Structure, processing, properties and industrial applications, ed. J.L. Provis and J.S.J. Van Deventer. Woodhead Publishing in Materials : Cambridge, UK, 2009.
7. V. Cantarel, F. Nouaille, A. Rooses, D. Lambertin, A. Poulesquen, F. Frizon, Solidification/stabilisation of liquidoil waste in metakaolin-based geopolymer, J NucMat. 2015. 464. p. 16–19.
8. V. Cantarel, D. Lambertin, A. Poulesquen, F. Leroux, G. Renaudin, F. Frizon, Geopolymeras sembly by emulsion templating: emulsion stability and hardening mechanisms, Ceram. Int. 2018. 44. p. 10558–10568.
9. Charles Reeb, Christel Pierlot, Catherine Davy , David Lambertin "Incorporation of organic liquids in to geopolymer materials, A review o fprocessing, properties and applications"/ Ceramics International, 2021. Vol. 47, n. 6, p. 7369–7385.
10. Naqi J. Jang, recent progress in green cement technology utilizing low-carbon emission fuels and raw materials: a review, Substainability-Basel 11(2) (2019) 537, https://doi.org/10.3390/sull1020537
11. Глуховский В.Д. Пахомов В.А. Шлакощелочные цементы и бетоны. Киев : Будівельник, 1978. 184 с.
12. Chemistry and applications. 3rd eddition. France, Saint-Quentin: Institute Geopolymer, 2011. 614 p.
13. J.L. Provis, S.A. Bernal, Geopolimers and related alkali-activated materials, *Annu. Rev. Mater. Rec*. 2014. 44(1). p. 299–327, https://doi.org/10.1146/annurev-matsci-070813-113515
14. C. Shi, B.Qu, J.L. Provis, Recentprogressinlow-carbonbinders, *Cem. Concr. Res*. 2019. 122. p. 227–250, https://doi.org/10.1016/ j.cemconres.2019.05.009
15. C. Li, H. Sun, L. Li, A review: the comparison between alkali-activated slash(Si+Ca) and metakaolin (Si+Al) cement, *Cem. Concr. Res*. 2010. 40(9). p. 1341–1349, https://doi.org/10.1016/ j.cemconres.2010.03.020
16. Кривенко П.В., Пушкарьова К.К., Гоц В.І., Ковальчук Г.Ю. Цементи та бетони на основі паливних зол і шлаків. Київ : видавництво ТОВ «ІПК Експрес-Поліграф», 2012. 258 с.
17. Федоренко Ю.Г., Ольховик Ю.О., Розко А.М., Павлишин Г.П. Вплив компонентів геополімерних зв'язуючих на властивості компаундів при цементуванні борвміщуючих РРВ. *Ядерна енергетика та довкілля*. 2021. 2(21). С. 71–77. http:// doi.org/10.31717/2311 – 8253.21.2.6
18. Задвернюк Г.П. Поглинання нафти і нафтопродуктів глинами Черкаського родовища. Зб. наук. праць ІГНС. 2011. Вип. 19. С. 109–114.

УДК 502.606:628.4
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.30

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ ОБ'ЄДНАНИХ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД

Пацева І.Г., Герасимчук О.Л., Кагукіна А.М.
Державний університет «Житомирська політехніка»
вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, Україна
olena_1409@ukr.net

Розглянуто основні тенденції розвитку методів та систем управління комунальними відходами в об'єднаних територіальних громадах. Визначено значення системного підходу в управлінні відходами на рівні об'єднаних територіальних громад. Актуальність проблеми обумовлена тим, що провідний досвід запровадження ефективної системи управління відходами на рівні територіальних громад потребує адаптації до умов кожної держави, а отже розробки методологічних основ щодо його реалізації.

Метою статті є аналіз основних тенденцій розвитку методів та систем управління відходами на рівні об'єднаних територіальних громад. За для реалізації поставленої мети використовували комплекс наукових методів, що включав аналіз статистичних даних та звітних матеріалів, узагальнення, моделювання тощо.

Результати: Проаналізовано ефективність застосування системного аналізу для моделювання процесів управління твердими комунальними відходами. З позицій системного аналізу, процеси поводження з відходами є єдиною системою поводження з ТКВ при якій область управління ТКВ визначена множиною зацікавлених сторін та сукупністю складних інфраструктурних об'єктів. Їх результативна діяльність можлива при оптимальній структурі комплексу і вивірених взаємозв'язках між всіма зацікавленими сторонами. Результати системного аналізу є підґрунтям та методологічної основою для розробки та реалізації основних положень стратегії поводження з ТКВ.

Висновки: Застосування системного аналізу для моделювання процесів управління твердими комунальними відходами дозволяє розробити системну модель управління ТКВ для об'єднаних територіальних громад (міських або сільських) з урахуванням інтересів зацікавлених сторін.

Однак слід враховувати, що основна умова впровадження системи – будь-які технології та заходи, в тому числі заходи щодо скорочення числа відходів, їх рекуперація чи утилізація, поховання, тощо розробляють комплексно для доповнення один одного. *Ключові слова:* системний аналіз, тверді відходи, управління відходами, поводження з відходами, об'єднані територіальні громади.

Systematic approach to waste management of united territorial communities. Patseva I., Herasymchuk O., Kahukina A.

The main trends in the development of municipal waste management methods and systems in united territorial communities are considered. The significance of the system approach in waste management at the level of united territorial communities is determined. The relevance of the problem is due to the fact that the leading experience of implementing an effective waste management system at the level of territorial communities requires adaptation to the conditions of each state, and therefore the development of methodological foundations for its implementation.

The purpose of the article is to analyze the main trends in the development of waste management methods and systems at the level of united territorial communities. For the realization of the set goal, a complex of scientific methods was used, which included the analysis of statistical data and reporting materials, generalization, modeling, etc.

Results: The effectiveness of the application of system analysis for modeling solid waste management processes was analyzed. From the point of view of systems analysis, waste management processes represent a single solid waste management system in which the domain of solid waste management is defined by a multitude of stakeholders and a set of complex infrastructure facilities. Their effective operation is possible under the optimal structure of complex and verified relationships between all interested parties. The results of the system analysis are the basis and methodological basis for the development and implementation of the main provisions of the solid waste management strategy.

Conclusions: The application of system analysis for modeling solid municipal waste management processes makes it possible to develop a system model of solid waste management for united territorial communities (urban or rural) taking into account the interests of interested parties.

However, it should be taking into account that the main condition for the implementation of the system is that any technologies and measures, including measures to reduce the amount of waste, its recovery or disposal, burial, etc., are developing comprehensively to complement each other. *Key words:* system analysis, solid waste, waste management, waste management, united territorial communities.

Постановка проблеми. Стратегія сталого розвитку, одним з елементів якої є екологічна безпека, в сучасних умовах розвитку цивілізації набуває все більшої актуальності. Реалізація цілей сталого розвитку стає пріоритетним напрямом, що сприяє досягненню гармонії між економічним зростанням, стабільністю в соціальній сфері та охороною довкілля. Водночас, нагромадження відходів в країнах світу, зокрема і в Україні є глобальною проблемою, яка потребує адекватного вирішення. Статистика динаміки утворення та накопичення відходів вказує на їх систематичне збільшення. Даний процес загро-

жує здоров'ю населення та стану навколишнього середовища.

Актуальність дослідження. Не можливо впровадити ефективну систему управління відходами для ОТГ без науково-обґрунтованих розробок стосовно генерування методологічного апарату, який буде забезпечувати усі сучасні технологічні характеристики системи управління територіальної комісії.

Для удосконалення системи управління відходами доцільно використовувати системний підхід як методологічний підхід до утворення системи інтегрованого управління відходами на регіональному рівні. Запровадження технологій обходження з відходами повинно бути націлено на зменшення та припинення утворення відходів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання сучасного стану утворення та шляхів утилізації відходів досліджено в працях зарубіжних та вітчизняних науковців. Удосконалення методів управлянні відходами з урахуванням особливостей європейських країн викладено в дослідженнях Вадівала М., Вагнагі М. [1]. Щаслива Л., Пашков А., Спринська Г. вивчали еколого-економічний досвід утилізації ТПВ у провідних країнах світу [2]. В наукових доробках Михайлової Є., Панчевої Г., Резніченко Г., Погребенника В., Коваль І., Джумеля Е. досліджено ефективні механізми поводження з відходами та розвиток методів і систем управління відходами [3, 4]. Бабаєв В., Панов В., Хайло Я., Горох М., Коцюба І. висвітлили в своїх роботах напрямки комплексного управління муніципальними відходами, поетапного залучення твердих побутових відходів до переробки *питанням поводження з твердими побутовими відходами, прогнозуванню та моделюванню їх накопичення в Україні* [5, 6].

Складність аналізу підсистем у сфері збирання, транспортування та утилізації ТКВ потребує формування методології, яка могла б гарантувати результативну діяльність. Застосування системного аналізу, на думку дослідників, дозволяє створити ефективну систему управління відходами з урахуванням інтересів всіх зацікавлених сторін, що досі залишається актуальним для наукового пошуку.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Світовий досвід накопичив достатньо способів збору, переробки та ефективних систем управління відходами. Їх застосування в Україні можливе лише з урахуванням місцевих особливостей щодо економіки, менталітету, розвитку інфраструктури та ін. Необхідно сформувати метод вирішення проблеми, який буде відповідати сучасним ресурсним та еколого-економічним вимогам, які будуть забезпечувати вторинне використання відходів як джерела сировини, санітарне очищення територій, безпеку навколишньому середовищу. Реалізація нового підходу для створення ефективної системи управління твердими комунальними відходами (ТКВ) в об'єднаних територіальних громадах (ОТГ) може стати методом вирішення цієї проблеми.

Методологічне або загальнонаукове значення. Метою дослідження є аналіз основних тенденцій розвитку методів та систем управління відходами на рівні об'єднаних територіальних громад. За для реалізації поставленої мети використовували комплекс наукових методів, що включав аналіз статистичних даних та звітних матеріалів, узагальнення, моделювання тощо.

Виклад основного матеріалу. Методологічною основою формування системи інтегрованого управління відходами на регіональному рівні, оцінки та вибору способів підвищення екологічної безпеки досліджуваного регіону є системний підхід, який доцільно використовувати для удосконалення системи управління відходами як на стадії аналізу проблеми, так і в процесі прийняття управлінських рішень. Системний аналіз є найбільш конструктивним напрямком, що використовується для практичного застосування та дозволяє проводити дослідження з врахуванням всіх суттєвих факторів, які дозволяють побудувати ефективні системи управління в конкретних умовах.

Будь який об'єкт, що чинить вплив на довкілля, необхідно розглядати як елемент складної соціально-еколого-економічної системи. Якщо розглядати процес запобігання утворення відходів з погляду системного аналізу, то дії поводження з відходами являються єдиною системою процесів в якій область управління охоплена великою кількістю стейкхолдерів та певним обсягом інфраструктурних об'єктів, ефективна діяльність яких можлива лише під час оптимальної структури комплексу та довірених зв'язків між всіма стейкхолдерами.

До системних об'єктів належать вихідні параметри, вхідні фактори, процес їх переходу та зворотній зв'язок з обмеженнями. Функцією входу є забезпечення системи матеріалами, енергією та певною інформацією яка входить до процесу. Результатами процесу є вихідні параметри, що для досягнення якого всі системні об'єкти згруповані разом, а здатністю переводити даний вхід у даний вихід є особливістю процесу. Зміна процесу зближення показників виходу з заданими показниками забезпечує зворотній зв'язок в системі. Формування моделі виходу та мети діяльності системи забезпечується обмеженням системи.

Якщо позначити через функцію $\Psi G(x, \xi, t, \tau)$ систему відходоутворення регіону, через $u\ (x,\ t)$ – спосіб організації управління відходами, який формується під впливом наступних факторів: розмір генерації відходів, базова система управління відходами; $\bar{\omega}_u(x,t)$ – параметри керівного впливу, що враховує наявні технологічні концепції та рішення; $\bar{\omega}_{b,z}(x,t)$ – зовнішні впливи, які враховують можливості ОТГ та його економічні можливості; $\bar{\omega}(\xi,\tau)$ – стандартизуюча функція управління, яка формується

на основі нормативно-правової бази та міжнародних вимог, можна побудувати узагальнену схему системи управління відходами (рис. 1).

Для аналізу підсистем, які формують систему управління відходами, та визначення їх параметрів будемо застосовувати метод морфологічного аналізу. Сутність методу полягає в тому, що в системі акцентують кілька відмінних ключових багатофункціональних компонентів морфологічних ознак. За кожною з них оформляють абсолютний реєстр різноманітних точних варіантів уявлення цих ознак. Будь-яка ознака характеризує показник, функцію, організацію (або стан) системи, фігуру взаємодії характеристик (елементів) тощо. Від них залежить завдання і мета функціонування способу організації розподілу ресурсів управління відходами.

Таким чином, якщо ознаки розміщувати у морфологічній матриці можна буде сформувати морфологічну модель, за допомогою якої можна буде системно аналізувати різні структури системи управління відходами ураховуючи особливості регіону. Тому, за допомогою використання даного прикладу системного аналізу можна розробити своєрідну системну модель управління ТКВ з урахуванням інтересів стейкхолдерів, кожен з яких виконує певну функцію для досягнення поставленої цілі.

Результати системного аналізу є підґрунтям основних положень стратегії поводження з ТКВ, а також методологічною базою для її реалізації.

Структурна схема системи поводження з відходами (рис. 2.), яка визначає реалізацію регіональної програми поводження з відходами через співробітництво територіальних громад шляхом реалізації покрокової процедури планування для інтегрованого поводження з відходами.

Процес планування регіональної програми спирається на три методологічні підходи:

1. Інтегроване поводження з ТКВ.
2. Поетапна система планування.
3. Міжмуніципальне співробітництво (взаємозв'язок територіальних громад).

Основною метою регіональної програми поводження з відходами є вирішення проблеми на довгострокову перспективу шляхом створення позаселітебних територій системи міжрегіональних енергонезалежних виробництв повного циклу зі збирання ТКВ, їх транспортування, переробки в товарну продукцію, а також мережі оптових логістичних центрів.

Особливість регіональної програми полягає у системному вирішенні проблем поводження з відходами, включаючи транспортування від сміттєпе-

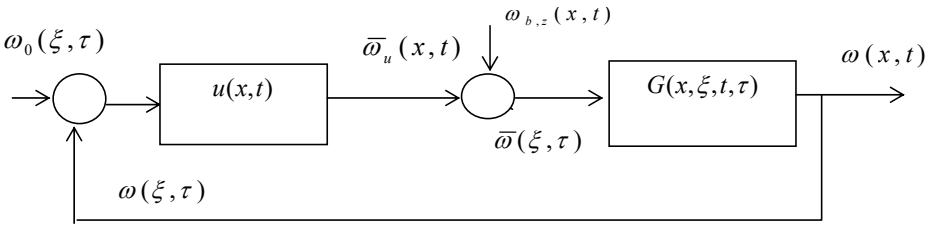


Рис. 1. Узагальнена схема системи управління поводженням з відходами:
$\omega_0(\xi, \tau)$ – початковий стан відходоутворення регіону;
$\omega(x, t)$ – кінцевий стан відходоутворення регіону

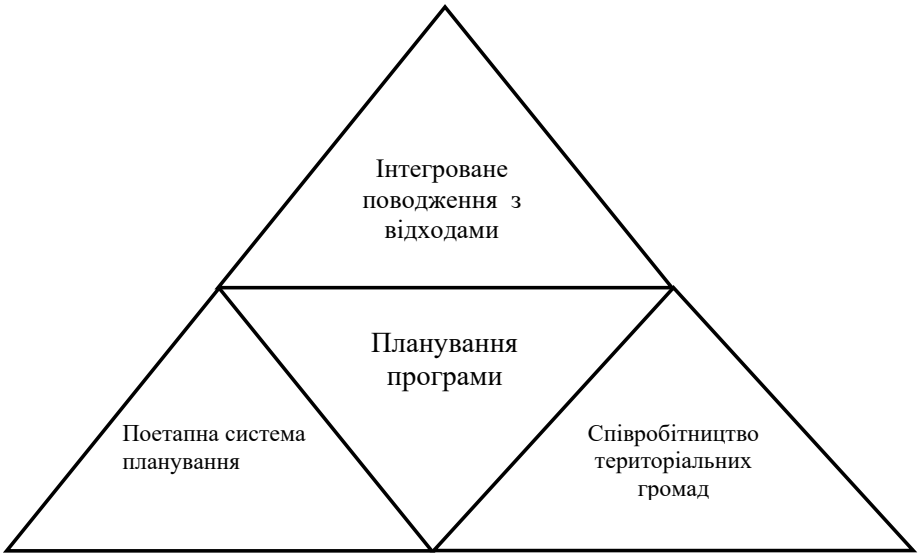


Рис. 2. Структурна схема системи управління відходами

ревантажувальних станцій на переробку та (або) захоронення; відлучення з відходів вторинних матеріальних ресурсів; отримання вторинної сировини; сировинну, енергетичну і біотехнологічну переробку вторсировини в товарну продукцію; передача неутилізованої частини відходів зі сфери відповідальності ЖКГ муніципальних адміністрацій на міжрегіональний рівень.

Ключовою ідеєю нового підходу є комплексна високотехнологічна переробка відходів шляхом застосування безвідходних технологій на малонаселених територіях, розташованих далеко від міст.

Сформуємо методологічну основу для розробки інтегрованої регіональної програми управлення поводженням з твердими комунальними відходами, як сукупність науково обґрунтованих цілеспрямованих впливів на всі процеси поводження з відходами, а саме: збирання, накопичення, обробка, утилізація, переробка, знешкодження, розміщення відходів з метою забезпечення екологічних, економічних і соціальних норм і вимог.

Ці методологічні підходи є інструментом формування структури планування та подальшої реалізації плану (інтегроване поводження з ТКВ), закладають організаційну основу міжмуніципального співробітництва та формують методичні вказівки для реалізації покрокової процедури.

Впровадження регіональних програм поводження з відходами передбачає мінімізацію впливу відходів на довкілля, що є найважливішим принципом побудови сталої системи поводження з ТКВ.

Водночас широкомасштабне впровадження програми поводження з відходами для ОТГ можливе лише за умови створення відповідної інфраструктури, як цілісної інтегрованої господарської системи накопичення, перевезення, збору, складування, рекуперація, сертифікації та ідентифікації, реалізації, утилізації і рециклінгу з відповідним обслуговуванням окремих потоків, як-то інформаційного, маркетингового, транспортного, комерційного тощо.

Висновки. Досвід провідних країн світу у запровадженні ефективної системи управління відходами на рівні територіальних громад вказує на те, що єдиної уніфікованої моделі наразі не існує. Навіть ефективні рішення потребують адаптації до умов кожної держави та вимагають проведення постійних наукових досліджень в сфері поводження з відходами.

Застосування системного аналізу для моделювання процесів управління твердими комунальними відходами аналізу дозволяє розробити системну модель управління ТКВ для об'єднаних територіальних громад (міських або сільських) з урахуванням інтересів зацікавлених сторін.

Основна умова впровадження системи полягає в тому, що будь-які технології та заходи, в тому числі заходи щодо скорочення числа відходів, їх рекуперація чи утилізація, поховання, тощо розробляють комплексно для доповнення один одного.

Література

1. Vadivala M., Vagnani M. Integrated solid waste management based on 3R's/ International jornal of advanced research in engineering, science and management (UJARESM), 2015. Pp. 1–6.
2. Щаслива Л. А., Пашков А. П., Спринська Г. М. Передовий світовий еколого-економічний досвід утилізації твердих побутових відходів. Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології : зб. мат. Національного форуму, 22–23 листопада 2018 р. К. : Центр екологічної освіти та інформації, 2018. С. 15–17.
3. Михайлова Є.О., Панчева Г.М., Резніченко Г.М. Ефективні механізми поводження з твердими побутовими відходами в Україні. Комунальне господарство міст, 2019, том 5, випуск 151, с. 37–44. DOI 10.33042/2522-1809-2019-5-151-37-44
4. Погребенник В.Д., Коваль І.І., Джумеля Е.А. Тенденції розвитку методів і систем управління відходами. Науковий вісник НЛТУ України, 2019. 29(1), с. 78–82. https://doi.org/10.15421/40290117
5. Бабаєв В.М., Панов В.В., Хайло Я.М., Горох М.П. (2017). Комплексна система управління у сфері поводження з твердими побутовими відходами. Комунальне господарство міст, 2017. № 130, с. 1–9.
6. Коцюба І.Г., Подчашинський Ю.О., Лико С.М., Лук'янова С.М. Математичне моделювання та прогнозування обсягів накопичення твердих комунальних відходів міста. Науково-технічний збірник «Вісник Національного транспортного університету». Київ, 2017 року. Вип. № 2/2017. С. 34–41.

УДК 628.3.03
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.31

ЗМЕНШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ ПОЛІГОНІВ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Сталінська І.В.
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
вул. Маршала Бажанова, 17, 61002, м. Харків
stalinskaairina5@gmail.com

Проаналізована проблема нагромадження та поводження з твердими побутовими відходами (ТПВ) в Україні. Охарактеризовано найбільш поширений метод поводження з ТПВ – захоронення ТПВ, який здійснюється на інженерних спорудах – полігонах. Доведено, що утворення і експлуатація полігонів ТПВ породжує ряд проблем, зокрема утворення стічних вод або фільтрату. Оцінено негативний вплив фільтрату на довкілля та здоров'я людини. Виявлено, що високий вміст токсичних компонентів в фільтраті не дозволяє здійснювати його очищення на міських очисних спорудах. З'ясована неможливість скидання неочищеного фільтрату на рельєф або у водойми рибогосподарського призначення. Охарактеризовано закономірності відомих методів і схем очищення фільтрату. Запропоновані технологія і устаткування для очищення фільтрату ТПВ. Особливістю розробленої промислової технології очищення фільтрату є її базування на запропонованому в роботі концептуальному підході, який полягає у формуванні багатоступінчастого комплексного технологічного процесу, що об'єднує методи реагентної, електрохімічної і біохімічної обробки. Процес побудований з урахуванням стадій попереднього очищення і доочищення таким чином, щоб забезпечити на кожній стадії максимально можливий ступінь видалення забруднень достатньо простим і економічним способом, знизивши тим самим навантаження на більш складні та витратні процеси очищення на подальших стадіях. Установка забезпечує видалення (на стадії попереднього очищення) важких металів, максимально можливе зниження концентрації органічних забруднень і їх переведення у біодоступні сполуки, що видаляються біохімічним очищенням, а також доочищення, що передбачає знесолювання фільтрату. Розробки характеризуються ефективністю очищення при скороченні витрат сорбенту, технологічністю і можливістю реалізації в умовах діючих полігонів і нових полігонів, прийнятих в експлуатацію. *Ключові слова:* екологічна безпека; токсичні компоненти; реагентне, електрохімічне, біохімічне очищення фільтрату полігонів ТПВ; технологія; устаткування.

Reducing the environmental risk of solid waste landfills. Stalinska I.
Reduction of environmental risk of solid household waste landfills. Irina Stalinska. The problem of accumulation and management of solid household waste (SHW) in Ukraine is analyzed. The most common method of SHW is described – SHW disposal, which is carried out on engineering structures – landfills. It is proved that the formation and operation of landfills poses a number of problems, in particular the formation of wastewater or filtrate. The negative impact of the filtrate on the environment and human health has been assessed. It was found that the high content of toxic components in the filtrate does not allow its purification at urban treatment facilities. The impossibility of discharging the crude filtrate on the terrain or in fishery reservoirs has been clarified. The regularities of known methods and schemes of filtrate purification are described. The technology and equipment for purification of SHW filtrate are offered. A feature of the developed industrial technology of filtrate purification is its basis on the conceptual approach proposed in the work, which consists in the formation of a multistage complex technological process that combines methods of reagent, electrochemical and biochemical treatment. The process is designed taking into account the stages of pre-cleaning and post-treatment in such a way as to ensure at each stage the maximum possible degree of removal of contaminants in a simple and economical way, thus reducing the burden on more complex and costly cleaning processes in subsequent stages. The unit provides removal (at the stage of preliminary purification) of heavy metals, the maximum possible reduction of organic pollutants and their conversion into bioavailable compounds removed by biochemical purification, as well as additional purification, which involves desalting the filtrate. Developments are characterized by cleaning efficiency while reducing sorbent costs, manufacturability and feasibility in existing landfills and new landfills put into operation. *Key words:* ecological safety; toxic components; reagent, electrochemical, biochemical purification of SHW landfill filtrate; technology; equipment.

Загальновідома кризова ситуація, що склалася в Україні у сфері поводження з твердими побутовими відходами (ТПВ). Насамперед, це пов'язано із збільшенням темпів зростання населення і матеріального виробництва, споживчої активності населення, нераціонального використання мінеральної сировини, обмеженого залучення вторинних ресурсів у матеріальне виробництво та відсутністю діючих організаційно–економічних механізмів стимулювання переробки відходів [1].

Варто зауважити, що складування ТПВ – найбільш поширений, в силу економічних причин, метод поводження з ТПВ, який здійснюється на так званих полігонах, створення і експлуатація яких, в свою чергу породжує ряд проблем, зокрема утворення стічних вод або фільтрату [2]. Слід зазначити, що детальний аналіз умов формування фільтрату, його складу та впливу на довкілля виконаний в роботі [3].

В процесі досліджень виявлено, що високий вміст токсичних компонентів в фільтраті не дозволяє здійснювати його очищення на міських очисних спорудах. Очевидна неможливість скидання неочищеного фільтрату на рельєф або у водойми рибогосподарського призначення. До того ж, враховуючи

інтенсивне зростання обсягів накопичення ТПВ, проблема поводження з фільтратом полігонів ТПВ є надзвичайно актуальним екологічним, науково-технічним і соціальним завданням сьогодення і потребує пошуку дієвих механізмів задля її вирішення.

Відповідно до методичних рекомендацій із збирання, утилізації та знешкодження фільтрату полігонів ТПВ запропоновано такі методи знешкодження та утилізації фільтрату: фізичні (відстоювання, випаровування), фізико-хімічні (адсорбція активованим вугіллям або іншим сорбентом, іонний обмін, мембранна технологія, коагуляція і флокуляція $Ca(OH)_2$, $Fe_2(SO_4)_3$ і $Al_2(S0_4)_3$), хімічні (оброблення активним хлором, окислювання пероксидом водню, озонування, фотохімічне оброблення), біохімічні (аеробне та анаеробне біологічне оброблення) [4].

Аналіз відомих методів і схем очищення фільтрату дозволив зробити висновок про те, що технології будуються, як правило, на основі поєднання традиційних методів в послідовності, яка визначається заданим ступенем очищення. Запропоновані комбінації різних відомих прийомів і методів очищення фільтрату часто неефективні та не забезпечують якісного очищення від шкідливих хімічних сполук. Про це свідчить, зокрема, відсутність відомостей про повномасштабне промислове використання їх в Україні [2].

Звідси – актуальність завдання розробки технології та обладнання, що володіють, поряд з ефективністю і технологічністю, можливістю бути реалізованими в умовах діючих полігонів і нових полігонів, прийнятих в експлуатацію.

На підставі виконаних досліджень [1–8], що включали детальний аналіз відомих рішень, нами запропоновані технологія і устаткування для очищення фільтрату полігонів ТПВ.

Запропонована технологічна схема очищення фільтрату включає попереднє очищення, біологічне очищення і доочищення. На стадії попереднього очищення відбувається підготовка води до біологічного очищення, а на стадії доочищення – зниження мінералізації фільтрату.

Запропонована технологія базується на найбільш ефективному використання біологічного очищення і сорбційних методів.

Оцінка відомих технічних рішень дозволила зробити висновок про те, що основним недоліком більшості схем є неповне використання можливостей такого ефективного методу, як біологічне очищення. Стадія біологічного очищення або відсутня, або здійснюється в кінці технологічного ланцюга, тобто після сорбційного очищення, що призводить до перевитрати дорогих сорбентів. На відміну від відомих, нашою технологією передбачена установка споруд біологічного очищення перед сорбційними фільтрами, що призводить до більш економного витрачання дорогих сорбентів і робить процес очищення ефективнішим.

Опис технології очищення фільтрату полігонів ТПВ. Розроблене рішення запатентоване [9–11] й описане у роботах [2, 5, 6, 8].

Фільтрат подається на попереднє очищення 1 (рис. 1), після якого відбувається його знезараження ультразвуком 2. Знезараження за допомогою ультразвуку забезпечує зменшення кількості бактерій, запобігаючи гниттю фільтрату в акумулюючих резервуарах, що, в цілому, сприяє підвищенню ефективності очищення.

Після попереднього очищення і знезараження фільтрат подається по черзі в три акумулюючі резервуари 3, 4, 5 (рис. 2). Кожен цикл розділений на підцикли, що включають рівні за часом операції наповнення резервуара тривалістю t1, відстоювання – t2 і відведення води з резервуара – t3. Для забезпечення безперервної подачі, відстоювання і відведення фільтрату цикл здійснюється таким чином: кожний підцикл відстає

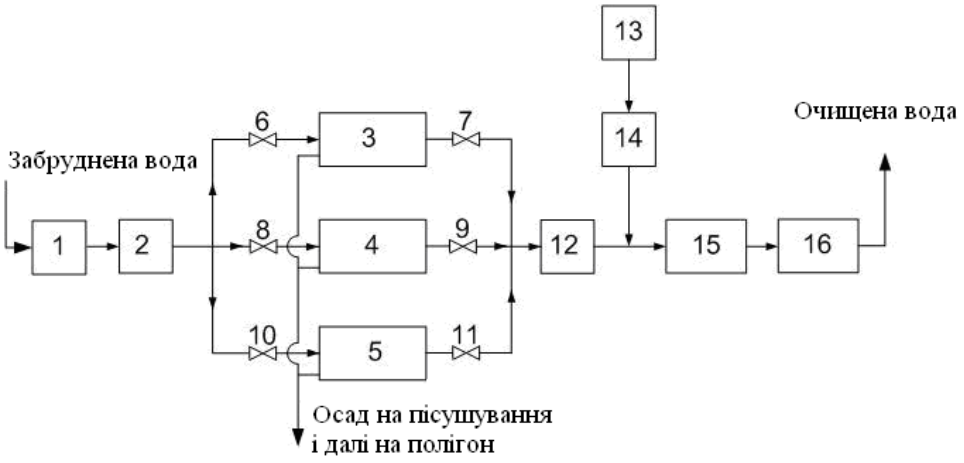


Рис. 1. Принципова схема блоку акумулюючих резервуарів: 1 – попереднє очищення; 2 – знезараження ультразвуком; 3,4 і 5 – акумулюючі резервуари; 6 і 7, 8 і 9, 10 і 11 – засувки резервуарів; 12 – група насосів; 13 – біогенні добавки; 14 – дозатори; 15 – біологічне очищення; 16 – сорбційні фільтри

на одну операцію від попереднього підциклу і випереджає на одну операцію наступний підцикл, що забезпечується рівністю операцій підциклу (t_1=t_2=t_3). При цьому, під час відстоювання в кожному з резервуарів тривалістю t4 відбувається відбір проб води з метою проведення її якісного і кількісного аналізу для підготовки до відведення води з резервуара на біологічне очищення ($t_1 = t_2 = t_3 > t_4$).

Далі фільтрат відводиться на блок біологічного очищення 15 з використанням насосів 12 (рис. 1). При необхідності на основі даних аналізу з баків 13 за допомогою дозаторів 14 в стічні води вводяться біогенні добавки, доза яких визначається за формулою:

$$Д_б = C_{min.i} - C_i, \quad (1)$$

де $C_{min.i}$ – мінімальна концентрація *i*-ї біогенної речовини, яка повинна міститися у фільтраті, що надходять на біологічне очищення, мг/дм^3; C_i – вміст *i*-ї біогенної речовини після попереднього очищення, мг/дм^3.

Запропонований технологічний прийом забезпечує безперервність, сталість об'єму і складу фільтрату, який подається на біологічне очищення. Передбачене технічним рішенням знезараження фільтрату ультразвуком запобігає його загниванню в акумулюючих резервуарах. Введення в фільтрат, у разі необхідності, біогенних добавок забезпечує підтримання на заданому рівні концентрації азоту і фосфору при здійсненні біологічного очищення (рис. 1), після якого здійснюється доочищення за допомогою сорбційних фільтрів 16.

Опис установки для очищення фільтрату полігонів ТПВ. Принципова схема розробленої установки очищення фільтрату полігонів ТПВ приведена на рис. 3.

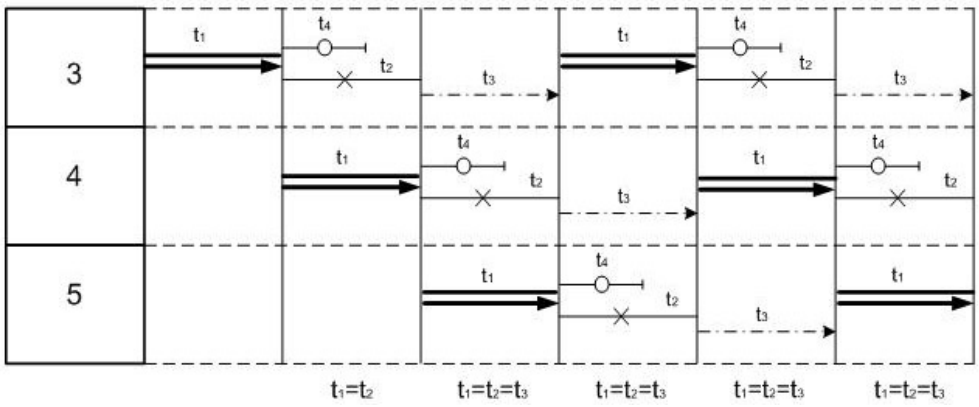


Рис. 2. Схема заповнення, відстоювання і спорожнення резервуарів: 3, 4 і 5 – акумулюючі резервуари; t_1 – час наповнення резервуару; t_2 – час відстоювання води в резервуарі; t_3 – час відведення води з резервуара; t_4 – час, необхідний для відбирання проб води, їх аналізу та підготовки до відведення води з резервуару

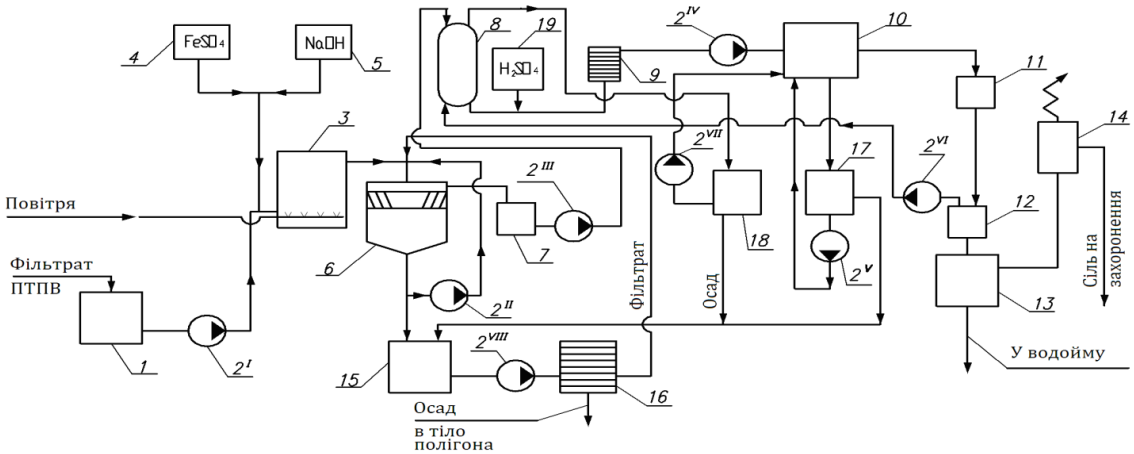


Рис. 3. Принципова схема установки для очищення фільтрату: 1 – приймальна камера фільтрату; 2 – насоси; 3 – змішувач; 4 – бак для розчину $FeSO_4$; 5 – бак для розчину NaOH; 6 – тонкошаровий відстійник; 7 – приймальна камера; 8 – фільтр; 9 – електролізер; 10 – блок біологічного очищення з біомембранним реактором; 11 – установка УФ знезараження; 12 – приймальний резервуар; 13 – установка зворотного осмосу; 14 – випарна установка; 15 – бак для осаду; 16 – фільтр – прес; 17 – резервуар для промивної води; 18 – резервуар для зворотної промивної води; 19 – вузол коригування pH

Відповідно до запропонованої концепції побудови раціональної технології очищення фільтрату полігонів ТПВ, установкою здійснюється попереднє очищення фільтрату, біохімічне очищення та доочищення фільтрату перед його скиданням у водойми рибогосподарського призначення.

Установка працює таким чином. Фільтрат потрапляє в апарат 1 коригування pH (рис. 3), де відбувається доведення pH = 9 – 10, далі подається в камеру 2, де проводиться часткова віддувка аміаку. З камери 2 фільтрат надходить на попереднє очищення в вихровий реактор-змішувач 3, далі на барабанний вакуум-фільтр 4 і в первинний відстійник 5.

Оскільки в фільтрі 4 використовується відпрацьований сорбент після фільтра 14, призначення фільтра 4 зводиться, в основному, до очищення фільтрату від механічних домішок. Крім того, в окремих випадках в вихровий реактор-змішувач 3 може додаватися коагулянт ($AL_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$ і т.д.). У вихровому реакторі-змішувачі 3 відбувається змішування фільтрату з суспензією сорбенту, і отримана суміш прямує в барабанний вакуум-фільтр 4. При доведенні pH до 9–10 важкі метали переходять в нерозчинні гідроксиди та разом з сорбентом затримуються фільтром 4. У вакуум-фільтрі разом з сорбентом затримуються також нафтопродукти, наявність яких ускладнює біологічне очищення фільтрату.

Після барабанного вакуум-фільтра 4 фільтрат подається в апарат 9 коригування pH для доведення його до 8–8,5, після чого він надходить на біологічне очищення в біосорбер 10 з відстійником 11. Осад з тонкошарового відстійника 11 направляється на майданчик для підсушування і потім направляється на поховання на полігон ТПВ.

Після біологічного очищення фільтрат з відстійника направляється на електролітичне очищення в електролізер 12, де відбувається його знезараження.

Під час електролітичної обробки в електролізері утворюється вільний хлор і та обставина, що блок біологічного очищення встановлений перед блоком електролітичної обробки, дозволяє виключити негативний вплив вільного хлору на процеси біологічного очищення та забезпечити таким чином підвищення ступеня біологічного очищення фільтрату.

Після електролітичної обробки з електролізера 12 фільтрат прямує на фільтрування в вихровий реактор-змішувач 13 і барабанний вакуум-фільтр 14.

Осад, що знімається з барабанного вакуум-фільтра 14, потрапляє в бункер 15 і транспортерами 16 і 17 направляється в механічну мішалку 18, в яку для утворення суспензії сорбенту подається вода після електролізера 12 і свіжий сорбент. З мішалки 18 частина суспензії сорбенту подається в вихровий реактор-змішувач 13 блоку фільтрування, а частина – в вихровий реактор-змішувач 3 блоку попереднього очищення. Цим забезпечується повторне використання на стадії попереднього очищення відпрацьованого сорбенту, який вже не може бути використаний на заключній стадії очищення.

Після фільтрування вода прямує на скидання (у водойму, в господарсько-побутову каналізацію або на поля зрошення).

Дана установка розроблена для тих випадків, коли БПК (біохімічна потреба в кисні) фільтрату становить значну (50% і більше) частину ХПК (хімічної потреби в кисні).

У тих випадках, коли БПК складає незначну частину ХПК необхідна попередня деструкція органічних сполук, які не можуть бути видалені в процесі біохімічного окислення.

В даному випадку також може бути використана схема установки, представлена на рис. 3, з додатковою установкою перед апаратом 1 коригування pH сітчастих фільтрів грубої очистки і електролізера.

Забруднені води ТПВ після попередньої грубої очистки на сітках надходять в електролізер з нерозчинними анодами, де відбувається деструкція складних органічних речовин як за рахунок відновлення атомарним воднем, так і за рахунок окислення атомарним киснем в прианодному шарі і хімічного окислення активним хлором і киснем в об'ємі фільтрату.

Перед подачею на споруди біологічного очищення, крім зниження pH до 6,5-8,5, необхідно також видалити з води залишковий хлор. Це здійснюється додаванням у воду натрію сульфіту в кількості 3 мг на 1 мг хлору.

Далі очищення води протікає так само, як і в попередньому випадку.

Особливістю запропонованої установки для очищення фільтрату є повторне використання сорбенту, який після часткової втрати сорбційної здатності і неможливості використання його на стадії доочищення, передається на стадію попереднього очищення, де вимоги до якості очищеної води не такі високі, як на виході з установки, і застосування навіть частково відпрацьованого сорбенту виявляється можливим, тобто сорбційна здатність сорбенту використовується повністю.

Розробки характеризуються ефективністю очищення при скороченні витрати сорбенту, технологічністю і можливістю реалізації в умовах діючих і нових полігонів, прийнятих в експлуатацію.

Базуючись на сформульованому концептуальному підході, розроблена технологія очищення фільтрату є багатоступінчастим комплексним процесом, що об'єднує методи реагентної, електрохімічної і біохімічної обробки. Розроблена установка очищення фільтрату реалізує запропоновану в роботі технологію і забезпечує видалення важких металів на стадії попереднього очищення, максимальне зниження концентрації органічних забруднень і їх переведення у біодоступні сполуки, що видаляються біохімічним очищенням, а також доочищенням, що передбачає знесолення фільтрату. Розроблений комплекс технологічних процесів і обладнання

є взаємодоповнюючими у вирішенні важливого та актуального науково-технічного завдання мінімізації екологічно небезпечного впливу на довкілля місць накопичення ТПВ.

Література

1. Сталінська І. В. Особливості екологічної безпеки в системі «тверді побутові відходи − навколишнє середовище − здоров'я людини». *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*. Львів, 2016. Випуск 26.7, С. 238–245.
2. Д. В. Сталинский, С. И. Эпштейн, З. С. Музыкина, Н. В. Яцков, И. В. Варнавская. Комплексный подход к очистке сточных вод полигонов твердых бытовых отходов: технология и оборудование. *Экология и промышленность*. 2008. № 3. С. 32–36.
3. Варнавская И. В. Анализ условий образования и состава сточных вод полигонов твердых бытовых отходов. *Экология и промышленность*. 2008. № 1. С. 39–43.
4. Методичні рекомендації із збирання, утилізації та знешкодження фільтрату полігонів побутових відходів. Офіц. вид. К. : М-во регіонального розвитку, будівництва та житво-комунального господарства України, 2013.
5. Варнавська І. В. Електролітична деструкція органічних речовин стічних вод полігонів твердих побутових відходів. *Вісник НУВГП*: зб. наук. пр. Рівне, 2009. Вип. 3(47). Ч. 2. С. 157–162.
6. Варнавская И. В. Новые технологии очистки сточных вод полигонов твердых бытовых отходов. *Экология и промышленность*. 2009. № 3. С. 29–37.
7. Варнавська І. В. Аналіз методів очищення фільтрату полігонів твердих побутових відходів. *Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво*. Рівне, 2009. Вип. 34. С. 279–287.
8. Варнавская И. В. Установка для очистки сточных вод полигонов твердых бытовых отходов. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*: зб. наук. ст. IV Міжнар. наук.-практ. конф., м. Алушта, АР Крим / УкрНДІЕП. Х. : Райдер, 2008. Т. 1. С. 289–292.
9. Пат. 86894 Україна, МПК[8] C02F9/00. Спосіб очищення стічних вод полігонів твердих побутових відходів / Сталінський Д. В., Яцков М. В., Варнавська І. В., Епштейн С. Й., Музикіна З. С., заявники та володільці патенту ДП «УкрНТЦ «Енергосталь», НУВГП. № a 2007 12844; заявл. 20.11.07; опубл. 25.05.09, Бюл. № 10. 6 с.
10. Пат. 94629 Україна, МПК[8] C02F1/46. Спосіб електролітичного очищення стічних вод від органічних речовин / Д. В. Сталінський, І. В. Варнавська, С. Й. Епштейн, З. С. Музикіна, М. В. Яцков; заявник та володілець патенту ДП «УкрНТЦ «Енергосталь». № u 2009 05274; заявл. 27.05.09; опубл. 25.05.11, Бюл. № 10. 6 с.
11. Пат. 87537 Україна, МПК[8] C02F1/20. Установка для очищення стічних вод полігонів твердих побутових відходів / Д.В. Сталінський, С.Й. Епштейн, З.С. Музикіна, І.В. Варнавська; заявники та володільці патенту ДП «УкрДНТЦ «Енергосталь», НУВГП. № a 2007 05959; заявл. 29.05.07; опубл. 27.07.09, Бюл. № 14. 5 с.

УДК 628.477:504
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.32

DETERMINATION OF MORPHOLOGICAL COMPOSITION OF MUNICIPAL SOLID WASTE FOR MYKOLAYIV CITY (UKRAINE) AND FORECASTING OF THEIR ACCUMULATION IN THE FUTURE

Ushcats S.Yu.[1], Mihelev I.L.[1], Zholobenko N.Yu.[1], Markina L.M.[2]
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Heroiv Ukrainy ave., 9, 54025, Mykolayiv
State organization «State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management»
Metropolitan Lepkivskyi str. 35, 03035, Kyiv
svitlana.ushkats@nuos.edu.ua, markserg@ukr.net,
mihelevigor@gmail.com, nataliya.zholobenko@nuos.edu.ua

The dynamics and morphology of municipal solid waste generated in Mykolayiv (Ukraine) during fifteen years are studied in the paper. The dynamics of morphological composition was determined and analyzed by seasons for the municipal solid waste of four districts of Mykolayiv city based on the data from the container sites of the city and the city waste landfill in the village of Vesnyane which occupies an area of 37.93 hectares. The annual dynamics of morphological composition of solid household waste for further use as a secondary raw material is studied to determine ways to improve efficiency of municipal waste management (stages of separate collection, sorting and processing of individual components of sorted waste, construction of complex recycling facilities, etc.). The main components of municipal solid waste, their percentage of total waste are identified. These empirical time dependences for the total amount of municipal solid waste, as well as the volumes of solid waste components, are approximated by polynomials and extrapolated to the next five years. This approach to forecasting the volume of municipal solid waste and its morphology can be useful in determining areas for further development and improvement of the solid waste management system.

Statistical data on the generation of municipal solid waste in Mykolayiv indicate an increase in volumes and growth of this dynamic until 2024, which has a significant negative impact on the environment and requires modern management solutions in the field of waste management.

The indicated statistical data of annual changes in the percentage content of the organic component, paper and cardboard, polymers, glass, fabric and wood, as well as the total volume of municipal solid waste were modeled using approximation by the 3-rd order polynomial. *Key words:* municipal solid waste, morphological composition, modeling, forecasting.

Визначення морфологічного складу твердих побутових відходів міста Миколаєва (Україна) та прогнозування їх накопичення в майбутньому. Ушкац С., Міхелєв І., Жолобенко Н., Маркіна Л.

Досліджено динаміку та морфологію твердих побутових відходів, що утворювалися за п'ятнадцять років у м. Миколаєві (Україна). Визначено та проаналізовано за сезонами динаміку морфологічного складу твердих побутових відходів чотирьох районів м. Миколаєва на основі даних з контейнерних майданчиків міста та міського полігону твердих побутових відходів в селі Весняне Миколаївського району, що займає площу 37,93 га. Досліджено річну динаміку морфологічного складу твердих побутових відходів з метою їх подальшого використання в якості вторинної сировини задля визначення шляхів підвищення ефективності у сфері поводження з відходами (впровадження етапів роздільного збирання, сортування й переробки окремих складових відсортованих відходів, будівництво комплексних об'єктів переробки тощо). Встановлено основні компоненти твердих побутових відходів, їх відсотковий склад від загальної кількості відходів. Ці емпіричні часові залежності для загального об'єму твердих побутових відходів, а також обсягів компонентів твердих побутових відходів апроксимуються поліномами та екстраполюються на наступні п'ять років. Такий підхід до прогнозування об'єму твердих побутових відходів та його морфології може бути корисним для визначення напрямів подальшого розвитку та вдосконалення системи поводження з ТПВ.

Статистичні дані щодо утворення твердих побутових відходів в м. Миколаєві свідчать про збільшення обсягів та зростання цієї динаміки до 2024 року, що значною мірою негативно впливає на навколишнє середовище та вимагає сучасних управлінських рішень у сфері поводження з відходами.

Зазначені статистичні дані річних змін відсоткового вмісту органічної складової, паперу та картону, полімерів, скла, тканини й деревини, а також загального обсягу твердих побутових відходів моделювались за допомогою апроксимації поліномом 3-го ступеня.

Ключові слова: тверді комунальні відходи, морфологічний склад, моделювання, прогнозування.

Formulation of the problem. Current analytical forecasts in the field of resource conservation show that, in the nearest future, the waste disposal will be much more expensive than recycling. In turn, such recycling will require the corresponding efficient industry of waste processing, which can work with various raw materials in conditions where the actual component composition of waste may differ significantly and vary by time.

In the city of Mykolayiv, as well as in the majority of the cities of Ukraine, there are a lot of enterprises specialized in the transportation of waste to landfills, but they become less competitive when the waste

conservation will cost more than its processing. On the other hand, any recycling as more efficient waste management requires accurate forecasts for the composition of municipal solid waste (MSW) and its technologically valuable qualities. This issue becomes especially relevant in the context of Ukraine's path to European integration [1, 2].

Since the structure of MSW is a decisive factor for the development of the waste management system (stages of separate collection, sorting and further processing individual components of sorted MSW and, in general, construction of complex processing facilities, etc.), modeling and forecasting of morphological composition and quantity of MSW as well as their dynamics will allow determining the requirements and measures to be applied in the field of MSW management and, in particular, in the choice of ways of SW processing.

Analysis of recent research and publications. Existing statistical data on municipal solid waste generation in Mykolayiv (and Ukraine in general) show a rapid increase of waste, which negatively affects the environment and requires modern management decisions in the field of waste management, which, in turn, will provide an economic and environmental aspect of security of Ukraine.

In the works of Petruk V., Markina L., Wambol V., Onishchenko S., Khyzhnyakova N., Samoylik M., Galushkina T., Dovga T. and others, attention is given to a multilevel approach in the field of waste management [3-9], where it is necessary to consider all the elements and factors (scientific and technological, environmental, socio-economic, natural and climatic, etc.) that affect the system as a whole. However, today the issue of further use of waste remains open.

The aim of this work is a detailed study of the morphological structure of MSW in Mykolayiv during recent years, as well as modeling (forecasting) of its dynamics for the coming years, which will allow improving the environmental and economic efficiency of the recycling industry due to the disposal of secondary resources and will reduce the anthropogenic impact on the environment.

In accordance with that aim, the following issues are considered in the paper:

1. Qualitative and quantitative comparative analysis of municipal solid waste (its volume and morphology in dynamics) for a period from 2005 to 2020 in Mykolayiv.

2. Mathematical approximation of changes in the volume of municipal solid waste as well as its morphology on the territory of Mykolayiv and the corresponding extrapolation (forecasting) for the next five years.

Materials and methods of research. During the theoretical and empirical studies the following general scientific methods were used: analysis (analysis of MSW accumulation), comparison and analogy; generalization and abstraction; modeling and forecasting (approximation by cubic polynomial).

Analysis of MSW and its morphology. The problem of solid waste for Mykolayiv is as urgent as for the majority of Ukrainian cities. In particular, 1203387 m^3 of solid waste was generated on the territory of the city in 2020 [10].

The analysis of statistical indicators in the sphere of waste management in the city indicates the increasing dynamics of the MSW volume and the corresponding increase of waste per capita, which is a general trend in Ukraine.

Today the city has implemented a containerized system of MSW collection (except for the individual housing sector, where some part of it is serviced by a planned-subordinate or demand system). This containerized system, in turn, requires accurate data on the total volume of waste in the city to calculate the optimal number of containers, their location and the appropriate number of service vehicles.

The dynamics of the total amount of MSW, which were generated on the territory of Mykolayiv for 2005–2020 is shown in Fig. 1.

That Figure demonstrates that, on average, the total volume of SW was increasing since 2005, except for some decline in 2010 and 2015.

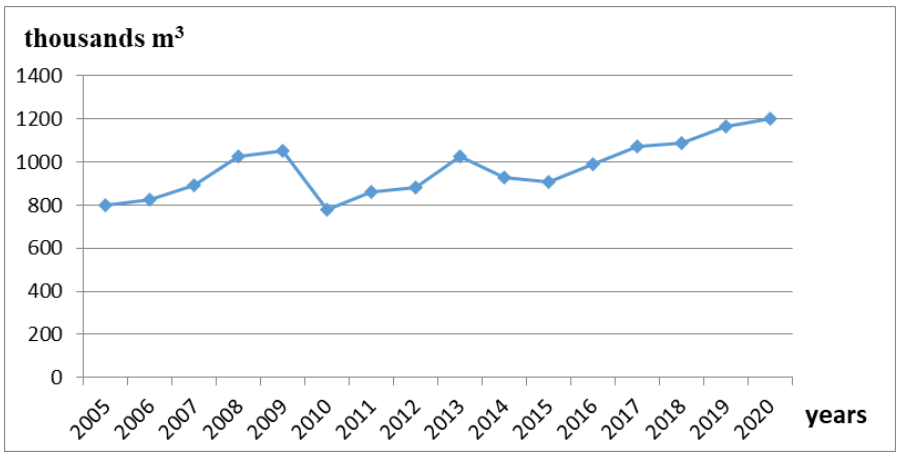


Fig. 1. Dynamics of the total MSW volume in Mykolayiv for 2005–2020

Accordingly, the analysis of the collected quantitative data and prediction of the MSW volume for future years can allow some conclusions about the feasibility of the development of specific areas of the industrial processing industry in the region.

The situation concerning the qualitative (i.e., morphological composition of MSW) is quite problematic. There has been no systematic study of the structure of MSW in our country, and the data available in the public domain are rather due to sample non-systematic studies in several regions of Ukraine: their results differ significantly from each other, and sometimes contradict one another. According to the research materials of the Sixth National Communication of Ukraine on Climate Change [11], the structure of MSW is the following: food waste – 35–50%, paper and cardboard – 10–15%, polymers – 9–13%, wood – 8–10%, metal – 2%, textiles – 4–6%, construction waste – 5%, wood – 1%, and other waste – 10%.

The current morphological composition of waste significantly differs even from that of ten years ago [12, 13]. The increased need for disposable packaging materials [14], especially due to the pandemic, has significantly widened the morphology of modern MSW. In contrast to the general dynamics of the total MSW volume, the empirical data on MSW morphology considerably vary in different cities: sometimes, certain indicators differ by several times (!). The results of the research might be affected by several factors: seasonal features, geographic location, characteristics of the economic wellbeing of the city's population, industrial and secondary food market conditions, etc. Morphological structure of some basic household waste products determined for settlements with different numbers of inhabitants is given in Table 1 [15, 16].

It is known that the MSW morphology has a heterogeneous nature and depends on a lot of various factors [17]. Taking into account the periodicity and frequency of measurements, there is always some variability of empirical data, which leads to significant deviations of results. In order to obtain valid results, it is extremely important to use proven and theoretically grounded methods to investigate the MSW morphology that will allow the accurate and adequate analysis and predictions. One of the important conditions for such a complex research is a motivated selection of point (representative) samples, where the measured values of the ingredients do not change, which will ensure the validity of the primary data, and the subsequent statistical analysis of the information obtained by taking into account the necessary criteria.

The corresponding studies the MSW composition in Mykolaiv were carried out in accordance with the Methodological Recommendations for determining the morphological composition of municipal solid waste [18] by the gravimetric method [19] and using natural measurements. In addition to the data on the MSW generation, the local population of Mykolaiv regions was analyzed. In particular, the research territory covered four administrative districts of Mykolayiv with the corresponding facilities of waste generation (residential apartment buildings and individual houses; institutions, non-production enterprises of social and household purposes) and the city landfill for the disposal of MSW in the village Vesnyane. According to the Methodological Recommendations [18], the actual value of each indicator at the selected points was determined using the measurement protocol, and the dynamics of those values were examined with regard for the season components.

Empirical measurements of the volumes and density of MSW were carried out directly at the objects of their generation. The content of different test containers (from 0.75 to 1.1 m^3) was manually disassembled into morphological components which than were weighted separately. Such field experiments were carried out at 20 sites for the collection of waste serving more than 12,000 people totally. Research continued during 2019–2020 (Fig. 2): in the winter, spring, summer, and autumn periods. Samples were selected with at least three times repeatability and followed by statistical processing of the obtained data.

Based on the collected and processed data on the MSW morphology, it is possible to approximate the corresponding time dependence for each MSW component (as well as their total volume) and even predict the behavior of such dependence for several years ahead that, in turn, will indicate the directions in which the system of MSW management should be improved and possibly demonstrate the investment attractiveness of Mykolayiv region in that field.

Thus, to create the required model, we used statistical data on annual changes over the years for each morphological component in Mykolayiv city and the city landfill, which would characterize

Table 1

Morphological structure of MSW in some Ukrainian cities

Components of waste	Chernihiv	Odesa	Ternopil	Lviv
Food and other organic waste	36%	36,1%	35%	26%
Paper and cardboard	15%	14,3%	12%	10%
Plastic	9%	2%	16%	13%
Glass	16%	6,2%	7%	4%
Textiles	2%	3,4%	8%	8%

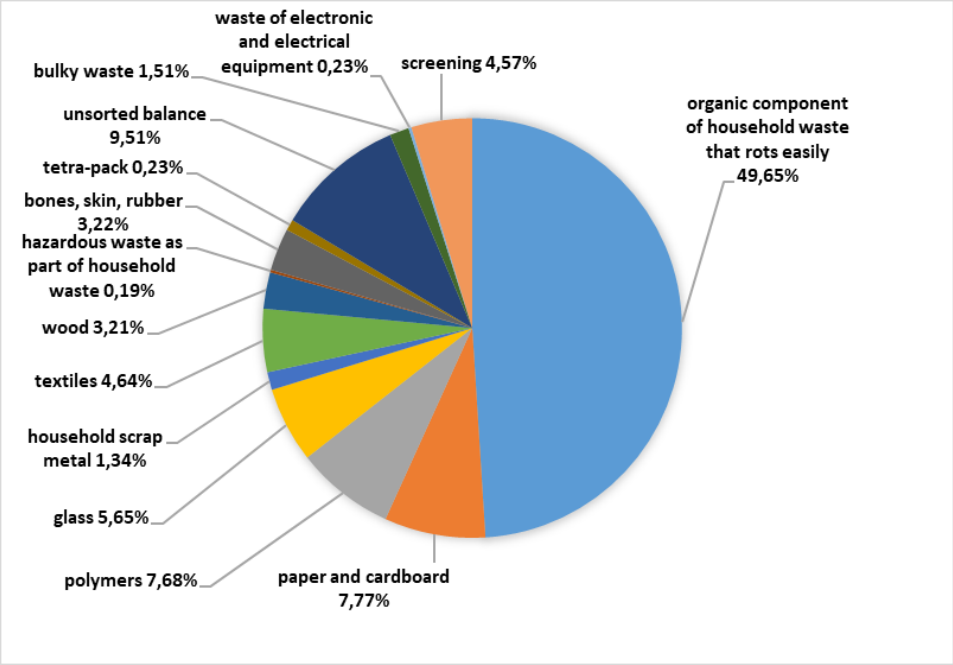


Fig. 2. Morphological structure of MSW in Mykolayiv for the seasons of 2020

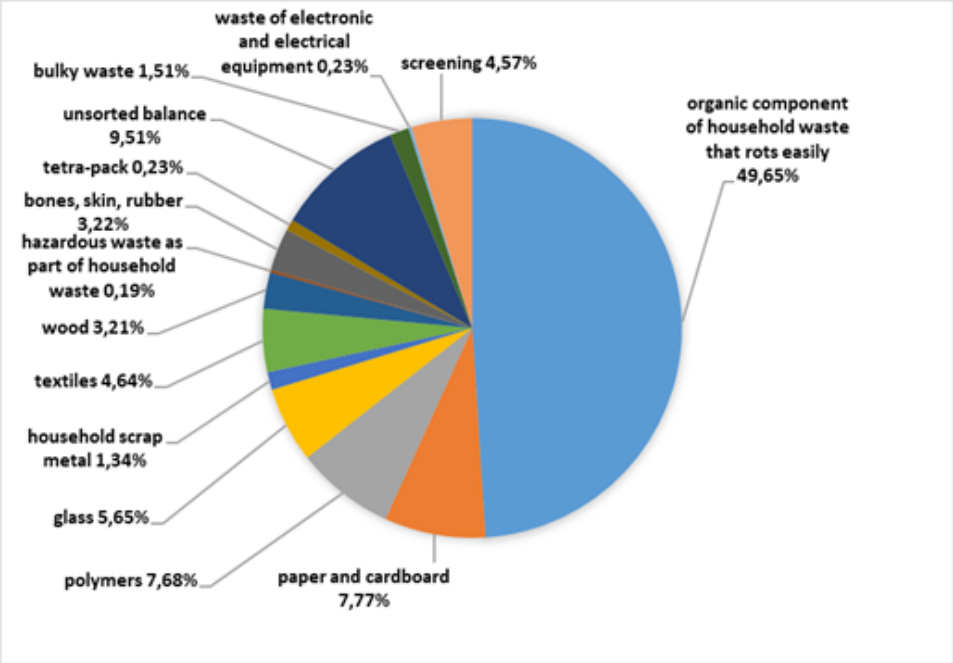


Fig. 3. The morphological structure of MSW in Mykolaiv for 2020 Approximation and extrapolation

the changes in the amount of MSW generated at given facilities.

These statistics of annual changes in the volumes of organic matter, paper/cardboard, polymers, glass, fabric and wood, as well as the total volume of MSW were modeled by the 3-rd order polynomial approximation,

$$P_3(x_i, a, b, c, d) = ax_i^3 + bx_i^2 + cx_i + d, \quad (1)$$

the power coefficients of which were determined by the method of least square deviations:

$$\sum_{i=1}^{n}\left[y_i - P_3(x_i, a, b, c, d)\right]^2 = \Phi(a, b, c, d) = \text{mir},$$

where x_i (i = 1, 2, 3, ... n) – approximation nodes; y_i – known empirical values at nodes (results of measurements); a, b, c, d – unknown power coefficients of the approximating function.

Necessary conditions for the existence of an extremum of $\Phi(a, b, c, d)$ are the following:

$$\left.\begin{aligned} \frac{\partial\Phi(a,b,c,d)}{\partial a}=0, \quad \frac{\partial\Phi(a,b,c,d)}{\partial b}=0,\\ \frac{\partial\Phi(a,b,c,d)}{\partial c}=0, \quad \frac{\partial\Phi(a,b,c,d)}{\partial d}=0, \end{aligned}\right\}$$

and they yield a system of linear algebraic equations to define unknown coefficients *a, b, c* and *d*:

$$\left.\begin{aligned} a\cdot S_6+b\cdot S_5+c\cdot S_4+d\cdot S_3=S_{13};\\ a\cdot S_5+b\cdot S_4+c\cdot S_3+d\cdot S_2=S_{12};\\ a\cdot S_4+b\cdot S_3+c\cdot S_2+d\cdot S_1=S_{11};\\ a\cdot S_3+b\cdot S_2+c\cdot S_1+d\cdot n_2=S_{10}, \end{aligned}\right\}$$

where the coefficients at the unknown *a, b, c* and *d* are determined by the formulas:

$$S_1=\sum_{i=1}^{n}x_i, \quad S_2=\sum_{i=1}^{n}x_i^2, \quad S_3=\sum_{i=1}^{n}x_i^3, \quad S_4=\sum_{i=1}^{n}x_i^4,$$

$$S_5=\sum_{i=1}^{n}x_i^5, \quad S_6=\sum_{i=1}^{n}x_i^6$$

(i.e., in general, $S_j=\sum_{i=1}^{n}x_i^j$ for i = 1, 2, 3, ... 6 and right parts are the following:

$$S_{10}=\sum_{i=1}^{n}y_i, \quad S_{11}=\sum_{i=1}^{n}y_ix_i, \quad S_{12}=\sum_{i=1}^{n}y_ix_i^2, \quad S_{13}=\sum_{i=1}^{n}y_ix_i^3$$

(i.e., in general, $S_{1k}=\sum_{i=1}^{n}y_ix_i^k$ for i = 0, 1, 2, 3).

To solve this system of linear algebraic equations, the Gaussian method was used. According to the results of research and mathematical modeling, it is established that the 3-rd order polynomial provides a good approximation of annual changes in the volume of MSW components (see Figures 4, 5).

Conclusions. The presented model and obtained results of approximation adequately reflect the dynamics

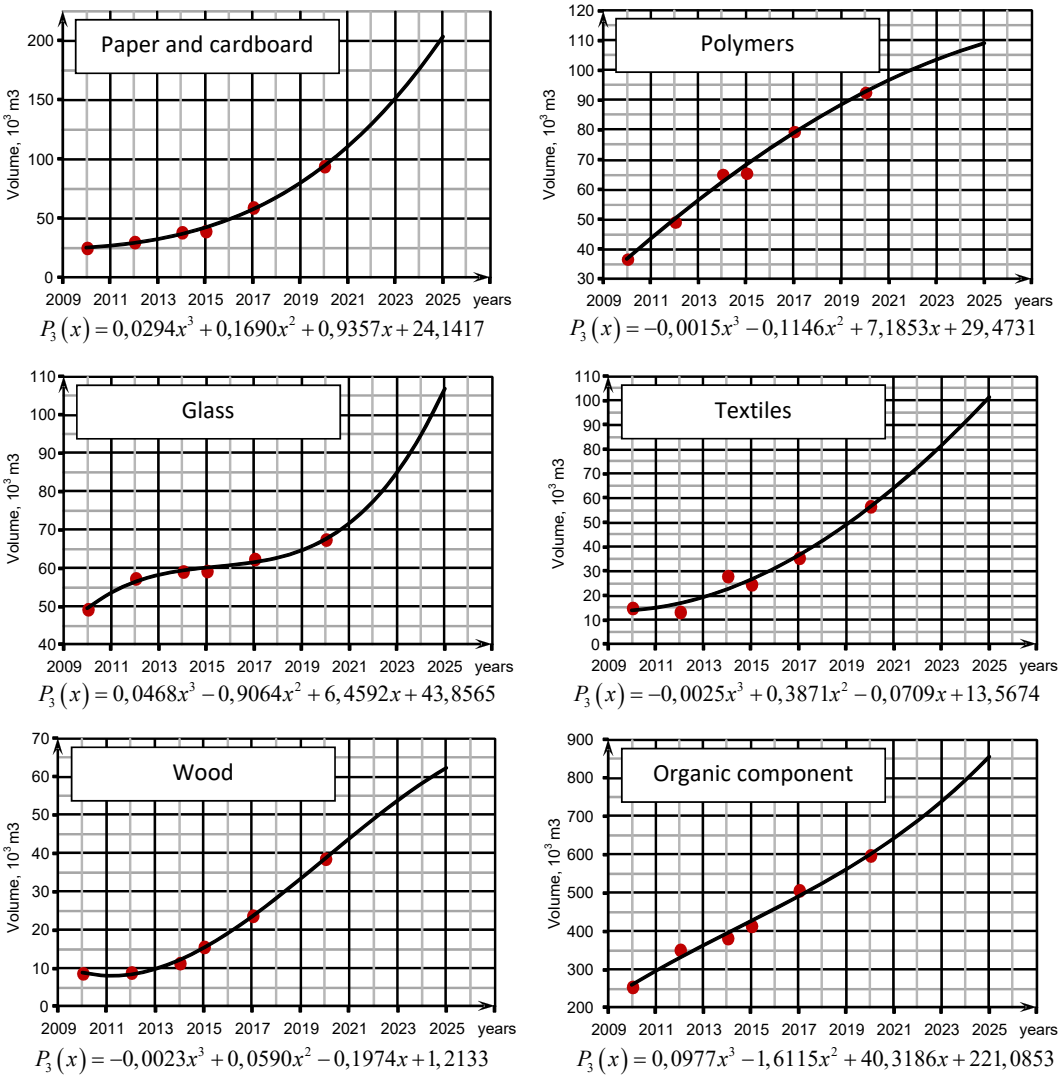


Fig. 4. Statistical data on the morphological composition of MSW in Mykolayiv for different years (points) and their approximation by a 3-rd order polynomial (solid lines). The variable x in the polynomial defines the year relative to 2009

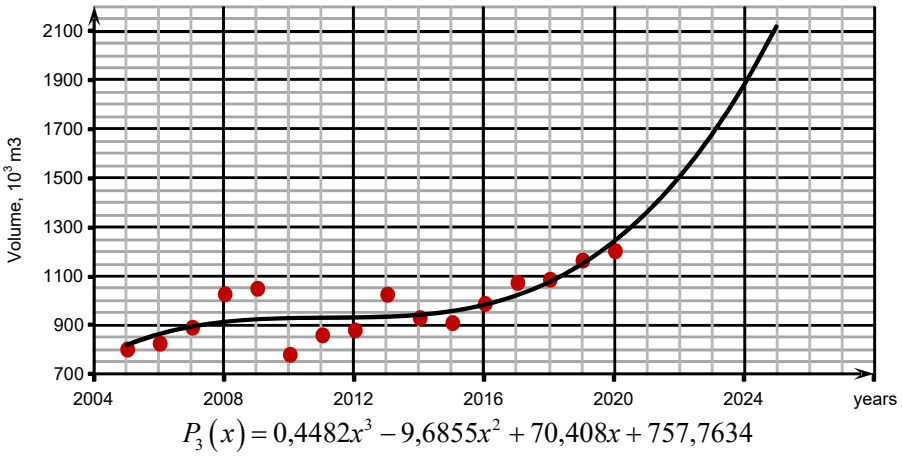


Fig. 5. The total volume of MSW in Mykolayiv for different years (points) and the approximation by a 3-rd order polynomial (solid lines). The variable x in the polynomial defines the year relative to 2004

of MSW morphology in Mykolayiv during 2009–2020, which, in turn, indicates the following: at the moment, almost 50% of the MSW is organic waste, 7.8% – paper and cardboard, 7.7% – polymers, glass – 5.6%, textiles – 4.6% and so on.

In addition, using the mentioned mathematical approximation to forecast, we can state that the volume of MSW will increase steadily in Mykolayiv for the next 5 years (see Fig. 5), and, correspondingly, the volume of technologically valuable secondary raw materials will also increase: such components as paper and cardboard will almost double, the volume of polymers increase by about 20%, textiles – by 60%, etc. that is a serious argument to start the system of MSW management in Mykolayiv.

However, at present time, the quality of secondary material resources is a significant problem for the implementation of waste sorting and recycling facilities in the city because the waste of organic origin (as the largest group of waste) is difficult to recycle. Using the experience of European and Ukrainian cities, it is advised to improve and implement biotechnological processing [21, 22]. As to the polymers, paper, glass, textiles, etc., it is possible to propose the use of partial manual sorting, followed by mechanical separation of the unsorted residue.

Література

1. Програма інтеграції України до Європейського Союзу. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0001100-00#Text (дата звернення: 22.02.2021).
2. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80 (дата звернення 18.02.2021).
3. Управління та поводження з відходами. Частина 2. Тверді побутові відходи: навч. посіб. / В. Г. Петрук та ін. Вінниця : ВНТУ, 2015. 100 с.
4. Маркіна Л.М. Поводження з твердими побутовими відходами у великих містах та поселеннях: навч. посіб. Миколаїв: НУК, 2015. 216 с.
5. Прогнозування рівня безпеки несанкціонованого сміттєзвалища з використанням імітаційного моделювання/ Вамболь С.О., Вамболь В.В., Колосков В.Ю., Деркач Ю.Ф. Екологічна безпека. 2016. № 2. С. 51–58.
6. Хижнякова Н. О. Обгрунтування проектів комплексного перероблення побутових відходів. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія «Логістика»*. 2003. №. 472. С. 522–526.
7. Самойлік М. С. Економічна модель розвитку сфери поводження з твердими відходами регіону з урахуванням екологічних факторів. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2014. № 1. С. 82–87. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VPDAA_2014_1_22 (дата звернення 18.02.2021).
8. Довга Т. М. Основні тенденції та закономірності утворення і переробки твердих побутових відходів в Україні. *Ефективна економіка*. 2012. № 10.
9. Галушкіна Т. П., Жемба А. Й., Серницька К. В. Екологічна політика україни в контексті глобальних кліматичних викликів. *Вісник національного університету водного господарства та природокористування. Економічні науки*. Рівне, 2018. № 4. С. 248–258.
10. Головне управління статистики у Миколаївській області. URL: http://www.mk.ukrstat.gov.ua/ (дата звернення 18.02.2021).
11. Шосте Національне повідомлення України з питань зміни клімату. URL: https://research.fit.edu/media/site-specific/researchfitedu/coast-climate-adaptation-library/europe/russia-ukraine-georgia/MENR.--2012.--Sixth-National-Communication-to-the-UNFCCC-of-Ukraine-[UKR].pdf (дата звернення 18.02.2021).
12. Артов А. М., Сороковський В. Є. Планування міжмуніципальної системи інтегрованого поводження з твердими побутовими відходами : метод. посіб. / за заг. ред В. Є. Сороковського. Швейцарськоукраїнський проект «Підтримка децентралізації в Україні». К. : DESPRO, 2016. 103 с.

13. Толкованова В.В Управління твердими побутовими відходами в умовах реформування місцевого самоврядування та розвитку міжмуніципального співробітництва : навч.-практ. посіб. / за заг. ред. В.В.Толкованова. К. : DGIZ GmbH, 2018. 393 с.
14. Liudmyla M. Markina, Natalya Yu. Zholobenko, Svitlana Yu. Ushkats Features of waste management during the COVID-19 pandemic. *Shipbuilding & marine infrastructure*. 2020. № 1(13) С. 75–89.
15. Стратегія управління відходами у Львівській області до 2030 року. URL: http://gw1.oblrada.lviv.ua/rada/rishennialor.nsf/52889c345440ab40c2257b55007e8f51/7ccf6ba2bc2c5a79c225820300531eb7/$FILE/580_dod.pdf (дата звернення 18.02.2021).
16. Програма поводження з твердими побутовими відходами в Одеській області на 2018–2022 роки. URL: http://oblrada.odessa.gov.ua/wp-content/uploads/03-21-VII.pdf (дата звернення 18.02.2021).
17. Погрібний І. Я. Проблеми визначення морфологічного складу твердих побутових відходів з урахуванням сучасних умов переробки. *Ефективна економіка*. 2012. № 11.
18. «Методичні рекомендації з визначення морфологічного складу твердих побутових відходів» затверджених Наказом Міністерства з питань житлово-комунального господарства України № 39 від 16.02.2010 р.
19. ПНД Ф 16.3.55-08 «Тверді побутові відходи. Визначення морфологічного складу гравіметричним методом».
20. Маркіна Л.М., Ушкац С.Ю., Жолобенко Н. Ю. Статистичне прогнозування утворення твердих побутових відходів у Миколаївській області. *Екологія. Довкілля. Енергозбереження*: матеріали доп. Всеукр. наук.-практ. конф. 3–4 груд. 2020 року. Полтава, С. 42–45.
21. Побутові відходи. Технологія перероблення органічної речовини, що є у складі побутових відходів, СОУ ЖКГ 03.09-014:2010. *Видання офіційне*. К. : 2010 р. 39 с.
22. Біоенергетична асоціація України. URL: http://www.uabio.org/activity/uabio-analytics (дата звернення 18.02.2021).

РОЗВИТОК ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНОГО ФОНДУ

УДК 630.632.4(477.51)
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.33

САНІТАРНІ ВИБІРКОВІ РУБКИ У СИСТЕМІ ЕКОЛОГІЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ (НА ПРИКЛАДІ ІЧНЯНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ)

Лисенко Г.М.[1,2], **Шульга О.О.**[1]
[1]Ічнянський національний природний парк
вул. Лісова, 43, 16700, м. Ічня
[2]Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя
вул. Графська, 2, 16600, м. Ніжин
lysenkoukr@gmail.com; ichn_park@ukr.net

Проведене дослідження присвячене складному у теоретичному та практичному значенні питанні – використання як одного із регуляційних заходів вибіркових санітарних рубок на території об'єктів Природно-заповідного фонду України на прикладі Ічнянського національного природного парку. На досліджуваній території переважає (більше 70 %) лісова рослинність, де найпоширенішими формаціями є: Pineta sylvestris, Quercuceta roboris, Carpineta betuli, Betuleta verrucosae та їх комбінації. Згідно сучасного природоохоронного законодавства заборонені будь які види господарської діяльності на території природних резерватів. Однак сучасний санітарний стан заповідних лісів далекий від належного, що проявляється у широкомасштабному поширенні хвороб лісостанів різного походження (мікози що викликаються дерево-руйнівними грибами, ураження дерев комплексом ентомоксилофагів, таких як верхівковий короїд, лубоїд, короїд-типограф тощо). Саме тому з метою підтримання належного санітарного стану лісів, у тому числі і заповідних, використовують вибіркові санітарні рубки. Під останніми розуміють вибіркові вилучення із лісостанів уражених хворобами та шкідниками дерев. У результаті проведених досліджень доведена доцільність використання вибіркових санітарних рубок, як одного з основних та дієвих заходів управління заповідними лісовими екосистемами. Нами встановлено, що у результаті вибіркових санітарних рубок значно покращується санітарний стан лісових фітоценозів, що у свою чергу унеможливлює поширення хвороб лісу та прямо впливає на встановлення основного завдання що стоїть перед об'єктами Природно-заповідного фонду України – охорона та збереження видового, ценотичного та ландшафтного різноманіття. *Ключові слова:* вибіркові санітарні рубки, заповідні лісові екосистеми, екологічний менеджмент, Ічнянський національний природний парк.

Sanitary selective cuttings in the system of ecological management (on the example of Ichnya National Natural Park). Lysenko H., Shulga O.

This research is dedicated to the complicated topic both in theoretical and practical meaning – the usage of the selective sanitary cuttings of the objects of the Nature reserve fund of Ukraine in the example of the Ichnya National Natural Park. In the researched territory there is the predominating of the Forest vegetation (more than 70%), where the most often formations are: Pineta sylvestris, Quercuceta roboris, Carpineta betuli, Betuleta verrucosae and their combinations. According to the modern nature-oriented legislation, any agricultural activities are prohibited in the territory of the natural refuges. Nevertheless, the modern sanitary condition of the reserve forests is far from ideal one and it is developed in the wide-ranging spreading of the trees' diseases of the different origins (mycosis which is caused by the forest destructive fungus, affection of the trees by the complex of entomoxylophages like *Dendroctonus ponderosae, Hylesinus fraxini, Ips typographus* and so on). Just because of that they do the selective sanitary cuttings in order to keep the usual and reserve forest in a good condition. It means that they do the withdrawal trees affected by insects. As the result of this research we've proved the relevance of the usage of the selective sanitary cuttings, as one of the most effective method of the management of the reserve forest ecosystems. We've found out that as the result of the selective sanitary cuttings the condition of the forest phytocenosis is improved. What's more, it stops spreading the forest's diseases and it directly influences the implementation of the basic task of the Nature reserve fund of Ukraine – protection and preservation of the specific, cenotic and landscape diversity. *Key words:* selected sanitary cuttings, reserve forest ecosystems, Ichnya National Natural Park.

Постановка проблеми. Збереження біологічного різноманіття на території об'єктів природно-заповідного фонду (ПЗФ) України є одним з основних завдань, що стоять перед вітчизняною наукою. Втім, стан багатьох природоохоронних територій залишається незадовільним внаслідок як об'єктивних, так і суб'єктивних причин. Одним з головних чинників такого стану є неможливість біотичної саморегуляції екологічних систем більшості об'єктів ПЗФ України, що призводить до необхідності застосування регуляційних заходів, спрямованих на підтримання їх належного стану [1–4].

Зазначені вище проблеми характерні і для лісових екосистем Ічнянського національного при-

родного парку (далі Ічнянський НПП). Так, ліси досліджуваної території представляють собою складну мозаїку різних лісоутворюючих порід, більшість з яких знаходяться під загрозою втрати їх стійкості до квазістабільних умов навколишнього середовища (суттєва ксерофітизація оселищ в останні роки) та нездатність до саморегуляції внаслідок неповночленності складових фіто-, зоота мікрозооценозів.

На фоні згадуваних вище процесів одним з кризових біотичних екологічних чинників виступають фітопатології різного генезису – мікози різного походження, враження стовбуровими шкідниками тощо. На разі слід відмітити, що ураження лісостанів Ічнянського НПП найчастіше має локальний характер. Проте повне невтручання у хід інвазійних процесів призводить до масового їх поширення, що спостерігається в останні роки у Лісовій зоні України. Останнє викликає необхідність проведення моніторингу стану заповідних лісів, а результати спостережень повинні використовуватись для розробки відповідних регуляційних заходів, спрямованих на збереження заповідних біогеоценозів.

На разі слід зазначити, що Ічнянський НПП – єдина в Україні установа природно-заповідного фонду, яка з 2016 року запровадила систему екологічного управління відповідно до міжнародних екологічних стандартів серії ISO 14000 відповідно до ДСТУ ISO 14001: 2015.

Актуальність дослідження. Численні комплексні дослідження біоти заповідних біогеоценозів свідчать про неспроможність застосування абсолютно заповідного режиму (повного невтручання у хід природних процесів) для збереження, а тим більше, для самовідтворення як окремих біологічних видів та їх популяцій, а також біоценозів. Результати моніторингу вказують на необхідність у проведенні низки регуляційних заходів, що дозволяє підтримувати певний природний баланс.

Особливо чутливими до таких змін виявились заповідні об'єкти, на території яких охороняється лісова рослинність. Переважна більшість сучасних резерватних лісів, особливо у зоні Лісостепу України, представлені лісовими культурами, що представляють собою монодомінантні посадки окремих лісоутворюючих видів, серед яких переважає *Pinus sylvestris* L. Ця ситуація виявилась типовою і для Ічнянського НПП. На разі, значні території лісів даного об'єкту ураджені різними шкідниками та хворобами (мікози різної етіології, широка гільдія стовбурових шкідників та ін.). Такі осередки є «полігонами» розмноження та подальшого поширення хвороб лісу.

Саме тому, проблема запровадження вибіркових санітарних рубок як одного з найбільш дієвих регуляційних заходів набуває актуальності. Слід відмітити, що в останні роки виникла так звана «правова колізія», згідно якої застосування санітарних рубок виходить за рамки «правового поля». Втім, досвід лісівників-практиків свідчить про необхідність вилучення із деревостанів ураджених хворобами дерев. Саме обґрунтуванню означеної проблеми і присвячена дана робота.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Ураження лісостанів Ічнянського НПП не є виключенням із загального правила, адже дана проблема характерна для природних лісів та, особливо, лісових культур, поширених на території України. Як виявилось, повне невтручання у хід інвазійних процесів призводить до масового поширення хвороб лісу, що спостерігається в останні десятиліття у Лісовій та Лісостеповій зонах. Останнє викликає необхідність проведення моніторингу стану заповідних лісів, а результати спостережень повинні використовуватись для розробки відповідних регуляційних заходів, спрямованих на збереження заповідних біоценозів.

Одним з важливих, і водночас, кризових біотичних екологічних чинників, що прямо впливають на санітарний стан лісових фітоценозів, є фітопатології різного генезису – мікози різного походження (*Cronartium flaccidum* (Alb. et Schw.) Wint., *Peridermium pini* (Willd.) Kleb.), враження стовбуровими шкідниками (*Blastophagus minor*, *Phaenops cuanea, Ips dublicatus*, *Ips sexdentatus*, *Ips acuminatus*, *Ips typographus*, *Crypturgus cinereus*, *Polygraphus polygraphus*, *Pityogenes bidentatus*, *Pityogenes guadridens* та ін.) тощо. На жаль, природні методи боротьби із зазначеними хворобами та шкідниками, як правило, не мають успіху. На сьогодні одним з найдієвіших способів залишається видалення із лісостанів ушкоджених дерев, що на практиці реалізується у проведенні санітарних рубок. Втім, застосування даного методу регуляції, використовуючи наявну матеріально-технічну базу, не є ідеальним та, зазвичай, викликає обурення громадськості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема застосування вибіркових санітарних рубок, особливо на територіях ПЗФ України є доволі дискусійною [5]. З одного боку, переважна більшість заповідних лісостанів внаслідок цілого комплексу причин не здатні до самовідтворення через відсутність біотичних механізмів регуляції, що потребує зовнішніх втручань, тоді як згадувані екзогенні впливи не узгоджуються з природоохоронним законодавством, з іншого. Але, на практиці доводиться застосовувати невідкладні та рішучі дії, що у кінцевому результаті повинні призвести до збереження того чи іншого лісового масиву, або його частини. При пасивному спостереженні за ходом розвитку квазіприродних процесів можна втратити зональні або унікальні лісові екосистеми, адже саме деревостан визначає специфіку функціонування біогеоценозів з домінуванням лігнозних екобіоморф.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Основною проблемою даного дослідження було встановлення доцільності проведення вибіркових санітарних рубок на території Ічнянського НПП з метою забезпечення належного санітарного стану лісів, визначення їх впливу на заповідні фітоценози та включення до загальної схеми екологічного менеджменту, яка розробляється на основі довготривалих моніторингових дослідженнях і є індивідуальною для кожного з об'єктів ПЗФ України.

Новизна. Вперше досліджено доцільність проведення вибіркових санітарних рубок як одного з дієвих засобів регуляції резерватних лісових екосистем у різних типах лісу, поширеного на території Ічнянського національного природного парку. Встановлено, що вилучення уражених хворобами дерев сприяє ліквідації «вогнищ» поширення хвороб лісу. Незважаючи на виникнення певних «правових колізій» з метою збереження заповідних лісів необхідно внести зміни до «Санітарних правил у лісах України».

Методологічне або загальнонаукове значення. Отримані результати свідчать про необхідність застосування вибіркових санітарних рубок як одного з дієвих регуляційних механізмів підтримки природного балансу у заповідних лісах, особливо тих, що представлені монодомінантними лісовими культурами, які виявились нездатними для самопоновлення. Адже значні території лісів Ічнянського НПП ураджені різними шкідниками та хворобами (мікози різної природи, широка гільдія стовбурових шкідників тощо), що потребує швидкого реагування та корекції.

Викладення основного матеріалу. Згідно геоботанічного районування України [6] територія Ічнянського НПП знаходиться у межах Прилуцько-Лохвицького геоботанічного району Роменсько-Полтавського геоботанічного округу лучних степів, дубових, грабово-дубових (на заході) та дубово-соснових (на терасах річок) лісів і евтрофних боліт Лівобережно-Придніпровської підпровінції Східноєвропейської провінції Європейсько-Сибірської лісостепової області.

Загальна площа лісів заповідного об'єкту (без врахування Дендрологічного парку загальнодержавного значення «Тростянець») становить 7379,37 га [7], що складає близько 70 %. Основними лісовими формаціями є ценози: сосни звичайної (Pineta sylvestris), берези повислої (Betuleta pendulae), дуба звичайного (Querceta roburis) та варіації останньої – дубово-грабової (Carpineto-Querceta) та дубово-соснової (Pineto-Querceta). Найбільшу площу займають ценози *Pinus sylvestris* L. Це переважно культури сосни віком близько 50–60 років. Слід відмітити, що однією з фітоценотичних особливостей парку є накладання ареалів дуба (*Quercus robur* L.), граба (*Carpinus betulus* L.) та липи (*Tilia cordata* Mill.), що слугувало одним з критерієм створення даного заповідного об'єкта. Фрагментарно у долинах рік та тимчасових водойм зустрічаються ділянки вільхи клейкої (*Alnus glutinosa* L.) та невеликі, в останні роки деградуючі, культури ялини європейської (*Picea abies* L.).

Доречно відмітити, що при створенні Ічнянського НПП у постійне користування були передані в основному колишні колгоспні ліси, у яких господарство не мало системного характеру, коли суцільні рубки з наступним відновленням переважно монокультурою сосни звичайної не супроводжувалися систематичними рубками догляду для оптимізації породного складу та густоти насаджень. Наразі з цим, у лісах інтенсивно вилучались одні види (в основному дуб та граб), натомість висаджували інші (дуб червоний або північний), часто не типові для даних екотопів, швидко поширювались інвазійні види (клен ясенелистий, робінія біла), що пригнічують поновлення зональних видів-едифікаторів.

На території Ічнянського НПП рубки головного користування, які практикуються у державних лісових господарствах повністю заборонені. Це пояснюється тим що національний природний парк є неприбутковою організацією, а головним його завданням є охорона та збереження типових або унікальних екосистем. Натомість, вибіркові санітарні рубки в Ічнянському НПП проводяться майже щороку. При цьому основним документом що регламентує проведення вибіркових санітарних рубок є Акти лісопатологічного дослідження лісів. При цьому вилучаються дерева які пошкоджені шкідниками та уражені різними грибковими захворюваннями.

Згідно «Санітарних правил в лісах України» [8] вибіркові санітарні рубки проводяться власниками лісів, постійними лісокористувачами шляхом вилучення з насаджень сухостійних, відмираючих, дуже ослаблених внаслідок пошкодження насаджень пожежами, шкідниками, хворобами лісу і внаслідок аварій та стихійного лиха окремих дерев або їх груп.

Згідно П. 20 [8] «Дерева, уражені смоляним раком-сірянкою, підлягають вирубуванню, якщо рана охоплює понад 1/2 периметра стовбура». Смоляний рак призводить до ослаблення дерев внаслідок порушень процесу фотосинтезу. На разі з цим, хворі дерева швидко заселяються цілою гільдією шкідників, серед яких переважають комахи-ксилофаги. Дослідженнями встановлено [4, 9, 10], що на ослаблених сірянкою деревах поселяються короїд-крихітка сосновий (*Crypturgus cinereus*), соснова жерднякова смолівка (*Pissodes piniphilus*), малий сосновий лубоїд (*Blastophagus minor*), стенограф (*Ips sexdentatus*), синя златка (*Phaenops cuanea*), синій рогохвіст (*Sirex juventus*) та цілий ряд видів, спільно причетних до всихання сосни та ялини. Згідно П. 14 «Санітарних правил…» [8] «Сухостійні, відмираючі, дуже ослаблені внаслідок пошкодження пожежами, шкідниками, хворобами лісу і внаслідок

аварій та стихійного лиха дерева відбираються для рубки до масового заселення їх стовбуровими шкідниками або ураження хворобами».

Згідно адміністративного розподілу територія Ічнянського НПП складається з двох природних науково-дослідних відділень (ПНДВ) – Хаєнківсько-Заудайського та Будянсько-Сезьківського, лісостани яких досить суттєво відрізняються за набором видів-домінантів та їх просторовим розподілом. У таблицях 1 та 2 подано загальну характеристику деревостанів двох ПНДВ.

Аналіз даних, поданих у таблицях вказують на те, найбільш ураженими хворобами виявились лісові культури сосни звичайної, про що свідчить запас вилученої внаслідок вибіркових санітарних рубок деревини. Наразі з цим слід зазначити, що полідомінантні формації мішаних лісів де до складу деревостанів входять дуб, береза, граб, ялина та інші види виявились більш стійкими до дії шкідників. Це пояснюється певними просторовими розривами між ділянками уражених хворобами та здорових лісостанів.

На території Хаєнківсько-Заудайського ПНДВ найбільш ураженими хворобами виявились лісові культури сосни звичайної (*Pinus sylvestris*), про що свідчить запас вилученої внаслідок вибіркових санітарних рубок деревини (114,5 м^3). Натомість формації мішаних лісів, де до складу деревостанів входять дуб, береза, граб, ялина тощо виявились більш стійкими до дії шкідників.

На території Будянсько-Сезьківського ПНДВ максимально ураженими хворобами виявились також культури сосни звичайної, але зі значною домішкою робінії білої та, подекуди, дуба звичайного (запас вилученої деревини 92,6 м^3). Разом з тим, ліси даного відділення виявились менш ураженими, що пояснюється мозаїчністю рослинного покриву, а саме: соснові ліси лише вкраплюються у переважаючі їх за площею листяні та мішані ліси.

Не викликає сумніву доцільність проведення вибіркових санітарних рубок, адже без даного способу лісовпорядкування не можливо належним чином підтримувати гомеостаз такої глобальної системи, якою є всі типи екологічних систем, що входять до складу Ічнянського НПП, передусім лісових. Взагалі ліс є досить урівноваженою в часі екологічною системою яка здатна до саморегуляції, але це стосується природних лісів. Ліси Ічнянського НПП

Таблиця 1

Характеристика деревостанів лісів Хаєнківсько-Заудайського ПНДВ, де проводились санітарні вибіркові рубки у різні роки

№	Рік	Склад деревостану	Вік, роки			Запас деревини, м^3			Запас деревини, що вилучається, м^3/га		
			min	max	X	min	max	X	min	max	X
1	2015	10Сз+ Бп+Ял	51	86	66,4	190,0	390,0	291,8	10,1	35,5	22,2
2	2016	10Сз+Бп+ Дч	37	88	69,5	100	350	246,3	12,8	76,9	26,8
3	2017	10Сз+Бп+ Ял+Дч	48	89	67,0	190,0	560,0	290,6	12,2	44,5	21,3
4	2018	10Сз+Дч+ Бп+Ял	47	89	65,5	90,0	560,0	253,2	801	87,7	27,8
5	2019	10Сз	48	95	75,6	29,0	412	146,8	15,7	114,5	29,5
6	2020	10Сз+Бп+Дч+Ял	48	95	75,6	240,0	370,0	306,5	16,0	114,0	43,7

Таблиця 2

Характеристика деревостанів лісів Будянсько-Сезьківського, де проводились санітарні вибіркові рубки у різні роки

№	Рік	Склад деревостану	Вік, роки			Запас деревини, м^3			Запас деревини що вилучається, м^3/га		
			min	max	X	min	max	X	min	max	X
1	2015	10Сз+Ак+ Дч+Бб+Вк	50	85	66,6	155,0	330,0	266,1	7,7	92,6	31,9
2	2016	10Сз+Бп+Бб	45	86	61,7	140,0	310,0	222,5	9,0	134,0	44,8
3	2017	10Сз+Дч+Ак	43	88	64,8	170,0	300,0	231,1	6,0	77,0	24,7
4	2018	10Сз+Дч+Дк	38	88	66,8	120,0	310,0	250,0	13,8	50,6	24,55
5	2019	10Сз	27	106	64	11,0	163,3	70,6	5,0	79,0	33,4
6	2020	10Сз+Бп+Дз	27	106	66	100,0	310,0	185,0	5,0	47,0	33,5

в основному представлені лісовими культурами сосни. Їх штучне походження робить соснові ліси вразливими до дії шкідників та хвороб. На жаль ця система погано саморегулюється, тому без проведення вибіркових санітарних рубок такі ліси можуть зникнути з досліджуваної території. Це доводять результати наших підрахунків. Найбільша кількість деревини що вилучається притаманна саме сосновим лісам, які в основному поширені на території Хаєнківсько-Заудайскому ПНДВ.

Головні висновки. Зважаючи на вище зазначене не важко зрозуміти, що функціонування заповідних лісостанів Ічнянського НПП не можливе без застосування санітарних вибіркових рубок, що не узгоджується з діючим на сьогодні природоохоронним законодавством. Втім, багатовіковий досвід збереження лісів, у тому числі і заповідних, базується на впровадженні комплексу певних дій, спрямованих на запобігання розвитку негативних тенденцій, що завдають істотної шкоди лісостанам. Саме тому пропонується продовжувати усталені методи лісозахисту на територіях ПЗФ України, що включають санітарні вибіркові рубки.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати проведених досліджень свідчать про неможливість повноцінного та тривалого функціонування заповідних лісостанів Ічнянського НПП без застосування певних елементів регуляції під якими ми розуміємо санітарні вибіркові рубки. Але це не узгоджується з діючим на сьогодні природоохоронним законодавством.

Втім, багатовіковий досвід збереження лісів, у тому числі і заповідних, базується на впровадженні комплексу певних дій, спрямованих на запобігання розвитку негативних тенденцій, що завдають істотної шкоди лісостанам. Саме тому пропонується продовжувати усталені методи лісозахисту на територіях ПЗФ України, що включають санітарні вибіркові рубки.

Література

1. Лукіша В.В., Шульга О.О. Оцінка екологічних загроз лісам природно-заповідного фонду (на прикладі Ічнянського НПП). *Екологічні науки : науково-практичний журнал*. 2017. № 16–17. С. 111–121.
2. Лукіша В.В., Лисенко Г.М., Шульга О.О. Оцінка сукцесій рослинного покриву Ічнянського національного природного парку в умовах змін клімату *Екологічні науки : науково-практичний журнал.* 2021. № 7(34). С. 105–110.
3. Воронцов А.И., Мозолевская Е.Г., Соколова Э.С. Технология защиты леса. Москва, 1991. 304 с.
4. Завада М.М., Шульга О.О. Особливості заходів з поліпшення санітарного стану лісів природно-заповідного фонду за нинішніх умов. *Проблеми збереження гірських екосистем та сталого використання біологічних ресурсів Карпат*: матеріали міжнародної науково-практичної конференції з нагоди 50-річчя організації Карпатського біосферного заповідника, м. Рахів, 12–15 жовтня 2018 р. Івано-Франківськ, 2018. С. 191–201.
5. Криницький Г.Т., Крамарець В.О. «Санітарні правила в лісах України» – деякі дискусійні аспекти. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2012. Вип. 22.3. С. 8–15.
6. Геоботанічне районування Української РСР. Київ, 1977. 301 с.
7. Літопис природи Ічнянського НПП. Т. 12. 2018. 150 с.
8. Санітарні правила в редакції Постанови КМ № 756 від 26.10.2016. URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/756-2016-n#n9 (дата звернення: 17.06.2022).
9. Завада М.М. Лісова ентомологія. Київ : КВІЦ, 2007. 183 с.
10. Лисенко Г.М., Шульга О.О., Пасічник С.В. Смоляний рак сосни в Ічнянському національному природному парку: проблеми та шляхи вирішення. *Екологічні науки : науково-практичний журнал*. 2019. № 1(24).Т. 2. С. 82–88.

УДК 582.573.76:631.527+581.522(477.63)
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.34

РОЗВИТОК ГЕНЕРАТИВНОЇ СФЕРИ СОРТІВ *HEMEROCALLIS* L. СЕЛЕКЦІЇ КРИВОРІЖСЬКОГО БОТАНІЧНОГО САДУ НАН УКРАЇНИ ЗА КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН

Чипиляк Т.Ф.
Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України
вул. Маршака 50, 50085, м. Кривий Ріг
chipiljak@i.ua

Проведено дослідження ритму розвитку (початок цвітіння, тривалість цвітіння) та морфологічних ознак (висота квітконосу, діаметр квітки) генеративної сфери сортів *Hemerocallis* L. селекції Криворізького ботанічного саду НАН України запатентованих у 2009–2011 роках з метою визначення їх особливостей за впливу змінених кліматичних показників. Дослідження проводили протягом 2011–2020 років, які відзначилися змінами річної температури повітря у бік підвищення та зниженням річного рівня опадів. До особливостей розвитку відноситься прискорення фази квітування у сортів середньопізнього квітування на 10–12 діб, тоді як лілійники середнього терміну зацвітали у відповідні для них терміни. З'ясовано, що у переважної більшості сортів в період дослідження тривалість цвітіння збільшилася на 5–10 діб і продовжувалася 25–40 діб. За останнє десятиліття зафіксовано стабільне збільшення висоти квітконосу відносно сортових характеристик у середньорослих сортів на 20–30 см, тоді як високорослі відтворювали притаманні їм ознаки. Влітку 2016–2020 років, незважаючи на складні погодні умови, зафіксовано збільшення висоти квітконосу у всіх сортів. Розмір квітки, відносно сортових показників, достовірно зменшився тільки у сортів 'Берегиня Саду', 'Вечірній Кривбас'. У решти сортів нашої селекції діаметр квітки не змінювався або незначно збільшувався. Але, в 2016–2020 роках, за впливу посухи і високих температур, у половини сортів відбувається зменшення цього показнику на 0,5–1,5 см. Можна стверджувати, що в умовах степової зони України за кліматичних змін (підвищення температури повітря і посилення посухи) розвиток і ріст генеративної сфери сортів *Hemerocallis* hybrida hort. селекції Криворізького ботанічного саду НАН України відзначається фенотипічною мінливістю. При цьому рослини суттєво не втрачають декоративних якостей властивих для них. Отримані результати вказують на досить високий рівень адаптаційної спроможності, що дозволяє лілійникам успішно зростати в умовах мінливого навколишнього середовища. Це дає можливість широко використовувати їх для збагачення біотичного різноманіття ландшафтів промислових міст. *Ключові слова: Hemerocallis* hybrida hort., генеративна сфера, селекція, степова зона, кліматичні зміни.

Development of the generative sphere of cultivars of *nemerocallis* l. Selections of the Kryvyi Rih Botanical garden of the NAS of Ukraine of under action of climatic changes. Chipiliak T.

A was studied of the rhythm of development (beginning of flowering, duration of flowering) and morphological features (flowerstem height, flower diameter) of the generative sphere of *Hemerocallis* L. of cultivars selected by the Kryvyi Rih Botanical Garden of the NAS of Ukraine. A was studied of cultivars that were patented in 2009–2011 years. The purpose is to determine the peculiarities of development under the influence of changed climatic indicators. The research was conducted in the period 2011–2020 years, which was marked by changes in annual air temperature in the direction of increase and decrease in annual precipitation. The peculiarities of development include the acceleration of the flowering phase (on 10–12 days) in cultivars of medium-late flowering, while medium-season daylilies bloomed at the appropriate time. It was found that during the study period in almost all the cultivars the duration of flowering increased on 5–10 days and lasted 25–40 days. In the last ten years, there has been a steady increase of 20–30 cm in the flowerstem height in medium-sized the cultivars relative to varietal characteristics, while tall ones have reproduced their inherent characteristics. In the summer of 2016–2020 years, despite the difficult weather conditions, all the cultivars had an increase in the height of the flowerstem. Flower size relative to varietal indicators significantly decreased only in the cultivars 'Berehynya Sadu″, 'Vechirniy Kryvbas″. In other cultivars of our selection, the diameter of the flower either did not change or slightly increased. But in 2016–2020 years, under the influence of drought and high temperatures, half of the varieties have a decrease in this indicator by 0,5–1,5 cm. It is proved that in the conditions of steppe zone of Ukraine under climatic changes (increase of air temperature and strengthening of drought) development and growth of generative sphere of the cultivars *Hemerocallis* hybrida hort., selected by the Kryvyi Rih Botanical Garden of NAS of Ukraine, is marked by phenotypic variability, and plants do not lose decorative qualities substantially. The obtained results indicate a fairly high level of adaptability, which allows daylilies to grow successfully in the conditions of changeable environment. This makes it possible to use them widely to enrich the of biotic variety of the landscapes of industrial cities. *Key words: Hemerocallis* hybrida hort., the generative sphere, selection, steppe zone, climatic changes.

Постановка проблеми та актуальність дослідження. При створенні культурфітоценозів постають проблеми їх раціонального використання які, в першу чергу, вирішуються за рахунок оновлення асортименту декоративних рослин, поповнення його стійкими і продуктивними видами, формами та культиварами [1, 2]. Для України значущість розв'язання цих задач посилюється ще й фактом значного відставання від провідних країн світу за різноманітністю асортименту різних груп рослин, а також недостатнім рівнем виробництва власного посадкового матеріалу.

Серед широкого спектру квітниково-декоративних рослин інтродукованих в Україну до найбільш перспективних належать представники родового

комплексу *Hemerocallis* L., які займають одне з чільних місць у світовому асортименті садових культур. Лілійники мають неймовірно широкий спектр різноманітних декоративно-цінних ознак і при цьому відрізняються високою екологічною пластичністю [3, 4]. Їхня широка інтродукція та успішне застосування в озелененні значно стимулює селекційну роботу з цією культурою. Адже за допомогою селекційних досліджень можна не тільки поліпшити декоративні ознаки рослин, але і розширити їх корисні якості – стійкість до хвороб, толерантність до визначених ґрунтово-кліматичних умов, підвищення рівня продуктивності. Результатом селекції лілійнику (*Hemerocallis* hybrida hort.) є понад 87 000 сортів, створених у всьому світі [5, 6], а сортове різноманіття культури забезпечено складним міжвидовим і міжсортовим схрещуванням. На Україні ботанічні колекції лілійнику представлені переважно сортами закордонної селекції, але посадковий матеріал часто потрапляє в країну із регіонів, які значно відрізняються за едафокліматичними умовами. Це позначається на термінах і продуктивності цвітіння культури, збереженні форми й стійкості забарвлення квіток, зимостійкості рослин, стійкості до хвороб і шкідників. Саме тому науковці Національного ботанічного саду ім. М.М. Гришка, Донецького та Криворізького ботанічних садів НАН України зосередили зусилля на створені вітчизняних сортів лілійнику [7, 8, 9]. Адже сорти місцевої селекції краще пристосовані до конкретних умов зростання, відзначаються стабільним проявом декоративних ознак, тривалим періодом цвітіння, високим коефіцієнтом вегетативного розмноження.

Перші сорти лілійнику селекції Криворізького ботанічного саду НАН України (далі КБС) були зареєстровані у 2006, а останні 6 сортів – у 2021 році, тобто окремі сорти власної селекції вирощуються в наших кліматичних умовах вже більше десятиліття. З огляду на те, які кліматичні проблеми постали перед світом (глобальне потепління) в рамках виконання НДР «Ценотичні, флористичні зміни та морфоструктурні адаптації видів у природних і штучних угрупованнях посушливого Правобережного степу в зв'язку з глобальним потеплінням» в КБС було проведено дослідження впливу кліматичних змін на трав'янисті квітникові рослини, в тому числі лілійники закордонної та власної селекції [10, 11]. Дослідження сортового різноманіття лілійнику в умовах Криворіжжя виявило варіабельність його фенотипічних ознак, що вказує на високий рівень адаптаційної спроможності та широку норму реакції генотипу в екстремальних умовах вирощування, якими відзначається Степ України [12].

Мета дослідження – визначення особливостей розвитку генеративної сфери (терміни цвітіння, морфологія генеративного пагону та квітки) сортів *Hemerocallis* hybrida hort. селекції КБС за впливу змінених кліматичних показників.

Матеріали та методи досліджень. Територія Криворіжжя складає 4,1 тис. км², знаходиться у степовій зоні і входить до складу посушливої агрокліматичної зони. Протяжність Кривого Рогу з півночі на південь становить понад 100 км, а на його території сконцентровані найбільші в Україні гірничовидобувні та переробні підприємства [13]. Антропогенні ландшафти міста відрізняються незначним фіторізноманіттям трав'янистих багаторічників, а рослини в штучних фітоценозах пригнічені і не виявляють в повній мірі властивих їм декоративних якостей. За останні 30 років на Криворіжжі середньорічна температура повітря підвищилася на 2 °С і складає +10,0–+11,5 °С (у 2015–2020 рр.) [14, 15]. Підвищилась середньодобова температура січня-лютого від –4,4–-5,1 °С (1987 р.) до –0,9–-2,1 °С (2020 р.) та липня-серпня від +19,4–+21,1 °С (1987 р.) до +22,8–+23,9 °С (2020 р.). Річна сума опадів складає 350-450 мм, при цьому протягом літніх місяців баланс зволоження відзначається дефіцитом – за вегетаційний період випадає лише 100–150 мм. Літо відзначається високими аномальними температурами повітря (+36,7–+38,1 °С), частими суховіями. Дослідження проводилися на території КБС, де кліматичні умови характеризуються загальними для степової зони показниками, які обмежують ріст рослин – нестача вологи в повітрі і ґрунті, аномально високі літні температури повітря, різкі коливання температури та нестійкий сніговий покрив взимку. Період дослідження також відзначався значними коливаннями температури та вологості (табл. 1).

Об'єктом дослідження слугували лілійники селекції КБС (табл. 2), які проходять інтродукційні дослідження у Криворізькому ботанічному саду НАН України протягом останніх 10 років. В таблиці 2

Таблиця 1

Кліматичні показники Криворіжжя за період 2011–2020 рр.

Рік	Показник	
	Середньорічна температура повітря, °С	Середньорічна сума опадів, мм
2011	9,5	364,6
2012	10,9	634,9
2013	10,3	619,6
2014	10,0	564,5
2015	11,3	407,1
середня в 2011–2015 роках	10,4	**518,1**
2016	10,5	431,0
2017	10,9	355,3
2018	11,4	347,5
2019	11,4	261,2
2020	11,7	201,0
середня в 2016–2020 роках	11,2	**319,2**

Таблиця 2

Характеристики сортів (простий гібрид) селекції Криворізького ботанічного саду НАН України отриманих шляхом штучної гібридизації

Назва сорту	Батьківські сорти	Реєстрація сорту	Колір квітки	Діаметр квітки, см	Висота квітконосу, см	Термін / тривалість квітування (діб)
‘Берегиня Саду’	♀Bejeweled **x** ♂Bed of Roses	Патент №110319 15.03.2011	насичено-червоний	15,0	80,0	Середньо-пізній / 28
‘Вечірній Кривбас’	♀George Cunningham **x** ♂American Revolution	Патент №110318 15.03.2011	темно-вишневий	14,0	85,0	Середньо-пізній / 30
‘Дарунок Сонця’	♀Frans Halls **x** ♂Frances Fay	Патент № 10410 16.04.2010	червоно-жовтий (двотоновий)	10,5	70,0	Середній / 25–30
‘Дотик Ангела’	♀Daily Breand **x** ♂Luxury Lace	Патент № 09204 21.07.2009	насичено-ліловий	9,5	55,0	Середній / 20–25
‘Ніжність’	♀Navajo Blanket **x** ♂Prairia Blue Eyes	Патент № 09203 21.07.2009	карміново-рожевий	10,5	45,0	Середній / 10–18
‘Перлина Криворіжжя’	♀Sugar Candy **x** ♂Alisa in Wonderland	Патент № 10409 16.04.2010	бежево-білий	12,5	90,0	Середній / 25–30
‘Руданочка’	♀Frans Halls **x** ♂Frances Fay	Патент № 09200 21.07.2009	помаранчевий	11,0	50,0	Середній / 15–20
‘Степова зоря’	♀Precious Accent **x** ♂Minstrel Boy	Патент №110317 15.03.2011	рожево-помаранчевий (двотоновий)	11,0	60,0	Середньо-пізній / 35

подані декоративні ознаки, які були заявлені під час реєстрації сортів.

Дослідження реакції багаторічників на температурні зміни та гідрологічний режим району інтродукції дозволяє виявити сезонні зміни їх розвитку, що, в свою чергу, дає можливість визначити оптимальні терміни висадки рослин, тривалість цвітіння, період найвищої декоративності [16]. Фенологічні спостереження у 2011–2020 роках проводили на колекційній ділянці за рекомендаціями Г.Н. Зайцева та загально прийнятою методикою [17, 18].

Для встановлення особливостей сезонного розвитку рослин по кожній фенофазі відмічали її кількісні показники, встановлені шляхом візуального обліку числа органів, які вступали у фенофазу в межах всієї рослини. Отримані результати були згруповані по п’ять років і подані в середніх показниках.

Викладення основного матеріалу. Пристосувальні реакції рослин спрямовані на зменшення несприятливого впливу зовнішніх чинників і чутливості до їхньої дії та виявляються зміною термінів і тривалості вегетативного і генеративного періодів [11]. У зв’язку із змінами клімату рослини суттєво міняють ритміку процесів росту і розвитку, пристосовуючись до кліматичних умов, що пов’язано із температурним фактором. За результатами таких досліджень з’ясовують перспективність видів та сортів рослин, виділяючи тих з них які, хоча і не зростають в екологічному оптимумі, досягають властивих їм розмірів, нормально цвітуть і плодоносять, утворюють високоякісне насіння, зимо- і посухостійкі.

Вивчення фенорозвитку *H.* hybrida hort. селекції КБС дало можливість з’ясувати, що останнє десятиліття переважна частина сортів, а саме середнього терміну квітування, достовірно не змінювали терміни, тоді як у лілійників середньо-пізнього квітування зафіксовано прискорення початку цвітіння на 10–12 діб (табл. 3). Дана тенденція була показана нами в попередніх дослідженнях, щодо інтродукованих видів і сортів закордонної селекції [19, 20]. Але, якщо така реакція на складні погодні умови літнього періоду була властива майже всім інтродукованим лілійникам зібраним в нашій колекції, то серед середньо-пізніх сортів місцевої селекції тільки окремі (‘Вечірній Кривбас’, ‘Степова Зоря’) починали квітувати раніше відповідного періоду. На відміну від закордонних сортів, тривалість цвітіння сортів Криворізької селекції при цьому не зменшувалася і, навіть, збільшилася на 5–10 діб. Тільки сорт

Таблиця 3

Терміни цвітіння сортів *Hemerocallis* hybrida hort. селекції Криворізького ботанічного саду НАН України протягом 2011-2020 років

Назва сорту	Рік дослідження									
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	Початок цвітіння / тривалість цвітіння (діб)									
	середня в 2011–2015 рр.					середня в 2016–2020 рр.				
‘Берегиня Саду’	7.07 28	3.07 27	5.07 36	7.07 23	17.07 24	12.07 44	15.07 36	19.07 34	16.07 35	7.07 39
	10.07±7 / 27,6±6					**13.07±6 / 37,6±5**				
‘Вечірній Кривбас’	10.07 22	3.07 27	26.06 32	19.06 25	25.06 35	6.07 29	5.07 26	25.06 33	18.06 42	30.06 36
	29.06±10 / 28,2±6					**27.06±9 / 33,2±8**				
‘Дарунок Сонця’	4.07 28	2.07 25	5.07 21	24.06 19	1.07 29	11.07 27	5.07 22	25.06 30	25.06 41	22.06 44
	30.06±5 / 24,4±5					**2.07±9 /32,8±11**				
‘Дотик Ангела’	8.07 26	25.06 25	5.07 16	24.06 29	1.07 29	5.07 20	5.07 25	27.06 28	25.06 41	30.06 38
	1.07±7 / 25,0±6					**30.06±5 / 30,4±10**				
‘Ніжність’	8.07 26	25.06 30	26.06 24	24.06 24	1.07 29	5.07 20	5.07 18	2.07 18	25.06 25	25.06 30
	1.07±7 / 26,6±3					**1.07±5 / 22,2±6**				
‘Перлина Криворіжжя’	4.07 26	25.06 28	26.06 24	19.06 27	23.06 31	5.07 25	28.06 32	25.06 38	25.06 27	23.06 32
	26.06±7 / 27,2±4					**29.06±6 / 30,8±7**				
‘Руданочка’	4.07 31	15.06 40	26.06 34	19.06 31	1.07 29	2.07 39	29.06 32	2.07 39	25.06 35	30.06 45
	24.06±9 / 33,0±5					**28.06±3 / 38,2±7**				
‘Степова Зоря’	6.07 25	15.06 19	16.07 15	24.06 18	8.07 22	11.07 14	10.07 15	2.07 19	1.07 21	13.07 15
	30.06±15 /19,8±5					**7.07±6 / 16,8±3**				

‘Степова Зоря’ зменшив тривалість цвітіння, при цьому, майже вдвічі в саме у період 2016–2020 років, який відзначався складними погодними умовами.

Також було проведено вивчення змін морфологічних показників (висоти квітконосу та діаметру квітки), які безпосередньо впливають на декоративність квітниково-декоративних рослин. Отримані результати доводять, що вирощування сортів, в тому числі, і місцевої селекції в умовах високих температур і дефіциту вологи призводять до змін сортових характеристик лілійників. Так, тільки рослини сортів ‘Берегиня Саду’ (висота квітконосу коливалася в межах 80–95 см), ‘Вечірній Кривбас’ (в межах 76–88 см) та ‘Перлина Криворіжжя’ (в межах 88–97 см) відтворювали притаманні їм сортові показники. Тоді як, у сортів ‘Дотик Ангела’, ‘Ніжність’ та ‘Руданочка’ висота квітконосу збільшувалася і перевищувала сортові характеристики на 20-30 см. При цьому, останні п’ять років, не зважаючи на складні погодні умови, відбувається збільшення висоти квітконосу у всіх сортів, окрім сорту ‘Степова зоря’, якому властиво зменшення генеративного пагону протягом всього часу спостережень (рис. 1).

Розмір квітки, на відміну від попереднього показнику, відрізнявся меншими змінами. Протягом останніх 10 років, відносно сортових показників, достовірно зменшувався діаметр квітки у сортів ‘Берегиня Саду’, ‘Вечірній Кривбас’. У решти сортів нашої селекції він не змінювався, або незначно збільшувався. Але, в 2016–2020 роках, за впливу посухи і високих температур у половини сортів відбувається зменшення цього показнику на 0,5–1,5 см.

Висновки. На підставі даних фенології, біометричних показників розвитку генеративної сфери сортів селекції Криворізького ботанічного саду НАН України з’ясовано, що відбуваються зміни сортових характеристик досліджуваних лілійників за впливу кліматичних змін. А саме, до особливостей розвитку відносимо прискорення фази квітування (на 10–12 діб) у сортів середньопізнього квітування. Тривалість цвітіння, у переважної більшості сортів, збільшується на 5–10 діб і продовжується 25–40 діб. Навіть за несприятливих погодних умов, зафіксовано збільшення висоти квітконосу відносно сортових характеристик. Розмір (діаметр) квітки протягом останніх 10 років достовірно зменшувався у сортів ‘Берегиня Саду’, ‘Вечірній Кривбас’. У решти сортів він не змінювався, або незначно збільшувався. Можна стверджувати, що в умовах степової зони України за кліматичних змін (підвищення температури повітря і посилення посухи) розвиток і ріст генеративної сфери сортів *Hemerocallis* hybrida

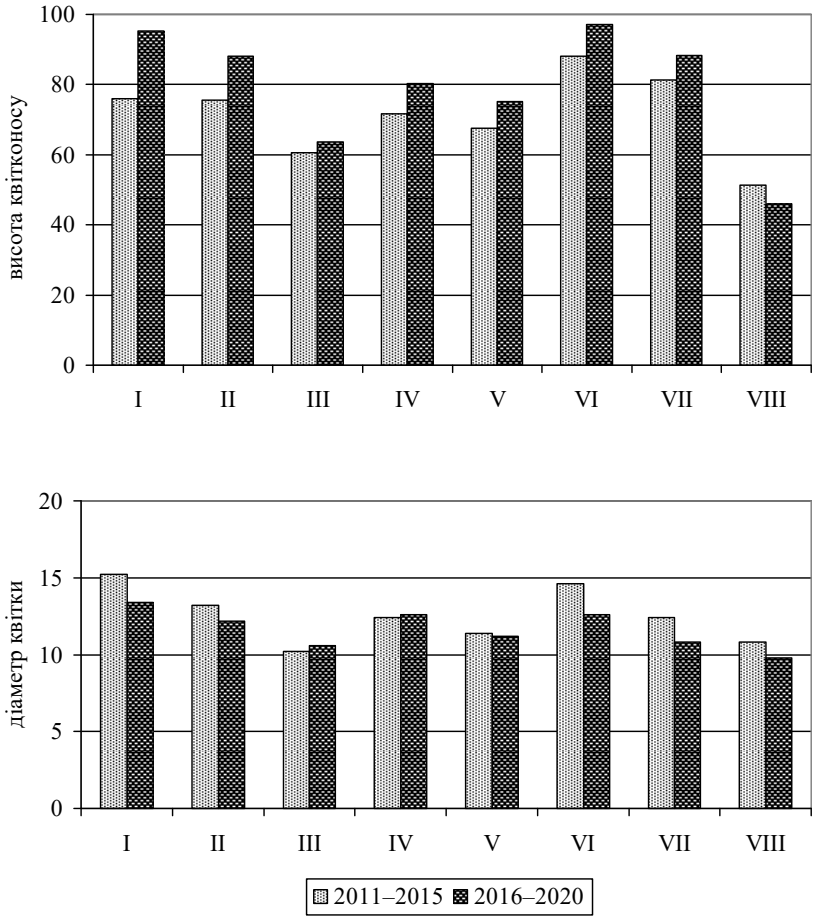


Рис. 1. Морфометричні показники розвитку генеративної сфери сортів Hemerocallis hybrida hort. селекції Криворізького ботанічного саду НАН України протягом 2011–2020 років (см): I – 'Берегиня Саду', II – 'Вечірній Кривбас', III – 'Дарунок Сонця', IV – 'Дотик Ангела', V – 'Ніжність', VI – 'Перлина Криворіжжя', VII – 'Руданочка', VIII – 'Степова зоря'

hort. селекції Криворізького ботанічного саду НАН України відзначається фенотипічною мінливістю при цьому рослини суттєво не втрачають декоративних якостей властивих для них. Високий рівень адаптації дозволяє лілійникам успішно зростати в умовах мінливого навколишнього середовища, що не тільки дозволить широко використовувати їх для збагачення біотичного різноманіття ландшафтів промислових міст, але і оцінити можливість їх застосування для біоіндикації довкілля. Подальші дослідження морфоструктурних і фенологічних змін їх розвитку дозволить визначити реакції рослинного організму на екстремальні умови вирощування, що необхідно для прогнозування та упередження негативного впливу кліматичних змін на штучно створену рослинність степової зони України. Це дозволить розробити практичні заходи, спрямовані на зменшення негативного впливу кліматичних змін на функціонування біогеоценозів та штучних, корисних для людини рослинних угруповань.

Література

1. Приходько М.М. Екологічна безпека природних і антропогенно модифікованих геосистем: монографія Київ: Центр екологічної освіти та інформації, 2013. 201 с.
2. Левон Ф.М. Зелені насадження в антропогенно трансформованому середовищі. Київ, 2008. 364 с.
3. . Stout A.B. Genus *Hemerocallis*. Sagapress: Revised edition, 1986. 173 p.
4. Gulia S.K., Singh B.P., Carter J. [et al.]. Day-lily, Botany, Propagation, Breeding. *Journal Horticultural Reviews.* 2009. Vol. 35. P. 193–220.
5. Catalog Bells. Reinke: Bill s Joyce, 2002. 24 p.
6. The American Hemerocallis society. URL: http daylilies.org (Last accessed: 15.09.2020).
7. Пельтихина Р.И., Крохмаль И.И. Интродукция видов и сортов рода *Hemerocallis* L. (Hemerocallidaceae R.Br.) в Донбасс и перспективы их использования в декоративном садоводстве. Донецк : Норд-Пресс, 2005. 236 с.

8. Щербакова Т. Створення перспективних сортів лілійника гібридного (*Hemerocallis* hybrida hort.) в Національному ботанічному саду імені М.М. Гришка НАН України. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Агрономія.* 2018. № 22(1). С. 167–174.
9. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2021 рік. Київ. 2021. 524 с.
10. Havens K.H. Plant responses to climate change: phenology, adaptation, migration. *In: 2nd World Scientific Congress Challenges in Botanical Research and Climate Change.* Programme Book of abstract (29 Juni–4 July 2008). The Netherlands, 2008. P. 6.
11. Sjöman, H., Bellan, P., Hitchmough, J. & Oprea A. Herbaceous plants for climate adaptation and intensely developed urban sites in Northern Europe: a case study from the Eastern Romanian Steppe. *Ekológia (Bratislava*). 2015. Vol. 34(1). P. 39–53.
12. Термена Б.К. Значення генотипічної мінливості в аспекті адаптаційної здатності рослин. *Інтродукція рослин*. 2009, № 1. С. 29–32.
13. Казаков В.Л., Паранько І.С., Сметана М.Г. Природнича географія Кривбасу. Кривий Ріг : КДПУ, 2005. 156 с.
14. Сайт погоди. Електронний ресурс. http://rp5.ua (дата звернення 25.01.2021).
15. Кульбіда М.І., Барабаш М.Б., Єлістратова Л.О. Сучасний стан клімату України. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки: зб. наук. пр. УкрНДІЕП*. Харків: Райдер, 2013. Вип. 35. С. 118–131.
16. Дідух Я.П. Екологічні аспекти глобальних змін клімату: причини, наслідки, дії. *Вісник НАН України*. 2009. № 2. С. 34–44.
17. Зайцев Г.Н. Фенология травянистых многолетников. Москва : Наука, 1978. 150 с.
18. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР. Москва : ГБС АН СССР, 1975. 27 с.
19. Чипиляк Т.Ф. Еколого-біологічні особливості представників роду *Hemerocallis* L. при інтродукції в Криворізький ботанічний сад НАН України. *Науковий вісник Чернівецького університету. Біологічні системи*. 2014. Т. 6. Вип. 2. С. 205–210.
20. Чипиляк Т.Ф. Перспективи використання представників родового комплексу *Hemerocallis* L. в антропогенних ландшафтах Криворіжжя. *Екологічний Вісник Криворіжжя*. 2019. Вип. 4. С. 76–86.

ТЕОРЕТИЧНА ЕКОЛОГІЯ

УДК [502/504:582.232]:615
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.35

ВПЛИВ ЕКОЛОГІЧНО РЕАЛЬНИХ ТА СУБТОКСИЧНИХ КОНЦЕНТРАЦІЙ МАЛАТІОНУ НА НЕТАРГЕТНІ ОРГАНІЗМИ (НА ПРИКЛАДІ *DANIO RERIO*)

Горин О.І., Хатіб Іхаб, Ковальська Г.Б., Познанський Д.В., Чернік І.В., Боднар О.І.
Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. М. Кривоноса, 2, м. Тернопіль, 47028
horynoi@tnpu.edu.ud

Роль гербіцидів та інсектицидів у підвищенні продуктивності сільського господарства сьогодні є беззаперечною. Водночас ці сполуки є небезпечними та персистентними джерелами забруднення навколишнього середовища загалом та водних екосистем зокрема. Вивчення впливу фосфорорганічних інсектицидів на водну біоту є важливим з огляду на постійні екологічні зміни умов їх проживання та модифікації хімічного складу пестицидів. Це, в свою чергу, потребує систематичних додаткових досліджень стосовно механізмів дії таких забруднювачів, що дасть можливість вдосконалити стратегії захисту гідроекосистем.

Метою нашої роботи стало дослідження впливу малатіону у екологічно реальній (5 мкг/л) та субтоксичній (50 мкг/л) концентраціях на коропову рибу *Danio rerio.* Для оцінки ступеня токсичності використовували визначення показників стану антиоксидантної системи та системи біотрансформації ксенобіотиків, а також маркерів ендокринних розладів та нейротоксичності. Одержані результати дозволяють зробити висновок, що, незважаючи на відносно швидкий період розпаду та статус речовини середнього класу токсичності, малатіон уже в екологічно реальних концентраціях викликає у смугастого даніо прояви ознак окисного стресу, ендокринних розладів та нейротоксичності, а також ензимні порушення системи детоксикації ксенобіотиків. При цьому залежність значення показників від концентрації діючого чинника дозволяє виокремити вміст вітелогенінподібних протеїнів та активність карбоксилестерази як найбільш чутливі серед досліджуваних параметрів індикатори забруднення водойм даним інсектицидом. Для більш глибшого і детальнішого з'ясування механізмів дії цього інсектициду пропонуються подальші дослідження гормонального профілю, нейротоксичності, наслідків окисних ушкоджень, а також їх перехресної взаємодії. Це стане вихідною інформацією для розробки попереджувальних стратегій зменшення небезпечного впливу малатіону на риб та припинення скорочення їх популяцій. *Ключові слова:* інсектициди, малатіон, *Danio rerio,* окисний стрес, нейротоксичність, ендокринні розлади.

Effect of environmentally relevant and subtoxic concentrations of malathion on non-target organisms (on the *Danio rerio* example). Horyn O., Khatib Ikhab, Kovalska H., Poznanskyi D., Chernik I., Bodnar O.

Nowadays, the role of herbicides and insecticides in increasing agricultural productivity is undeniable. At the same time, these compounds are dangerous and persistent sources of pollution in the environment, particularly aquatic ecosystems. The study of the organophosphorus insecticides effect on water organisms is important due to the constant ecological changes in their living conditions and modifications in the pesticide's chemical composition. This, in turn, requires systematic additional research into the mechanisms of the pollutants action to enable the improvement of the aquatic ecosystems' protection strategies. The present work aims to study the effects of malathion in environmentally relevant (5 μg L-1) and subtoxic (50 μg L-1) concentrations on carp fish *Danio rerio*. Indicators of the oxidative stress, system of the xenobiotics biotransformation, markers of the endocrine disorders and neurotoxicity were determined to assess the toxicity degree. Our results revealed that despite the relatively rapid decay period and the status of the middle toxicity substance, malathion even in environmentally relevant concentrations causes signs of oxidative stress, endocrine disorders and neurotoxicity, as well as changes in the enzymes activity in the xenobiotics biotransformation system. The dependence of the biomarker values on the active factor concentration allows to distinguish the content of vitellogenin-like proteins and carboxylesterase activity as the most sensitive among the studied indicators of water pollution with the given insecticide. Additional research in the hormonal profile, neurotoxicity, effects of oxidative damage and their cross-interaction will be conducted to further investigate the action mechanisms of this insecticide. The results will be the starting point for developing prevention strategies to reduce the malathion dangerous effects on fish and stop their population reduction. *Key words:* insecticides, malathion, *Danio rerio*, oxidative stress, neurotoxicity, endocrine disorders.

Постановка проблеми. В останні десятиліття з метою підвищення продуктивності сільського господарства та захисту культур невпинно зростає кількість та різноманіття застосовуваних пестицидів. Водночас, гербіциди та інсектициди є небезпечними джерелами забруднення навколишнього середовища і зумовлюють суттєвий пошкоджувальний вплив на природні екосистеми, а відтак на здоров'я людини [1]. Зокрема доведено здатність пестицидів викликати як гострі, так і хронічні токсичні ефекти, включаючи окисний стрес, генетичні пошкодження та репродуктивні розлади у організмів різних екологічних та еволюційних груп [2–3].

Актуальність дослідження. На сьогодні одним з найбільш часто застосовуваних фосфорограничних інсектицидів є малатіон – селективний

інгібітор ацетилхолінестерази (АХЕ) [4]. Для людини та ссавців малатіон відноситься до речовин середнього класу токсичності і може викликати структурно-функціональні порушення як окремих клітин та їх компартментів, так і органів загалом [1, 3]. Так, на моделях мишей та ізольованих клітин людини було встановлено, що малатіон обумовлює пригнічення ацетилхолінестеразної активності, викликає окисний стрес, генотоксичність, активацію запальних процесів та апоптозу [5–6]. Для *Daphnia magna* і риб *Channa punctatus* та *Oncorhynchus mykis* виявлена небезпека малатіону щодо пошкодження ДНК у клітинах печінки за дії у концентрації 0,59–1,49 мкг/л [7–8].

Слід зазначити, що ступіть прояву негативних ефектів залежить від чистоти препарату, концентрації та тривалості впливу, а також шляхів потрапляння в організм [9].

Незважаючи на відносно короткий період напіврозпаду малатіону у воді (40 год. при pH 8,16 і 418 год (17 днів) при pH 6,0), його концентрація подекуди досягає рівня 0,18 мкг/л у поверхневий водах та 0,1 мкг/л у питній воді [2, 10].

Слід зазначити, що більшість досліджень впливу полютантів, включно пестицидів, зосереджена на окремих фізіологічних процесах чи метаболічних ланках. Тому актуальними та важливими для розуміння, як термінової так і віддаленої небезпеки на біоту та водні екосистеми, є роботи комплексного характеру, які дозволяють систематизувати та узагальнити можливі прогнози їх токсичності.

Мета та завдання дослідження. Виходячи з вищесказаного, метою нашої роботи стало дослідження впливу інсектициду малатіону на прісноводних риб у екологічно реальній та субтоксичній концентраціях. Вивчення проводилося з використанням представника коропових риб *Danio rerio* – типової біологічної моделі для механістичних та токсикологічних досліджень. Для оцінки ступеня токсичності використовували визначення показників стану антиоксидантної системи та системи біотрансформації ксенобіотиків, а також маркерів ендокринних розладів та нейротоксичності, апробовані у попередніх наших дослідженнях [7, 11].

Матеріали та методи. Дослідження проводились на дорослих особинах акваріумної рибки даніо *Danio rerio* (родина Коропові), як типової моделі для біологічних досліджень. Тварин купували у магазині мережі «ЗооСвіт» (Тернопіль). Для аклімації та створення експериментальних умов використовували відстояну водопровідну воду. Вміст розчиненого у воді кисню підтримували на рівні 7,0–8,0 мг/л, вуглекислого газу – 2,2–2,8 мг/л, температуру – 20±1 °С, pH – 7,6–8,0. Годували тварин двічі в день сублімованим кормом марки «Tetra». Після 7-ми днів аклімації до лабораторних умов риб випадковим чином розподіляли на 3 групи – контрольна та дві дослідні. Дослідні групи піддавалися дії низької (5 мкг/л) (МН) та високої (50 мкг/л) (МВ) концентрацій малатіону, які знаходяться у екологічно реальному та субтоксичному діапазонах відповідно [10]. Заміну води та поновлення діючих речовин у експериментальних групах здійснювали кожні 3 дні, тривалість експозиції – 14 діб.

Експерименти на тваринах проводили керуючись Європейською конвенцією про захист хребетних тварин, що використовуються для експериментальних та наукових цілей (Страсбург, 1986), ухвалою Першого національного конгресу з біоетики (Київ, 2000) та рішенням етичної комісії Тернопільського національного педагогічного університету (Протокол № 2, 2020).

Стан системи антиоксидантного захисту оцінювали за активністю каталази та глутатіонредуктази. Активність каталази (КАТ) визначали у розчинній фазі гомогенату печінки після його центрифугування протягом 10 хв. при 6 000 ×g за методом Аебі [12]. Світлопоглинання вимірювали при 240 нм. Активність глутатіонредуктази (GR) визначали за методом Карлберга як результат зменшенням світлопоглинання реакційної суміші в наслідок розщеплення НАДФН за довжини хвилі 340 нм [13].

Вміст вітелогенінподібних протеїнів (Втг-ПП) використовували як маркер ендокринних розладів і визначали за вмістом лужнолабільних фосфатів [14]. Принцип методу ґрунтується на осадженні ліпофосфопротеїнів трихлороцтовою кислотою та їх лужному гідролізі для виділення лабільних фосфатів. Вміст вільних лужнолабільних фосфатів визначали фосфомолібденовим способом.

Стан системи трансформації ксенобіотиків визначали як активність карбоксилестерази (КЕ). Вимірювання проводили у мікросомальній фракції із застосуванням субстрату п-нітрофенілацетату. Інтенсивність гідролізу п-нітрофенілацетату оцінювали за зниженням оптичної густини комплексу при 405 нм [11].

Активність протеїн-тирозинових-фофатаз (ПТФ) визначали за рівнем розкладу п-нітрофенолфосфату, який реєстрували спектрофотометрично за довжини хвилі 405 нм [15].

Активність ацетилхолінестерази (АХЕ), як показника нейротокисчності, визначали колориметричним методом Елмана та ін. [16].

Результати досліджень відображали у вигляді M ± SD для 8 зразків тканини. Вірогідною вважали відмінність між рядами $p<0,05$. Біологічні параметри аналізували з використанням програмного забезпечення Statistica v 12.0 та Exel для Windows-2016.

Викладення основного матеріалу. Експозиція даніо у присутності екологічно реальної та субтоксичної концентрацій малатіону призвела до пригнічення активності ензимів антиоксидантної системи та системи трансформації ксенобіотиків, а також прояву ознак ендокринних порушень та нейротоксичності. Зокрема, у риб, які піддавалися дії

нижчої з досліджуваних доз інсектициду (МН) активність каталази та глутатіонредуктази знизилися на 44,94 і 57,32 % відповідно. За впливу вищої, субтоксичної, концентрації (МВ) ці показники у тварин знизилися на 20,76 та 23,37 % (рис. 1).

Ступінь ендокринних ушкоджень змінювався концентраційно залежно – вміст Втг-ПП у групах МН та МВ зріс на 38,52 та 67,18 % (рис. 2А). Окрім того, вплив досліджуваного органофосфатного інсектициду викликав зниження активності протеїнфосфатази (38,4 і 14,58 %) та карбоксилестерази (46,92 та 45,77 %) у групах МН та МВ відповідно (рис. 2 B-C). Активність АХЕ, як показника нейротоксичної дії, у групі, яка піддавалася впливу екологічно реальної концентрації малатіону, знизилася приблизно на третину (рис. 2 D).

Ступінь ендокринних ушкоджень змінювався концентраційно залежно – вміст Втг-ПП у групах МН та МВ зріс на 38,52 та 67,18 % (рис. 2А). Окрім того, вплив досліджуваного органофосфатного інсектициду викликав зниження активності протеїнфосфатази (38,4 і 14,58 %) та карбоксилестерази (46,92 та 45,77 %) у групах МН та МВ відповідно

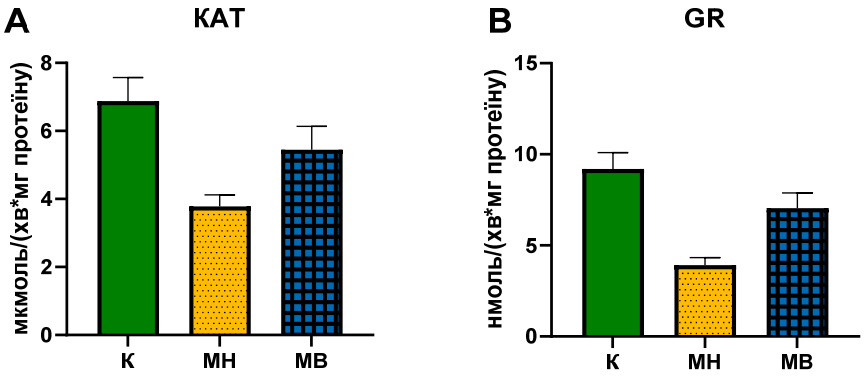


Рис. 1. Показники стану активності ензимів антиоксидантної системи у печінці даніо за дії низької (МН) та високої (МВ) концентрацій малатіону протягом 14 діб: А – каталаза, В – глутатіонредуктаза

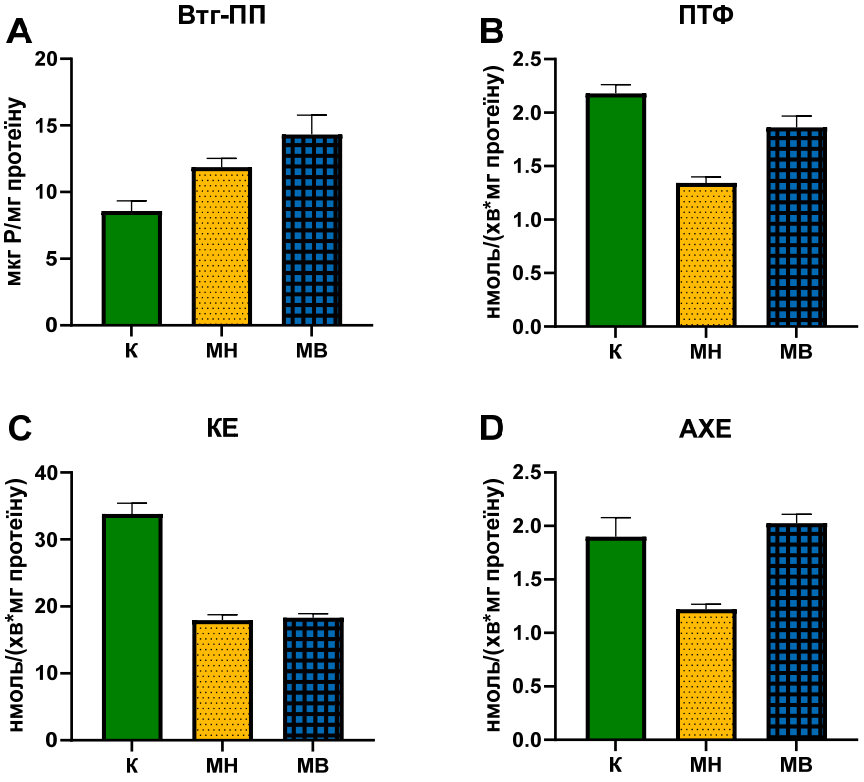


Рис. 2. Показники вмісту вітелогенін-подібних протеїнів у плазмі крові (А), активності протеїн-тирозин-фосфатази (В) і карбоксилестерази (С) у печінці та ацетилхолінестерази (D) у мозку даніо за дії низької (МН) та високої (МВ) концентрацій малатіону протягом 14 діб

(рис. 2 B-C). Активність АХЕ, як показника нейротоксичної дії, у групі, яка піддавалася впливу екологічно реальної концентрації малатіону, знизилася приблизно на третину (рис. 2 D).

Розвиток окисного стресу, який виникає як наслідок дисбалансу між продукуванням активних форм оксигену (АФО) та активністю антиоксидантних ензимів, є однією з неспецифічних реакцій організму на вплив пошкоджуючих чинників. Каталаза – локалізований в периксосомах ензим, який метаболізує H_2O_2 до молекулярного кисню і води – забезпечує першу лінію захисту клітин від АФО [6]. Роль глутатіонредуктази у діяльності антиоксидантної системи полягає у перетворенні окисненого глутатіону у відновлений стан з використанням НАДФН, таким чином підтримуючи високе внутрішньоклітинне співвідношення GSH/GSSG [17]. Зниження активності обох з цих ензимів, яке спостерігалося у нашому дослідженні, є свідченням пригнічення здатності клітини протидіяти окисному стресу [18]. Окрім того, за даними Жанг та ін. [19] пригнічення активності GR може бути пов'язано зі зміною доступності НАДФН в клітині. Одержані нами результати співвідносяться із попередньо отриманим даним щодо впливу пестицидів на коропових риб: зниження активності КАТ і GR спостерігали у *Danio rerio* за дії 50 та 200 мкг/л ізокарбофосу [20], в *Cyprinus carpio* – за дії 0,02, 0,2 та 2 мкг/л тербутрину [21], у *Carassius auratus* – за дії 5,7 та 71,4 мг/л зенкору [22].

Біологічні ефекти АФО, які накопичуються в клітинах у наслідок розвитку окисного стресу, обумовлюють широкий спектр змін і варіацій в залежності від типу клітин. Так, одним із виявлених впливів є модуляція сигнальних шляхів шляхом безпосередньої зміни активності протеїнкіназ і протеїнфосфатаз [23]. Протеїн-тирозинові-фосфатази є ключовими регуляторними компонентами в шляхах передачі сигналу і контролю клітинного циклу, тому зниження їх активності (рис 2B) негативно впливає на контроль росту, проліферацію, диференціацію, трансформацію та синаптичну пластичність клітин [23–24].

Також зазначимо, що малатіон, як один з інсектицидів класу органофосфатів, окиснюється цитохромами у печінці до електрофільних метаболітів (оксонів), які є високоефективними неспецифічними інгібіторами серинових гідролаз (наприклад, АХЕ та КЕ) [5, 15]. Ацетилхолінестераза гідролізує нейромедіатор ацетилхолін в нейронних і нервово-м'язових синапсах центральної і периферичної нервової системі, тому її інгібування призводить до надлишкового накопичення нейромедіатора у щілинах синапсів, тим самим порушуючи холінергічну передачу сигналів [16]. Протягом тривалого часу активність цього ензиму розглядалася як специфічний біомаркер впливу фосфорорганічних та карбаматних пестицидів [8], проте зараз дедалі частіше повідомляється про небезпеку зміни активності АХЕ за впливу ряду інших сполук: металів, поліциклічних ароматичних вуглеводнів, гербіцидів, ціанотоксинів, тощо [11, 25]. Водночас, в останні роки з'являються повідомлення про неспецифічну реакцію, як зростання активності, за дії певних концентрацій пестицидів. Так, наприклад, у личинок даніо цей показник збільшувався за експозиції 0,1 мкг/л діазинону, дихлофосу та малатіону [9]. Відтак, відсутність чіткої залежності між активністю АХЕ і концентрацією діючого чинника, отриманих у пропонованому дослідженні, зокрема, та специфічністю реакцій АХЕ мозку даніо за дії органофосфатів і їх діапазон загалом, вимагає більш детального вивчення та з'ясування механізмів регуляції цих процесів.

Пригнічення активності карбоксилестерази, яка бере участь у метаболізм I фази ксенобіотиків, призводить до зниження стійкості організмів у протидії полютантам та зменшення їх адаптивного потенціалу. Одержані нами результати відповідають літературним даним, які показують, що слідові, екологічно реальні концентрації пестицидів (напр. малатіон, діазинон, етопрофос) здатні суттєво знижувати активність даного ензиму у різних видів риб (*Danio rerio*, *Labeo rohita, Oncorhynchus kisutch*), особливо на стадії личинок [25–27].

Окрім цього, відомо, що фосфорорганічні пестициди, до яких належить малатіон, мають здатність імітувати дію статевих стероїдів та впливати на гіпоталамо-гіпофізарно-гонадну вісь, що відповідно призводить до порушення гаметогенезу. При цьому дія на самців і на самок відрізняється – у перших спостерігається регресія гонад, а в других – передчасний розвиток статевих залоз [28]. Типовим маркером впливу ксеноестрогенів є вітелогенін. Зростання його вмісту в крові самців *D. rerio* після впливу малатіону підтверджує здатність останнього спричиняти ендокринні порушення навіть за низьких, екологічно реальних концентрацій, а прямопропорційна залежність між концентраціями Втг-ПП і пошкоджуючих чинників – релевантність використання даного показника як біомаркера забруднення водного середовища пестицидами. Аналогічним чином, через зміни рівня вітелогеніну, даніо реагують й на інші гербіциди (раундап, атразин) [7, 29], інсектициди (хлорпірифос, циперметрин) [11, 28] та фунгіциди (азоксистробін, карбендазим) [30].

Головні висновки. Відтак можна зробити висновок, що незважаючи на відносно швидкий період розпаду та номіновану помірну токсичність, малатіон вже в екологічно реальних концентраціях викликає у смугастого даніо прояв ознак окисного стресу, ендокринних розладів та нейротоксичності, а також порушення системи детоксикації ксенобіотиків. При цьому залежність значення показників від концентрації діючого чинника, отриманих у нашому дослідженні, та огляд літератури дозволяє виокремити вміст вітелогенінподібних протеїнів та активність карбоксилестерази як найбільш чутливі індикатори

забруднення водойм малатіоном серед досліджуваних нами параметрів.

Перспективи використання результатів дослідження. Для більш глибшого і детальнішого з'ясування механізмів дії цього інсектициду пропонуються подальші дослідження гормонального профілю, нейротоксичності, наслідків окисних ушкоджень, а також їх перехресної взаємодії. Це стане вихідною інформацією для розробки попереджувальних стратегій зменшення небезпечного впливу малатіону на риб та припинення скорочення їх популяцій.

Подяка

Робота виконана за підтримки Національного фонду досліджень України (№ 2020.02/0270) та Міністерства освіти і науки (№ МВ-2).

Література

1. Ozsoy A.Z., Nursal A.F., Karsli M.F. Protective effect of intravenous lipid emulsion treatment on malathion-induced ovarian toxicity in female rats. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. 2016. Vol. 20. P. 2425–2434.
2. National Pesticide Information Center. URL: http://npic.orst.edu/factsheets/malagen.html
3. Esen M., Uysal M. Protective effects of intravenous lipid emulsion on malathion-induced hepatotoxicity. *Bratisl Lek Listy*. 2018. Vol. 119. P. 373– 378. DOI: 10.4149/BLL_2018_069
4. Colovic M.B., Krstic D.Z., Lazarevic-Pasti T.D., Bondzic A.M., Vasic V.M. Acetylcholinesterase inhibitors: pharmacology and toxicology. *Curr Neuropharmacol*. 2013. Vol. 11(3). P. 315–335. DOI:10.2174/1570159X11311030006
5. Geng X., Shao H., Zhang Z. Malathion-induced testicular toxicity is associated with spermatogenic apoptosis and alterations in testicular enzymes and hormone levels in male *Wistar rats*. *Environ Toxicol Pharmacol*. 2015. Vol. 39. P. 659–667. DOI: 10.1016/j. etap.2015.01.010
6. Ince S., Arslan-Acaroz D., Demirel H. H. Taurine alleviates malathion induced lipid peroxidation, oxidative stress, and proinflammatory cytokine gene expressions in rats. *Biomed Pharmacother*. 2018. Vol. 96. P. 263–268. DOI: 10.1016/j.biopha.2017. 09.141
7. Боднар О. І., Сенько С. В., Осипенко І. О., Хатіб І., Касянчук Н. М., Фальфушинська Г. І. Стан систем антиоксидантного захисту та прояви цитоксичності у смугастого даніо за впливу органофосфатних гербіцидів. *Наук. зап. Тернопіл. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол*. 2020. № 3–4. С. 34–41.
8. Kumar R., Nagpure N. S., Kushwaha B., Srivastava S. K., Lakra W. S. Investigation of the genotoxicity of malathion to freshwater teleost fish *Channa punctatus* (Bloch) using the micronucleus test and comet assay. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 2009. Vol. 58(1). P. 123–130.
9. Sánchez-Santed F., Colomina M.T., Herrero Hernández E. Organophosphate pesticide exposure and neurodegeneration. *Cortex*. 2016. Vol. 74. P. 417–426. DOI: 10.1016/j.cortex.2015.10.003
10. Glyphosate Herbicide Found in Many Midwestern Streams, Antibiotics Not Common. URL: https://toxics.usgs.gov/highlights/glyphosate02.html
11. Falfushynska H., Bodnar O., Khatib I., Kovalska H., Hulyk S. Zebrafish as a suitable model for studying the mode of action and harmfulness of organophosphate pesticides. *E3S Web Conf.* 2021. Vol. 280. P 11005. DOI: 10.1051/e3sconf/202128011005
12. Aebi H. Catalase. In: Bergmayer, H.U. (Ed.), Methods of Enzymatic Analysis. Academic Press, London. 1974, P. 671–684. DOI: 10.1016/0006-2952(61)90145-9
13. Carlberg I., Mannervik B. Glutathione level in rat brain. *J Biol Chem*. 1975. Vol. 250. P. 4575.
14. Nagler J. J., Ruby S. M., Idler D. R., So Y. P. Serum phosphoprotein phosphorus and calcium levels as reproductive indicators of vitellogenin in highly vitellogenic mature female and estradiol-injected immature rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Canadian Journal of Zoology*. 1987. Vol. 65(10). P. 2421–2425. DOI: 10.1139/z87-365
15. McAvoy T., Nairn A. C. Serine/threonine protein phosphatase assays. *Protoc Mol Biol.* 2010. Vol. 18. P. 8. DOI: 10.1002/0471142727.mb1818s92
16. Ellman G. I., Courtney K. D., Andres V. jr., Featherstone R.M. A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. *Biochem Pharmacol*. 1961. Vol. 7. P. 88–95. DOI: 10.1016/0006-2952(61)90145-9
17. Lushchak V.I. Environmentally induced oxidative stress in aquatic animals. *Aquat. Toxicol*. 2011. Vol. 101. P. 13–30.
18. Reddy J.K., Hashimoto T. Peroxisomal beta-oxidation and peroxisome proliferator-activated receptor alpha: an adaptive metabolic system. *Annu Rev Nutr*. 2001 Vol. 21. P. 193–230. DOI: 10.1146/annurev.nutr.21.1.193
19. Zhang J. F., Wang X. R., Guo H. Y., Wu J. C., Xue Y. O. Effects of water-soluble fractions of diesel oil on the antioxidant defences of the goldfish *Carassius auratus*. *Ecotoxicol. Environ. Saf*. 2004. Vol. 58. P. 110–116.
20. Jha A. N. Ecotoxicological applications and significance of the comet assay. *Mutagenesis*. 2008. Vol. 23(3). P. 207–221.
21. Velisek, J., Stara, A., Kolarova, J., Svobodova, Z. Biochemical, physiological and morfological responses in common carp (*Cyprinus carpio* L.) after long-term exposure to terbutryn in real environmental concentration. *Pest. Biochem. Physiol*. 2011. Vol. 100. P. 305–313.
22. Maksymiv I. V., Husak V. V., Mosiichuk N. M., Matviishyn T.M., Sluchyk I.Y., Storey J. M., Storey K. B., Lushchak V. I. HepatotoXicity of herbicide Sencor in gold- fish may result from induction of mild oxidative stress. *Pest. Biochem. Physiol.* 2015. Vol. 122. P. 67–75.
23. Sattler M., Verma S., Shrikhande G., Byrne C.H., Pride Y.B., Winkler T., Greenfield E.A., Salgia R., Griffin J.D. The BCR/ABL tyrosine kinase induces production of reactive oxygen species in hematopoietic cells. *J Biol Chem*. 2000. Vol. 275(32). P. 24273-8. DOI: 10.1074/jbc.M002094200
24. Li H., Liu S., Hu Y., Zhao B., Sun Y., Xu D. Endosulfan promotes cell migration via PTP4A3-mediated signaling pathways in HUVECs. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2020. Vol. 192. P. 110267. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2020.110267
25. Schmitt C., McManus M., Kumar N., Awoyemi O., Crago J. Comparative analyses of the neurobehavioral, molecular, and enzymatic effects of organophosphates on embryo-larval zebrafish (*Danio rerio*). *Neurotoxicol Teratol.* 2019. Vol. 73. P. 67–75. DOI: 10.1016/j.ntt.2019.04.002

26. Karmakar S., Patra K., Jana S., Mandal D. P., Bhattacharjee S. Exposure to environmentally relevant concentrations of malathion induces significant cellular, biochemical and histological alterations in Labeo rohita. *Pestic Biochem Physiol.* 2016. Vol. 126. P. 9–57. DOI: 10.1016/j.pestbp.2015.07.006
27. Laetz C. A., Baldwin D. H., Hebert V. R., Stark J. D., Scholz N. L. Elevated temperatures increase the toxicity of pesticide mixtures to juvenile coho salmon. *Aquat Toxicol*. 2014. Vol. 146. P. 38–44. DOI: 10.1016/j.aquatox.2013.10.022
28. Guo D., Liu W., Yao T., Ma M., Wang Q., Qiu J., Qian Y. Combined endocrine disruptive toxicity of malathion and cypermethrin to gene transcription and hormones of the HPG axis of male zebrafish (*Danio rerio*). *Chemosphere*. 2021. Vol. 267. P. 128864. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.128864
29. Walker B.S., Kramer A.G., Lassiter C.S. Atrazine affects craniofacial chondrogenesis and axial skeleton mineralization in zebrafish (*Danio rerio*). *Toxicol Ind Health.* 2018. Vol. 34(5). P. 329–338. DOI: 10.1177/0748233718760419
30. Jiang J., Shi Y., Yu R., Chen L., Zhao X. Biological response of zebrafish after short-term exposure to azoxystrobin. *Chemosphere*. 2018. Vol. 202. P. 56–64. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.03.055

УДК 579.222.2:579.252.2:579.873.71
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.36

ПОШИРЕННЯ ХІТИНАЗНИХ ГЕНІВ В ГЕНОМАХ СТРЕПТОМІЦЕТІВ

Поліщук Л.В.
Інститут мікробіології і вірусології Національної академії наук України,
вул. Заболотного, 154, 03143, м. Київ
LVPolishchuk@ukr.net

Хітин – одна з найбільш поширених органічних сполук в природі. Однак не спостерігається значного його накопичення в природі. Як вважають, бактерії є головними деструкторами хітину в природі. Крім того, хітинолітичні ферменти – це можлива альтернатива застосування синтетичних пестицидів, гербіцидів, інсектицидів і фунгіцидів. Мікробні хітинази руйнують стінки клітин багатьох шкідників і патогенів, тим самим проявляють антибактеріальну, протигрибкову, інсектицидну або антигельмінтну активність. Найбільше вивчено хітинази стрептоміцетів, зокрема *Streptomyces coelicolor* A3(2). За даними літератури, в геномі штаму *S. coelicolor* A3(2) виявлено більш ніж десяток генів, які кодують хітинази. Був проведений аналіз нуклеотидних послідовностей плазмідних і хромосомних ДНК стрептоміцетів (загальнодоступна Інтернет база GenBank, сервер NCBI). Вирівнювання послідовностей проводилося із застосуванням пакета програм BLASTN (сервер NCBI). Нами визначалася поширеність в геномах стрептоміцетів послідовностей, що кодують хітинолітичні ензими та встановлено ступінь подібність їх первинних структур сиквенсам chi-генів штаму *S. coelicolor* A3(2). Такі послідовності chi-генів *S. coelicolor* A3(2) широко поширені в геномах стрептоміцетів. Однак, кількість таких послідовностей варіює в значному діапазоні: від подібності сиквенсам 11 референсних генів до подібності сиквенсу тільки 1 такого гена. Найчастіше виявляються послідовності, подібні сиквенсам певних генів з підродин GH18A (chiC, chiD) та GH18B (chiA, chiB). Показано, що ступінь схожості первинних структур обов'язкових генів (на прикладі 16S рРНК) корелює зі ступенем подібності додаткових генів (хітиназні гени). Показана можливість застосування аналізу послідовностей chi-генів для класифікації стрептоміцетів (на ряду з традиційними генетичними та фенотиповими характеристиками). Виявлено, що штами стрептоміцетів, які є найперспективнішими джерелами хітинолітичних ензимів, є членами *S. albidoflavus* групи. *Ключові слова:* хітиназа, стрептоміцет, chi-ген, показники ідентичності.

Prevalence of chitinase genes in streptomycetes genomes. Polishchuk L.
Chitin is one of the most common organic compounds in nature. However, there is no significant accumulation of it in nature. Bacteria are thought to be the main destructors of chitin in the environment. In addition, chitinolytic enzymes are a possible alternative to the use of synthetic pesticides, herbicides, insecticides and fungicides. Microbial chitinases destroy the cell walls of many pests and pathogens, thereby exhibiting antibacterial, antifungal, insecticidal or anthelmintic activity. Streptomycete chitinases, in particular *Streptomyces coelicolor* A3(2), have been studied the most. According to the literature, in the genome of the strain *S. coelicolor* A3(2) more than a dozen genes that encode chitinasis was found. An analysis of nucleotide sequences of plasmid and chromosomal DNAs of streptomycetes (publicly available Internet base GenBank, NCBI server) was carried out. The sequences were aligned using BLASTN (NCBI server). We determined prevalence in streptomycetes genomes of sequences encoding chitinolytic enzymes and established degree of similarity of their primary structures to the *S. coelicolor* A3(2) chi-genes. Sequences similar to those of *S. coelicolor* A3(2) chi-genes are widespread in streptomycete genomes. However, the number of such sequences varies in significant range: from the similarity of 11 studied genes to the similarity of the syquevens of 1 gene. Most often, sequences similar to the sequences of certain genes from the subfamily GH18A (chiC, chiD) and GH18B (chiA, chiB) are found. It is shown that degree of similarity of primary structures of obligatory genes (for example, 16S rRNA) correlates with degree of similarity of additional genes (chitinase genes). The possibility of using the analysis of chi-gene sequences for classification of streptomycetes (along with traditsial genetic and phenotypic characteristics) is shown. Strains of streptomycetes, which are the most promising sources of chitinolytic enzymes, have been found to be members of the *S. albidoflavus* group. *Key words:* chicinase, streptomycetes, chi-gene, degree of identity.

Постановка проблеми. Хітин є однією з найпоширеніших органічних сполук в природі. Він синтезується організмами разючими темпами – приблизно по 10^{10}–10^{11} тон на рік. Однак не спостерігається кількісно значущого довгострокового накопичення хітину в природі, що є наслідком його ефективної деградації. Ензими, що ферментують хітин виявляються у різноманітних організмів, таких як гриби, бактерії, ракоподібні, комахи, деякі водорості, а також у рослин та в травних трактах вищих тварин [1]. Як вважають, бактерії є основними виконавцями деградації хітину в природі – показано, що у грунтових системах активність гідролізу хітинів корелюють з чисельністю бактерій [1,2]. Головною проблемою, яка вирішувалася при проведенні представленої роботи було визначення поширеності в хромосомах стрептоміцетів послідовностей, що кодують хітинолітичні ензими.

Актуальність досліджень. Мікробні хітинази руйнують стінки клітин багатьох шкідників і патогенів, тим самим проявляють антибактеріальну, протигрибкову, інсектицидну або антигельмінтну активність [3]. Хітинолітичні ферменти – це можливе рішення подолання небезпеки для екології й здоров'я людей, що є результатом застосування синтетичних пестицидів, гербіцидів, інсектицидів

і фунгіцидів [4]. Зокрема очищені хітинази *S. rimosus* та *S. viridificans* проявляли протигрибкові властивості in vitro проти *Fusarium solani*, *Alternaria alternata* та *Rhizoctonia* , *Colletotrichum, Aspergillus, Fusarium, Sclerotinia, Curvularia*, *Pythium* [5, 6].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Встановлено, що понад половина геномів бактерій (57%), у яких було виявлено хітинази, є геномами актинобактерій [7]. Хітинолітична активність виявлена у представників багатьох видів стрептоміцетів *S. lividans*, *S. thermoviolaceus* and *S. coelicolor*, *S. rimosus, S. cavourensis, S. Hygroscopicus*, *S. viridodi asticus, S. viridificans, S. roseolus* [6, 8–12]. Найбільш вивченими є хітинази штаму *S. coelicolor* A3(2) [12]. За даними літератури, у штаму *S. coelicolor* A3(2) виявлено більш ніж десяток генів, які кодують хітинази. Метою нашої роботи було визначити поширеність в геномах стрептоміцетів послідовностей, що кодують хітинази та встановити їх подібність сиквенсам chi-генів *S. coelicolor* A3(2).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Хітинолітичні ферменти належать до різних підродин 2 родин глікозил гідролаз і відрізняються не тільки амінокислотною послідовністю, але й третинною структурою. Оскільки ферменти з родин GH18 і GH19 не мають схожості амінокислотних послідовностей, 3D-структур або механізмів дії, вважають що вони еволюціонували незалежно [13]. На основі аналізу первинних структур, хітинази родини GH19 в актинобактеріях подібні хітиназам IV класу GH рослин. Як вважають, вони виникли як рослинні хітинази і бактерії отримали їх в наслідок горизонтальної передачі генів [14]. Повідомляється, що низка актиноміцетів містять хітинази з родини GH19 [15], часто в поєднанні з хітиназами, що віднесені до родини GH18. Встановлено, що початково предок *Streptomycineae* отримав хітиназу від рослин, а у надалі став джерелом генів для інших актинобактерій [15]. Однак хітинолітичні ензими представників роду *Streptomyces* вивчені найбільше. Було встановлено, що ряд chi-генів *Streptomyces* утворилися в наслідок дуплікації. Так доведено, що пари генів як chiA та chiB, так і chiC та chiD штаму *S. coelicolor* A3(2) мали спільних попередників [16].

Новизна. Визначалася поширеність в геномах стрептоміцетів послідовностей, що кодують хітинолітичні ензими та визначена подібність їх первинних структур chi-генам штаму *S. coelicolor* A3(2). Показано, що сиквенси хітиназних генів стрептоміцетів можуть бути корисними в класифікації мікроорганізмів додатково до генетичних та фенотипових характеристик, що вже використовуються.

Методологічне або загальнонаукове значення. В результаті аналізу отриманих даних було виявлено ряд тенденцій, що мають загальнонаукове значення. Показано, що послідовності, що подібні сиквенсам хітинолітичних генів *S. coelicolor* A3(2) широко поширені в геномах стрептоміцетів. Показано, що подібність первинних структур обов'язкових генів (на прикладі 16S рРНК) корелює з подібністю додаткових генів (хітиназні гени, кластери crt-генів).

Викладення основного матеріалу. В роботі користувалися загально доступними Інтернет базами даних сервера NCBI: «Nucleotide collection» [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/]. Був проведений аналіз частини бази «Nucleotide collection», що містить інформацію про нуклеотидну будову ДНК стрептоміцетів (taxid:1883). Вирівнювання послідовностей проводилося із застосуванням пакета програм BLAST з цього ж сервера [http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi].

В якості референсних сиквенсів у BLASTN-аналізі використовували нуклеотидні послідовності 11 хітиназних генів *S. coelicolor* A3(2): GH18A – SCO5376 (chiC), SCO1429 (chiD), SCO5954 (chiE), SCO1444 (chiI); GH18C – SCO6012 (chiH), SCO5954 (chiE), GH18B – SCO5003 (chiA), SCO5673 (chiB), SCO2503 (chiJ); GH19 – SCO7263 (chiF), SCO0482 (chiG).

Проведений BLASTN-аналіз нуклеотидних послідовностей стрептоміцетів в базах даних GenBank виявив значну поширеність сиквенсів, подібних сиквенсам 11 хітиназних генів *S. coelicolor* A3(2). Загалом було виявлено такі послідовності у понад 300 штамів стрептоміцетів. У вибірці були представлені як повні сиквенси хромосом, так і фрагменти послідовностей генів. Так при використанні в якості референсного сиквенсу сумарної послідовності 11 хітиназних генів було виявлено 542 послідовності (hits) 377 стрептоміцетів, однак ми брали до уваги тільки результати аналізу повністю визначених первинних структур хромосом. Майже половина стрептоміцетів (48,7%) з вибірки не визначена до виду. Частина видів стрептоміцетів з них (8.8%) належала до 5 клад (*S. violaceusniger, S. griseus, S. albidoflavus, S. rochei, S. aurantiacus*),

Було встановлено, що в хромосомах тільки незначної кількості (2,8%) стрептоміцетів присутні послідовності, подібні сиквенсам усіх 11 референсних chi-генів – наприклад *S. lividans* TK23, *Streptomyces sp.* V 17-9 та кількох інших (рис. 1). На рис. 1 наведено результати BLASTN-аналізу баз даних GenBank з використанням в якості референсної послідовності (Query Sequence) послідовності 11 chi-генів *S. coelicolor* A3(2). В хромосомах ряду штамів представлені послідовності, подібні одному певному гену – наприклад штами *Streptomyces* sp. SCSIO 3032, *Streptomyces sp.* SCSIO 64649, *Streptomyces* sp. ST1015 містять послідовності зі значними показниками подібності до chiG, chiA, chiF генів *S. coelicolor* A3(2) відповідно. Встановлено, що найбільш поширеними є послідовності, що подібні сиквенсам генів, які кодують ферменти з субродин хітиназ GH18A (ChiC, ChiD) чи GH18B (ChiA, ChiB). Найрідше виявляються гени, що кодують ензими з субродини GH18 (ChiH, ChiK) та субродини GH18A (ChiE). Як

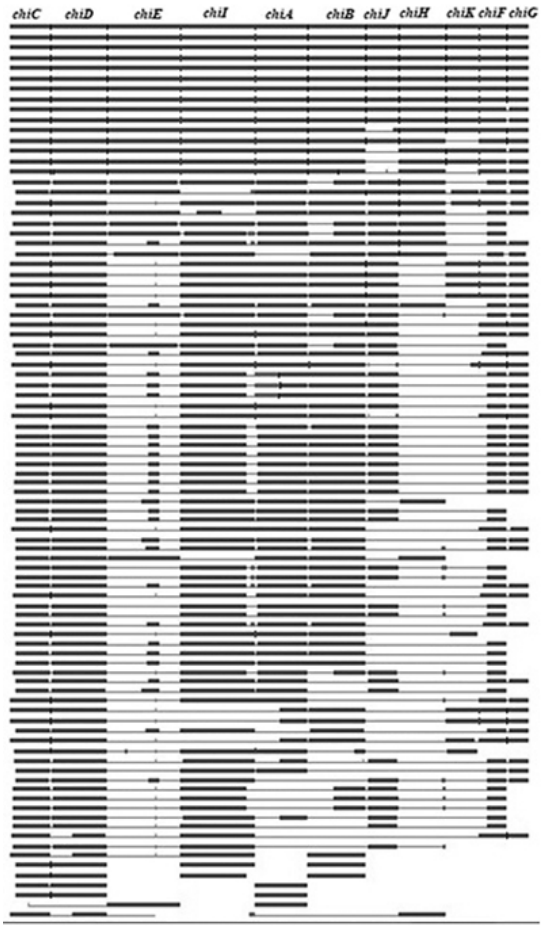


Рис. 1. Присутність в геномах стрептоміцетів послідовностей, які подібні сиквенсам chi-генів S. coelicolor A3(2) (верхня лінія Query Sequence)

встановлено BLASTN-аналізом (megablast) послідовності, подібні за структурою сиквенсам референсних chiH, chiK і chiE генів зустрічаються відповідно у 21,6%, 11,8% і 22,8% геномів стрептоміцетів. В той час, як послідовності, подібні сиквенсу генів chiD чи chiA присутні майже у всіх стрептоміцетів сукупності (відповідно у 96,5% та 92,2%).

Встановлено, що хітиназні гени у стрептоміцетів мають як хромосомну, так і плазмідну локалізацію. На приклад в геномах *S. cattleya* DSM 46488 та *S. cattleya* NRRL 8057 представлені хітиназні гени, які локалізовані, як на хромосомах, так і на плазмідах. Так в геномі *S. cattleya* NRRL 8057 виявлені хромосомні гени SCAT_3874, SCAT_0301, SCAT_5639/5640 та плазмідний SCAT_p0279 (pSCAT), що подібні референсним генам *S. coelicolor* A3(2) chiA, chiH, chiE, chiJ відповідно. В плазмідах виявлено послідовності як одного певного гена – наприклад гену chiJ на плазміді p3 штама *Streptomyces sp.* SAT1 чи гену chiI на плазміді pF1D35B штаму *S. clavuligerus* F1D35. В первинній структурі плазміди p1 (*Streptomyces sp.* BHT-5-2) містить послідовності, що подібні 5 референсним генам (chiC, chiD, chJ, chiF, chiG).

Необхідно зазначити, що певні штами містили тільки один з 2 ферментів з GH18C субгрупи: наприклад у штамів *Streptomyces sp.* CB09001, *Streptomyces sp.* SYP-A7193, *Streptomyces sp* WAC8241, *S. venezuela* ATCC14584 та ряду інших були виявлені послідовності, подібні chiH, а у штамів *Streptomyces sp.* WAC06273, *Streptomyces sp.* SGAir0924, *Streptomyces sp.* SS52, *Streptomyces sp.*A144 та ряду інших були виявлені тільки послідовності, подібні chiK. Показано, що у значної кількості (46,1%) штамів не виявлено послідовності, подібні жодному з цих генів.

Як повідомлено вище, тільки геноми 7 штамів (*S. coelicolor M1154, S. coelicolor JCM 4020, S. lividans* TK23, *S. lividans* TK24, *Streptomyces sp.* V17-9, *Streptomyces sp.* 2114.2, *Streptomyces sp.* BSE6.1) містили послідовності, подібні референсним сіквенсам всім 11 хітиназних генів *S. coelicolor* A3(2) (табл. 1). В таблиці представлені показники подібності сиквесів: ідентичність (I – Identyti), розмір ідентичних ділянок (Qc – Query cover). Зірочкою (*) відмічено членів *S. albidoflavus* клади.

Ми вважали важливим проаналізувати генетичну спорідненість цих стрептоміцетів. Штами *S. coelicolor M1154 S. coelicolor* JCM 4020, як і *S. coelicolor A3(2)* є членами *S. albidoflavus* групи. Також повідомлено про близьку генетичну спорідненість стрептоміцетів видів *S. coelicolor* та *S. lividans* [15]. У базі даних Taxonomy на сервері NCBI до *S. albidoflavus* клади (taxid :1477431), крім виду *S. coelicolor*, відносять ще 7 видів (*S. albidoflavus, S. canescens, S. champavatii, S. felleu, S. limosus, S. odorifer, S. sampsonii)*. Було вирішено, з іншого боку, дослідити встановити поширеність хітиназних генів в геномах інших стрептоміцетів цієї ж клади та подібність їх організації (табл. 1). Загалом в базах даних представлено сиквенси 64 штами цієї клади, однак первинна структура хромосомних ДНК тільки 10 штамів.

Відомо, що ідентичність сиквенсів 16S рРНК у штамів, що належать до однієї клади не нижче 98,7%. Найменші показники подібності сиквенсів 16S рРНК штамів *Streptomyces sp.* BSE6.1 та *Streptomyces sp.* V17-9 і референсної *S. coelicolor* A3(2) становлять понад 98,8% (табл. 1).

На базі отриманих результатів подібності первинних структур 16S рРНК генів штамів стрептоміцетів до сиквенсу 16S рРНК гену *S. coelicolor* A3(2) (таблиці 1) побудовано дендрограму спорідненості штамів стрептоміцетів (рис. 2).

Встановлено, що показники покриття послідовностей геномів 7 штамів з клади значно відрізняються від показників інших штамів (табл. 2). Позначення показників подібноості сиквесів в таблиці 2 ті ж, що і в таблиці 1. Крім тог,о в таблиці 2 відмічено у яких штамів послідовностей не виявлено (Н) чи виявлено окремі фрагменти послідовності, що подібні референсному гену (Ф).

Було проведено визначення показників подібності первинних структур хромосом ряду стрептоміцетів

Таблиця **1**

Подібність референсним сиквенсам *S. coelicolor* A3(2) послідовностей хромосом ряда стрептоміцетів з сукупності

Штами стрептоміцетів	Показники ідентичності послідовностей ДНК стрептоміцетів та референсних сиквенсів	
	сумарний сиквенс 11 chi-генів	16S рРНК
S. coelicolor M1154 *	Qc=100%, I=100%	Qc=100%, I=100%
S. coelicolor JCM 4020 *	Qc=100%, I=99,33%	Qc=100%, I=99,93%
S. lividans TK23 *	Qc=100%, I=99,50%	Qc=100%, I=99,93%
S. lividans TK24 *	Qc=100%, I=99,50%	Qc=100%, I=99,93%
Streptomyces sp. V17-9	Qc=99%, I=95.31%	Qc=100%, I=98,83%
Streptomyces sp. 2114.2	Qc=100%, I=99,50%	Qc=100%, I=99,93%
Streptomyces sp. BSE6.1	Qc=99%, I=95.04%	Qc=99%, I=98,88%
S. albidoflavus W68 *	Qc=50%, I=84,04%	Qc=98%, I=97,25%
S. albidoflavus UYFA156 *	Qc=50%, I=84,32%	Qc=99%, I=97,27%
S. albidoflavus J1074 *	Qc=48%, I=84,09%	Qc=99%, I=97,28%
S. albidoflavus LGO_A16 *	Qc=49%, I=83,82%	Qc=99%, I=97,28%
S. sampsonii KJ140 *	Qc=48%, I=83,99%	Qc=99%, I=97,34%
S. albidoflavus LGO_A23 *	Qc=49%, I=97,28%	Qc=99%, I=97,28%
S. albidoflavus SM254 *	Qc=49%, I=83,82%	Qc=99%, I=97,28%

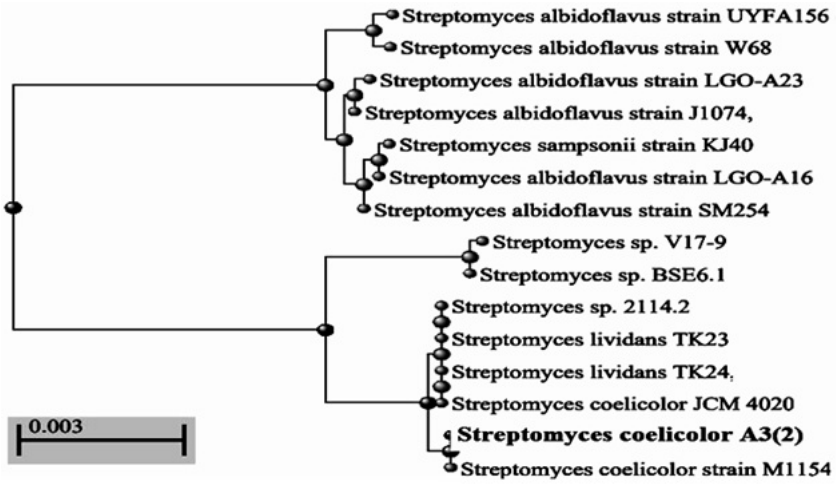


Рис. 2. Дендрограма спорідненості первинних структур 16S рРНК генів штамів стрептоміцетів. Сиквенс 16S рРНК S. coelicolor A3(2) – Query Sequence

(як традиційних представників групи, так і вірогідних) сиквенсам 5 референсним генів *S. coelicolor* A3(2), що кодують хітинази, які належать до різних субродин глікозид гідрогеназ (табл. 2).

Було побудовано дендрограми спорідненості штамів, що базуються на подібності структур chi-генів, які детерміную хітинази штаму *S. coelicolor* A3(2). На Рис. 3 представлено дендрограми сукупності з 14 штамів, що зображено подібність chiA і chiD. Спостерігали, що штами утворюють аналогічні кластери в дендрограмах інших генів (chiC, chiB, chiG, chiF).

Проведено дослідження генетичної спорідненості цих стрептоміцетів. Показники ідентичності сиквенсів 16S рРНК штамів *Streptomyces sp.* BSE6.1 та *Streptomyces sp.* V17-9 і референсної *S. coelicolor* A3(2) дозволяють вважати, що досліджені штами є генетично спорідненими і можуть належати до однієї клади з *S. coelicolor* A3(2) (*S. albidoflavus* групи).

Завдяки проведеному BLASTN-аналізу послідовностей 9 стрептоміцетів з *S. albidoflavus* клади встановлено, що геноми штамів клади відрізняються по наявності в них послідовностей, подібних сиквенсам chi-генів *S. coelicolor* A3(2) (Рис. 3). Показано, що первинні структури локусів chi-генів хромосом стрептоміцетів видів *S. albidoflavus* (6 штамів) та *S. sampsonii* (1 штам) мають значно меншу подібність (а саме позники покриття Query cover) сиквенсам референсних хітиназних генів *S. coelicolor* A3(2) так, як містять послідовності, що подібні сиквенсам тільки 7 з 11 референсних chi-генів.

Таблиця 2

Подібність нуклеотидних послідовностей ряда стрептоміцетів сиквенсам кількох референсним генів *S. coelicolor* A3(2)

Штами Streptomyces	Показники ідентичності послідовностей ДНК 14 стрептоміцетів сиквенсам референсним chi генів				
	chiC	chiE	chiA	chiK	chiG
S. coelicolor M1154	Qc=100% I=100%	Qc=100% I=100%	Qc=100% I=100%	Qc=100% I=100%	Qc=100% I=100%
S. coelicolor JCM 4020	Qc=100% I=99,89%	Qc=100% I=99,39%	Qc=100% I= 99.13%	Qc=100% I= 99.50%	Qc=100% I=99,93%
S. lividans TK23	Qc=100% I=99,84%	Qc=100% I=99,83%	Qc=100% I= 99.48%	Qc=100% I= 99.00%	Qc=100% I=100
S. lividans TK24	Qc=100% I=99,84%	Qc=100% I=99,83%	Qc=100% I= 99.48%	Qc=100% I= 99.00%	Qc=100% I=100%
Streptomyces sp. V17-9	Qc=99% I=97,32%	Qc=100% I=94.01%	Qc=100% I= 94.18%	Qc=100% I= 88.68%	Qc=82% I= 86.96%
Streptomyces sp. 2114.2	Qc=100% I=99,95%	Qc=100% I=99,52%	Qc=100% I= 99.53%	Qc=100% I= 99.00%	Qc=100% I=100%
Streptomyces sp. BSE6.1	Qc=99% I=97,10%	Qc=100% I=93.87%	Qc=99% I= 94.31%	Qc=100% I= 88.78%	Qc=82% I=87.13%
S. albidoflavus W68	Qc=97% I=84.82%	Ф	Qc=51% I= 80.66%	Н	Qc=79% I=100%
S. albidoflavus UYFA156	Qc=97% I=99.95%	Ф	Qc=51% I= 80.54%	Н	Qc=82%, I= 82.96%
S. albidoflavus J1074	Qc=97% I=84.65%	Ф	Qc=51% I= 80.32%	Н	Qc=55% I= 81.71%
S. albidoflavus LGO_A16	Qc=97% I=84.49%	Ф	Qc=51% I= 80.43%	Н	Qc=75% I= 83.45%
S. sampsonii KJ140	Qc=97% I= 84.65%	Ф	Qc=51% I= 80.43%	Н	Qc=75% I= 83.63%
S. albidoflavus LGO_A23	Qc=97% I=84.49%	Ф	Qc=51% I= 80.43%	Н	Qc=75, I= 83.45%
S. albidoflavus SM254	Qc=97% I=84.54%	Ф	Qc=50% I= 80.41%	Н	Qc=79%, I= 82.71%

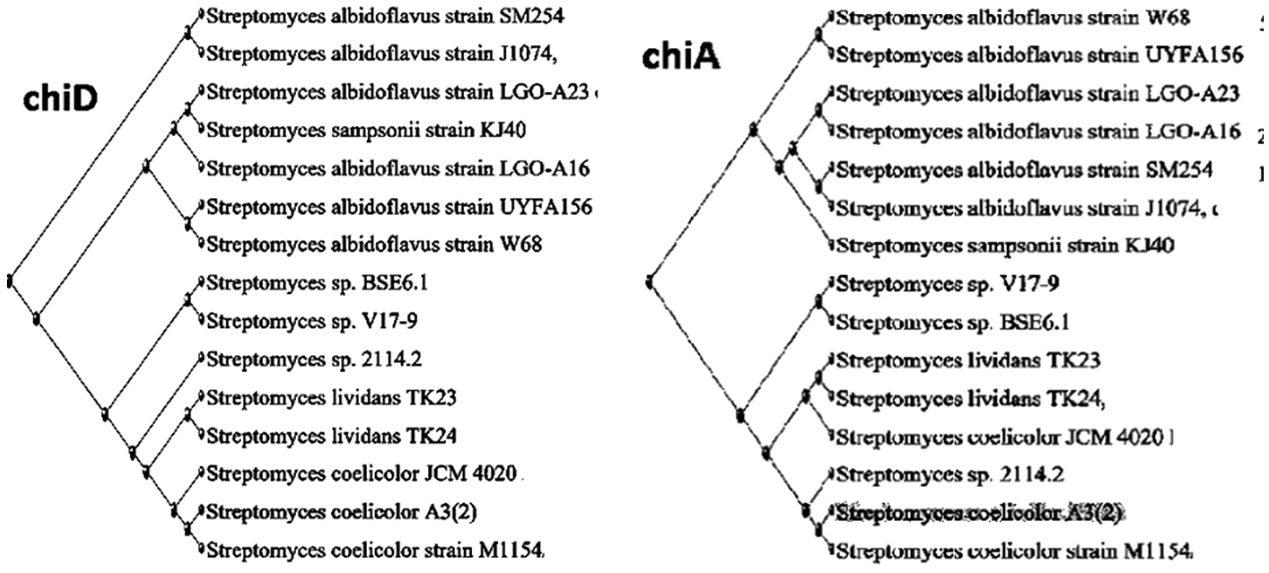


Рис. 3. Дендрограми спорідненості штамів стрептоміцетів, які базуються на подібності первинних структур хітинолітичних генів/ Сиквенси chi-генів S. coelicolor A3(2) – Query Sequence

Виявлено, що показники ідентичності сіквенсів 16S рРНК генів стрептоміцетів з видів *S. albidoflavus* (6 штамів) та *S. sampsonii* (1 штам) і 16S рРНК *S. coelicolor* A3(2) нижчий від 97,4% (таблиця 2б, рис. 2). Вказані вище штами також утворюють окрему гілку дендрограм подібності хітиназних генів (рис. 3).

Головні висновки. Послідовності, що подібні сиквенсам 11 chi-генів *S. coelicolor* A3(2) широко поширені в геномах стрептоміцетів. Такі послідовності мають як хромосомну, так і плазмідну локалізацію. Однак, в геномах штамів кількість послідовностей, що подібні сиквенсам референсних chi-генів варіює в значному діапазоні: від подібності сиквенсам 11 досліджених генів до подібності сиквенсу 1 гена. В геномах стрептоміцетів найчастіше виявляються послідовності, подібні сиквенсам кількох генів з підродин GH18A (chiC, chiD) та GH18B (chiA, chiB). Показано, що зміни в первинній структурі обов'язкових генів (на прикладі 16S рРНК) корелює з відмінностями в додаткових генах (хітиназні гени, кластери crt-генів).

Перспективи використання результатів дослідження. Показано можливість використання аналізу послідовностей chi-генів для класифікації стрептоміцетів (на ряду з традиційними генетичними та фенотиповими характеристиками) завдяки виявленню кореляції змін сиквенсів обов'язкових та додаткових генів. Виявлено, що штами стрептоміцетів, які є найперспективнішими джерелами хітинолітичних ензимів є членами *S. albidoflavus* групи.

Література

1. Veliz E.A, Martínez-Hidalgo P. , Hirsch A.M. Chitinase-producing bacteria and their role in biocontrol. *AIMS Microbiology*. 2017. Vol 3, № 3. P. 689–705. DOI: 10.3934/microbiol.2017.3.689
2. Kielak A. M., Cretoiu M. S., Semenov A. V., Sorensen S. J., van Elsas J. D. Bacterial chitinolytic communities respond to chitin and pH alteration in soil. *Applied and Environmental Microbiology*. 2013. Vol 79, № 1. P. 263–272. DOI: 10.1128/AEM.02546-12
3. Edreva A. Pathogenesis-related proteins: research progress in the last 15 years. *General and Applied Plant Physiology*. 2005. Vol. 31. № 1–2. P. 105–124.
4. Esteban A. Veliz E.V, Martínez-Hidalgo P., Hirsch A.M. Chitinase-producing bacteria and their role in biocontrol. *AIMS Microbiology*. 2017, Vol. 3, № 3. P. 689–705. DOI: 10.3934/microbiol.2017.3.689
5. Brzezinska MS, Jankiewicz U, Walczak M. Biodegradation of chitinous substances and chitinase production by the soil actinomycete Streptomyces rimosus International Biodeterioration and Biodegradation. 2013. № 84. P. 104–110. http//doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.05.038
6. Gupta R., Saxena R.K., Chaturvedi P., Virdi J.S. Chitinase production by *Streptomyces viridificans: its potential in fungal cell wall lysis. The Journal of applied bacteriology.* 1995. Vol. 78. № 4. P. 378–383. doi: 10.1111/j.1365-2672.1995.tb03421.x
7. Barka E.A., Vatsa P., Sanchez L., Gaveau-Vaillant N., Jacquard C., Meier-Kolthoff J.P., Klenk H.P., Clément C., Ouhdouch Y., van Wezel G.P. Taxonomy, physiology, and natural products of actinobacteria. *Microbiology and Molecular Biology Reviews.* 2016. Vol. 80. № 1. P. 1–43. doi: 10.1128/MMBR.00019-15
8. Saito A, Fujii T, Yoneyama T, Miyashita K. glkA is involved in glucose repression of chitinase production in *Streptomyces lividans. The Journal of bacteriology*. 1998. № 180. № 11. P. 2911–2914. doi: 10.1128/JB.180.11.2911-2914.1998
9. Xiayun J., Chen D., Shenle H. Identification, characterization and functional analysis of a GH-18 chitinase from *Streptomyces roseolus. Carbohydrate polymers.* 2012. № 87. № 4. P. 2409–2415. doi:10.1016/j.carbpol.2011.11.008
10. Brzezinska MS, Jankiewicz U, Walczak M. Biodegradation of chitinous substances and chitinase production by the soil actinomycete *Streptomyces rimosus. International Biodeterioration and Biodegradation.* 2013. Vol. 84. P. 104–110. https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.05.038
11. Lee S.Y., Tindwa H., Lee Y.S., Naing K.W., Hong S.H., Nam Y., Kim K.Y Biocontrol of anthracnose in pepper using chitinase, beta-1, 3 glucanase, and 2-furancarboxaldehyde produced by *Streptomyces cavourensis* SY224. *The Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2012. Vol. 22. № 10. P. 1359–1366. doi: 10.4014/jmb.1203.02056
12. Kawase T, Yokokawa S, Saito A, Fujii T., Nikaidou N., Miyashita K., Watanabe T. Comparison of enzymatic and antifungal properties between family 18 and 19 chitinases from S. *coelicolor* A3(2). *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 2006. Vol. 70. № 4. P. 988–998. doi: 10.1271/bbb.70.988
13. Dahiya N.., Tewari R., Hoondal G.S. Biotechnological aspects of chitinolytic enzymes: a review. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2006. Vol. 71. № 6. P. 773–782. doi: 10.1007/s00253-005-0183-7
14. Prakash N.A.U., Jayanthi M., Sabarinathan R., Sabarinathan R., Kangueane P., Mathew L., Sekar K. Evolution, homology conservation, and identification of unique sequence signatures in GH19 family chitinases. *Journal of Molecular Evolution*. 2010. Vol. 70. № 5. P. 466–478. DOI: 10.1007/s00239-010-9345-z
15. Monson A.M., Bradley S.G., Enquist L.W., Cruces G..J. Genetic homologies among *Streptomyces violaceoruber strains*. Bacteriology. 1969. Vol. 99, № 3. P. 702–706. DOI: 10.1128/jb.99.3.702-706.1969
16. Saito A., Fujii T., Miyashita K. Distribution and evolution of chitinase genes in Streptomyces species: involvement of gene-duplication and domain-deletion. *Antonie van Leeuwenhoek* 2003. Vol. 84. No 7. P. 7–16. https://doi.org/10.1023/A:1024463113606

УДК 633.11:581.54:631.559
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.37

МОДИФІКАЦІЯ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ФОТОПЕРІОДИЧНОЇ ЧУТЛИВОСТІ СОРТІВ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ В УМОВАХ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Юрченко Т.В., Демидов О.А., Пикало С.В., Булавка Н.В., Пірич А.В., Гудзенко В.М.
Миронівський інститут пшениці імені В.М. Ремесла НААН України
с. Центральне, 08853, Миронівський р-н, Київська обл.
pykserg@ukr.net

Пшениця озима – основна продовольча зернова культура. Глобальні кліматичні зміни, що спостерігаються протягом останніх десятиліть, значною мірою впливають на валові збори цієї культури. Фотоперіодична чутливість є однією з найважливіших господарсько-цінних ознак, що визначає адаптивність рослин пшениці озимої до умов навколишнього середовища. Для визначення чутливості до фотоперіоду існує багато методів, заснованих на різних принципах дії. Переважна їхня більшість не є нині оптимальними, внаслідок чого актуальним залишається завдання створення нових і вдосконалення вже наявних методів визначення фотоперіодичної чутливості селекційного матеріалу пшениці озимої. У представленій роботі наведено порівняльну характеристику різних способів, кожен з яких має свої переваги та недоліки. Модифіковано та удосконалено метод визначення фотоперіодичної чутливості сортів пшениці м'якої озимої в умовах Центрального Лісостепу України, що базується на вивченні реакції рослин на тривалість світлового дня. Запропонований спосіб охороняється патентом на корисну модель. Новим є те, що чутливість до фотоперіоду окремих генотипів визначають за різницею в кількості діб до колосіння між природною та штучно скороченою (12 год) тривалістю світлового дня. Суть методу полягає в тому, що він проводиться на відкритому майданчику за природних умов, що дає можливість здійснювати порівняльну оцінку між варіантами досліду, наближених до польових. Переваги цього методу над іншими полягають у економії електроенергії (не використовується електроосвітлення) та можливості аналізувати селекційний матеріал за наявності невеликої кількості насіннєвого матеріалу. Використання даного способу в селекції пшениці м'якої озимої сприятиме ефективному добору батьківських компонентів для схрещування та створенню сортів пшениці з підвищеними адаптивними властивостями. Запропонований метод надасть можливість повніше реалізувати закладений селекціонерами потенціал продуктивності досліджуваних сортів, що сприятиме їх ефективнішому використанню як у рослинництві, так і в селекційній практиці. *Ключові слова:* пшениця м'яка озима, метод, фотоперіодична чутливість, адаптивність.

Modification of the method for determining the photoperiodic sensitivity of bread winter wheat varieties under the conditions of the Central Forest-Steppe of Ukraine. Yurchenko T., Demydov O., Pykalo S., Bulavka N., Pirych A., Hudzenko V.

Winter wheat is the main food grain crop. The global climatic changes observed in recent decades have a significant impact on the gross harvest of this crop. Photoperiod sensitivity is one of the most important economically valuable traits that determines the adaptability of winter wheat plants to environmental conditions. To determine the sensitivity to photoperiod, there are many methods based on different principles of action. The vast majority of them are not optimal today, as a result of which the task of creating new and improving existing methods for determining the photoperiodic sensitivity of winter wheat breeding material remains relevant. This paper presents a comparative description of various methods, each of which has its own advantages and disadvantages. The method for determining the photoperiodic sensitivity of bread winter wheat varieties in the conditions of the Central Forest-Steppe of Ukraine, based on the study of the response of plants to the length of daylight hours, has been modified and improved. The proposed method is protected by a utility model patent. It is a novelty that the sensitivity to the photoperiod of individual genotypes is determined by the difference in the number of days before heading between the natural and artificially reduced (12 hours) daylight hours. The essence of the method lies in the fact that it is carried out in an open area under natural conditions, which allows for a comparative assessment between the variants of the experiment, close to the field. The advantages of this method over others are energy savings (electric lighting is not used) and the possibility of analyzing breeding material in the presence of a small amount of seed material. The use of this method in the breeding of bread winter wheat will contribute to the effective selection of parental components for crossing and the creation of wheat varieties with improved adaptive properties. The proposed method will make it possible to more fully realize the productivity potential of the studied varieties laid down by breeders, which will contribute to their more efficient use both in crop production and in breeding practice. *Key words:* bread winter wheat, method, photoperiodic sensitivity, adaptability.

Постановка проблеми. Пшениця м'яка – одна з найцінніших продовольчих культур у світі, продуктивність якої залежить від реалізації генетично закладених властивостей, а також впливу умов навколишнього середовища, що діють на кожному етапі онтогенезу. У виробництві перевага надається пшениці озимій, оскільки вона швидше звільняє поле, а тому дає більше часу для підготовки поля під посів наступної культури [2; 3]. Окрім того, озима пшениця, порівняно з ярою, володіє вищим продуктивним потенціалом.

Дуже важливим циркадним ритмом рослин є фотоперіодизм – реакція рослин на тривалість світлового дня (фотоперіод), від чого залежить термін їх зацвітання. Відомо, що «довгоденні» рослини зацвітають за довготривалого світлового дня, а «короткоденні» – за умов короткого світлового періоду доби. Також існують так звані «нейтральні» рослини, які

зовсім не виявляють залежності від фотоперіоду. Варіабельність фотоперіодичної відповіді у різних рослин забезпечує їх адаптацію до різних умов середовища [4].

Пшениця озима є культурою довгого світлового дня. Її властивість затримувати розвиток при скороченні світлового дня восени є важливим адаптаційним механізмом, який забезпечує виживання рослин за впливу на них стресових факторів у ході зимівлі.

Актуальність дослідження. Глобальні кліматичні зміни, що спостерігаються протягом останніх десятиліть, значною мірою впливають на валові збори пшениці озимої. З огляду на нестабільні погодні умови необхідно підвищувати стійкість рослин до біотичних та абіотичних чинників довкілля [5]. Фотоперіодизм розглядають як реакцію живих організмів на періодичні, сезонні коливання тривалості світлового періоду доби. Зміна тривалості світлового дня є для організму сигналом, що повідомляє про зміни цілого комплексу екологічних чинників в ході зміни сезонів року [4]. Реакція рослин на фотоперіод проявляється у прискоренні або уповільненні їх росту та розвитку залежно від комплексу сезонних кліматичних умов певного регіону [6]. Фотоперіодична чутливість у рослин виникає в процесі еволюції як генетично детермінована адаптивна реакція на кліматичні умови конкретного регіону, слугуючи таким чином прикладом регіональної адаптації [4]. Тому з упевненістю можна констатувати, що фотоперіодична чутливість є однією з найважливіших господарсько-цінних ознак, що визначає адаптивність рослин пшениці озимої до умов навколишнього середовища.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Представлені матеріали є частиною таких науково-дослідних робіт: «Вивчити генетичні та фізіологічні складники формування адаптивного потенціалу зернових і виділити на цій основі донори морозостійкості та посухостійкості для використання в селекції озимої м'якої пшениці» (номер державної реєстрації № 0116U004005); «Особливості формування ознак і властивостей зернових культур, які визначають стійкість до абіотичних стресових чинників, в умовах Лісостепу України з використанням біотехнологічних та фізіолого-генетичних мето-дів» (№ 0121U100435).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Фотоперіодизм – це здатність рослин переходити до цвітіння тільки за певного співвідношення тривалості темного і світлого періодів доби. Він виражається у зміні процесів росту і розвитку, що забезпечують адаптацію конкретного виду рослин до сезонних особливостей кліматичних умов у певній місцевості [7].

Фотоперіодична чутливість відіграє важливу роль у визначенні відмінностей за адаптивністю і продуктивністю у багатьох регіонах вирощування пшениці [8]. Неодноразово вітчизняні науковці акцентували на важливості оцінки сортів за показником фотоперіодичної чутливості, оскільки він впливає на темпи розвитку рослин, а отже і на адаптивність сортів [9]. Чим більше виражена у генотипу фотоперіодична реакція до дії короткого дня, тим більшу тривалість часу він зберігає стійкість до дії відлиг і підтримує високий рівень морозостійкості [10].

Від чутливості рослин до тривалості дня залежать процеси подовження стебла і строки розвитку суцвіття, але сам момент переходу від вегетативної до генеративної фази визначається тим, наскільки задовільнена потреба рослин в яровизації [11; 12]. Розбіжність за фотоперіодичною реакцією починає виявлятися вже протягом II етапу органогенезу [13]. Скорочення фотоперіоду може позначатися на тривалості проходження VI і VII етапів органогенезу [14].

Встановлено, що високий рівень адаптивності до різних стресових чинників зимового періоду проявляють генотипи, які восени мають слабку диференціацію точки росту рослин, а відновлення весняної вегетації розпочинають пізніше [15]. Тобто, це сорти з високою фотоперіодичною чутливістю та, переважно, тривалим періодом яровизації [16; 17].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Розробка та вдосконалення методів вивчення чутливості до фотоперіоду є важливою складовою селекційного процесу пшениці. Для визначення фотоперіодичної чутливості існують різні підходи, які базуються на використанні спеціальних установок (фітотрони, камери штучного клімату) та лабораторних способів [18].

Відомий спосіб визначення фотоперіодичної чутливості, за яким відмічається динаміка росту коренів і пагонів. До ранньо- і пізньостиглих відносять відповідно генотипи, для яких різниця акрофаз у вищевказаних органів близька нулю і 12 годин [19]. Недоліки цього способу полягають у тому, що він вимагає спеціальних приладів, складний і трудомісткий, оскільки необхідно вивчати динаміку росту не лише пагона, але і кореня кожної пророслої насінини у навколодобовому циклі.

Відомий також спосіб виявлення фотоперіодично нейтральних форм, заснований на тому, що висічки листя фотоперіодично нейтральних (слабочутливих) форм, оброблені розчином Грама, характеризуються найбільш інтенсивним забарвленням [20]. Недоліками цього способу є травмування рослин, складність та недостатня точність відбору, необхідність застосування дорогих хімічних реактивів.

В. А. Кошкін розробив метод визначення фотоперіодичної чутливості сільськогосподарських культур, у тому числі пшениці, згідно якого насіння пророщували в чашках Петрі при кімнатній температурі впродовж 2–3 діб, після чого висаджували по 10 проростків на посудину [18]. Рослини вирощували у п'ятилітрових вегетаційних посудинах в умовах природного та короткого фотоперіоду. Короткий день створювали штучно, закочуючи вагонетки-платформи з вегетаційними посудинами у світлонепро-

никний павільйон. Рослини довгого дня закочували у скляний павільйон. В подальшому відмічали дату колосіння кожної рослини.

Найбільш близьким по технічній суті є спосіб, запропонований науковцями Селекційно-генетичного інституту [21]. Він включає наступні етапи: 1) яровизація проростків пшениці впродовж 50-и діб при температурі 1–2 °С; 2) висаджування проростків у п'ятилітрові посудини; 3) вирощування рослин за природного та скороченого фотоперіоду (до 10 годин), який моделюють шляхом закривання посудин темними кабінами; 4) фіксування дати колосіння рослин. Проте недоліком вказаного методу є те, що залежно від агроекологічної зони вирощування, серед різноманіття сортів пшениці виокремлюються генотипи, що потребують більш тривалого періоду яровизації.

Метою роботи є модифікація та удосконалення методу визначення фотоперіодичної чутливості сортів пшениці м'якої озимої в умовах Центрального Лісостепу України.

Новизна. Модифіковано та удосконалено метод визначення фотоперіодичної чутливості сортів пшениці м'якої озимої в умовах Центрального Лісостепу України, що базується на вивченні реакції рослин на тривалість світлового дня. Запропонований спосіб охороняється патентом на корисну модель (№ 150420 від 16.02.2022, бюл. № 7) [22]. Суть методу полягає в тому, що він проводиться на відкритому майданчику за природних умов, що дає можливість здійснювати порівняльну оцінку між варіантами досліду, наближених до польових. Новим є те, що фотоперіодичну чутливість визначають як різницю за кількістю діб до колосіння між варіантами, які вирощувались за природного та штучно скороченого (до 12 год) світлового дня.

Методологічне або загальнонаукове значення. Запропонований метод визначення фотоперіодичної чутливості сортів пшениці м'якої озимої в умовах Центрального Лісостепу України доповнить методологію та сприятиме створенню нових сортів із цінними практичними властивостями. Спосіб може бути використаний у селекційних центрах, науково-дослідних установах та дослідних станціях.

Виклад основного матеріалу. Запропонований спосіб включає нижче перераховані процеси. Спочатку проводили яровизацію пророслого насіння пшениці м'якої озимої впродовж 60-и діб. Для цього відбирали 100 насінин, поміщали їх у металеві бюкси та заливали дистильованою водою, після чого пророщували впродовж однієї доби в термостаті за температури 19–21 °С. Для проходження яровизації бюкси з насінням поміщали в морозильну камеру ЛВН-200Г, дотримуючись температурного режиму 0–1 °С. В подальшому пророслі насіння висаджували у вегетаційні посудини з грунтосумішшю, орієнтуючись на багаторічний показник температури повітря, значення якого дасть можливість уникнути додаткової яровизації дослідних зразків у природних умовах. Для приготування грунтосуміші використовували пісок та ґрунт у пропорції 1:3. Для оптимального живлення рослин на 50 кг грунтосуміші додавали 100 г мінерального добрива (нітроамофоски).

Користуючись маркером, проростки висаджували у вегетаційні посудини по 40 шт. у кожному варіанті досліду (по 20 шт. на одну вегетаційну посудину), після чого їх розміщували на відкритому майданчику. Для порівняння, рослини пшениці вирощували за природної та штучно скороченої (до 12 год) тривалості світлового дня. Скорочення тривалості дня розпочинали з фази трьох листочків до настання фази колосіння, закриваючи рослини ящиком, покритим темною поліетиленовою плівкою. Під час вегетації рослини в міру потреби поливали та здійснювали необхідний захист від хвороб та шкідників. Дату виколошування кожної рослини позначали етикеткою.

Фотоперіодичну чутливість визначали як різницю за кількістю діб до колосіння між варіантами, які вирощувались за природного та штучно скороченого світлового дня. В якості еталону використовували сорт Миронівська 808. За фотоперіодичною чутливістю сорти пшениці умовно розподіляли на три групи: сильночутливі (із затримкою колосіння 10 і більше діб), середньочутливі (із затримкою колосіння 6–9 діб) та слабочутливі (із затримкою колосіння менше 6-и діб).

Головні висновки. Таким чином, у результаті дослідження модифіковано та удосконалено спосіб визначення фотоперіодичної чутливості сортів пшениці м'якої озимої в умовах Центрального Лісостепу України, що базується на вивченні реакції рослин на тривалість світлового дня. Наведено порівняльну характеристику різних методів в оцінюванні зразків зернових культур на чутливість до фотоперіоду. Аналіз літературних джерел засвідчив, що для визначення фотоперіодичної чутливості існує ряд методів, заснованих на різних принципах дії, і кожен із них має свої переваги та недоліки. Переважна їхня більшість не є нині оптимальними, внаслідок чого актуальним залишається завдання створення нових і вдосконалення вже наявних методів визначення фотоперіодичної чутливості сортів пшениці озимої. Переваги запропонованого методу над іншими полягають у економії електроенергії (не використовується електроосвітлення) та можливості аналізувати селекційний матеріал за наявності невеликої кількості насіннєвого матеріалу.

Перспективи використання результатів дослідження. Використання даного способу в селекції пшениці дозволить з необхідною вірогідністю (що більше відповідає польовим умовам) відібрати батьківські компоненти для схрещування і таким чином забезпечить скорочення селекційного процесу та зменшить матеріальні затрати на його виконання. Модифікований метод надасть можливість повніше реалізувати закладений селекціонерами потенціал продуктивності досліджуваних сортів, що сприятиме їх ефективнішому використанню як у рослинництві, так і в селекційній практиці.

Література

1. Dilmurodovich D.S., Bekmurodovich B.N., Shakirjonovich K.N. Winter bread wheat grain quality depends on different soil-climate conditions. *International journal of discourse on innovation, integration and education*. 2020. Vol. 1. № 5. P. 377–380.
2. Amanov O.A., Juraev D.T., Dilmurodov S.D. Dependence of growth period, yield elements and grain quality of winter bread wheat varieties and lines on different soil and climate conditions. *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*. 2021. Vol. 25. № 6. P. 5146–5164.
3. Siroshtan A., Kavunets V., Derhachov O., Pykalo S., Ilchenko L. Yield and sowing qualities of winter bread wheat seeds depending on the preceding crops and sowing dates in the Forest-Steppe of Ukraine. *American Journal of Agriculture and Forestry*. 2021. Vol. 9. № 2. P. 76–82.
4. Тоцький В.М., Мутерко О.Ф., Балашова І.А., Дьяченко Л.Ф. Генетичні механізми детермінації фотоперіодичної реакції пшениці. *Біологічні системи*. 2011. Т. 3. № 1. С. 19–25.
5. Любич В.В. Продуктивність сортів і ліній пшениць залежно від абіотичних і біотичних чинників. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2017. Вип. 3. С. 146–160.
6. Скрипчинский В.В. Фотопериодизм – его происхождение и эволюция. Ленинград : Наука, 1975. 287 с.
7. Макрушин М.М., Макрушина Є.М., Петерсон Н.В., Мельников М.М Фізіологія рослин. Вінниця : Нова Книга, 2006. 416 с.
8. Файт В.І., Федорова В.Р. Чутливість до фотоперіоду та реакція на яровизацію сортів пшениці ярої України, Росії і Казахстану. *Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія Біологія*. 2014. Вип. 1(31). С. 91–96.
9. Тищенко В., Палій Ю. Зимостійкість – основна складова адаптивного потенціалу сортів озимої пшениці. *Зерно і хліб*. 2011. № 1. С. 46–48.
10. Бирюков С.В., Комарова В.П. Онтогенетические аспекты продукционного процесса озимой пшеницы и его гомеостатичность. Збірник наукових праць СГІ – НЦНС (100-річчю від дня народження академіка Ф. Г. Кириченка присвячується). Одеса, 2004. Вип. 6(46). Ч. 2. С. 153–163.
11. Purvis O.N., Gregory F.G. Studies in vernalisation of cereals: I. A comparative study of vernalisation of winter rye by low temperature and by short days. *Annals of Botany*. 1937. Vol. 1. № 4. P. 569–591.
12. Gott M.B., Gregory F.G., Purvis O.N. Studies in vernalisation of cereals: XIII. Photoperiodic control of stage in flowering between initiation and ear formation in vernalised and unvernalised Petkus winter rye. *Annals of Botany*. 1955. Vol. 21. № 1. P. 87–126.
13. Стельмах А.Ф., Воронин А.Н., Кучеров В.А. О взаимодействии генетических систем, определяющих скорость развития мягких пшениц. Использование искусственного климата в селекционно-генетических исследованиях. Одесса : ВСГИ, 1988. С. 81–88.
14. Крастина Е.Е. Влияние длины дня на скорость развития и продуктивность яровой пшеницы в условиях искусственного освещения и постоянной температуры. *Известия ТСХА*. 1977. № 1. С. 12–19.
15. Пірич А.В., Юрченко Т.В., Гуменюк О.В. Яровизаційна потреба, фотоперіодична чутливість та врожайність сортів пшениці м'якої озимої миронівської селекції. *Миронівський вісник*. 2019. Вип. 9. С. 59–62.
16. Москалець Т.З. Індикаційні механізми зимостійкості нових генотипів зернових озимих культур. *Біологічні дослідження – 2016*: Зб. наук. праць. Житомир : ПП «Рута», 2016. С. 124–125.
17. Prasil I., Prasilova P., Pankova K. Relationships among vernalization shoot apex development and frost tolerance in wheat. *Annals of Botany*. 2004. Vol. 94. № 3. P. 413–418.
18. Кошкин В.А. Методические подходы в диагностике фотопериодической чувствительности и скороспелости растений. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2012. Т. 170. С. 118–129.
19. Габриелян Г.Г. Способ отбора ранне- и позднеспелых генотипов кукурузы. Авт. свид. СССР № 1419615. 1988. БИ № 32.
20. Цыбулько В.С., Жмурко В.В., Кобызева Л.Н. Способ выявления фотопериодически нейтральных форм сои. Авт.свид. СССР № 1360658. 1988. БИ № 47.
21. Стельмах А.Ф., Файт В.І. Системи контролю початкового розвитку сучасних селекційних зразків озимих зернових колосових культур у СГІ – НЦНС. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2015. Том 16. С. 156–160.
22. Спосіб визначення фотоперіодичної чутливості сортів пшениці м'якої озимої *Triticum aestivum* L. в умовах Центрального Лісостепу України: пат. 150420 Україна : МПК A01H 1/04. No 202104674; заявл. 13.08.2021; опубл. 16.02.2022, Бюл. № 7. 5 с.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Алпатова Оксана Миколаївна (Житомир) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Андрейчук Юрій Михайлович (Львів) – кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри конструктивної географії і картографії, Львівський національний університет імені Івана Франка;

Бартко Сніжана Леонідівна (Тернопіль) – магістрантка географічного факультету, Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка;

Басараба Ілона Василівна (Рівне) – здобувачка PhD зі спеціальності 101 – Екологія, Рівненський державний гуманітарний університет;

Боднар Оксана Ігорівна (Тернопіль) – доктор біологічних наук, професор, професор кафедри загальної біології та методики навчання природничих дисциплін, Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка;

Бойчун Сергій Олегович (Київ) – кандидат політичних наук, заст. директора, Навчально-виробниче підприємство Ламбіт-Ентіс;

Бондар Олександр Іванович (Київ) – доктор біологічних наук, професор, член-кореспондент Національної академії аграрних наук України, ректор, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Бонішко Оксана Станіславівна (Львів) – кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри ґрунтознавства і географії ґрунтів, Львівський національний університет імені Івана Франка;

Борецька Ірина Юріївна (Львів) – аспірантка кафедри екології, Львівський національний університет імені Івана Франка;

Босюк Альона Сергіївна (Харків) – аспірант кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Булавка Наталія Василівна (Центральне) – кандидат біологічних наук, провідний науковий співробітник відділу біотехнології, генетики і фізіології, Миронівський інститут пшениці імені В.М. Ремесла Національної академії аграрних наук України;

Валерко Руслана Анатоліївна (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри екології, Поліський національний університет;

Висоцька Тетяна Іванівна (Київ) – кандидат хімічних наук, доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Державний університет інфраструктури та технологій Міністерства освіти і науки України;

Войтенко Лариса Владиславівна (Київ) – кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри аналітичної хімії та якості води, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

Гандзюра Володимир Петрович (Київ) – доктор біологічних наук, професор, директор, Центр європейської та євроатлантичної інтеграції Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління, професор кафедри екології та зоології, Київський національний університет імені Тараса Шевченка;

Герасимчук Людмила Олександрівна (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри екології, Поліський національний університет;

Герасимчук Олена Леонтіївна (Житомир) – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри екології, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Горин Оксана Ігорівна (Тернопіль) – PhD в галузі біології, молодший науковий співробітник, Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка;

Григоренко Алла Володимирівна (Київ) – старший викладач кафедри заповідної справи та рекреаційної діяльності, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Гудзенко Володимир Миколайович (Центральне) – доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, завідувач лабораторії селекції ячменю, заступник директора з наукової роботи, Миронівський інститут пшениці імені В.М. Ремесла Національної академії аграрних наук України;

Даньків Вікторія Ярославівна (Оброщине) – кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Інститут сільського господарства Карпатського регіону Національної академії аграрних наук;

Дем'янюк Олена Сергіївна (Київ) – доктор сільськогосподарських наук, професор, член-кореспондент Національної академії аграрних наук України, заступник директора з наукової роботи, Інститут агроекології і природокористування Національної академії аграрних наук України;

Демидов Олександр Анатолійович (Центральне) – доктор сільськогосподарських наук, професор, член-кореспондент Національної академії аграрних наук України, директор, Миронівський інститут пшениці імені В.М. Ремесла Національної академії аграрних наук України;

Демчук Людмила Іванівна (Житомир) – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Дзендзель Андрій Юрійович (Тернопіль) – аспірант кафедри ботаніки та зоології, Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка;

Єсіпова Наталія Борисівна (Дніпро) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри загальної біології та водних біоресурсів, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

Жолобенко Наталія Юріївна (Миколаїв) – аспірант кафедри техногенної та цивільної безпеки, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова;

Жук Аліна Володимирівна (Чернівці) – кандидат біологічних наук, доцент, докторант, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича;

Жулканич Борис Михайлович (Ужгород) – старший викладач кафедри фізичної географії та раціонального природокористування, Ужгородський національний університет;

Заленська Єлизавета Андріївна (Київ) – аспірантка агробіологічного факультету, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

Захаренко Микола Олександрович (Київ) – доктор біологічних наук, член-кореспондент Національної академії аграрних наук України, професор кафедри ветеринарної гігієни імені професора А.К. Скороходька, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

Злобенко Борис Петрович (Київ) – старший науковий співробітник відділу проблем поводження з радіоактивними відходами, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України»;

Зубов Антон Олексійович (Київ) – кандидат технічних наук, докторант, Інститут агроекології і природокористування Національної академії аграрних наук;

Зубов Олексій Ремович (Київ) – доктор сільськогосподарських наук, професор;

Кавчук Ірина Михайлівна (Івано-Франківськ) – аспірантка кафедри лісового та аграрного менеджменту, Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника;

Кагукіна Анастасія Максимівна (Житомир) – асистент кафедри екології, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Кірейцева Ганна Вікторівна (Житомир) – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Ковальська Галина Богданівна (Тернопіль) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка;

Красова Ольга Олександрівна (Кривий Ріг) – кандидат біологічних наук, науковий співробітник відділу оптимізації техногенних ландшафтів, Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України;

Красовський Володимир Васильович (Хорол) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, директор, Хорольський ботанічний сад;

Крупєй Кристина Сергіївна (Запоріжжя) – кандидат біологічних наук, старший викладач кафедри мікробіології, вірусології та імунології, Запорізький державний медичний університет;

Курбатова Інна Миколаївна (Київ) – доктор біологічних наук, професор кафедри біології тварин, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

Курганевич Людмила Петрівна (Львів) – кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри конструктивної географії і картографії, Львівський національний університет імені Івана Франка;

Левицький Володимир Григорович (Житомир) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри маркшейдерії, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Лисенко Геннадій Миколайович (Ніжин) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри біології, Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя;

Лукашов Дмитро Володимирович (Київ) – доктор біологічних наук, професор кафедри екології та зоології, Навчально-науковий інститут «Інститут біології та медицини» Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

Магдійчук Анна Петрівна (Київ) – аспірант, Інститут агроекології і природокористування Національної академії аграрних наук України;

Маренков Олег Миколайович (Дніпро) – кандидат біологічних наук, доцент, проректор з наукової роботи, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

Маркіна Людмила Миколаївна (Київ) – доктор технічних наук, професор, професор кафедри екології та екологічного контролю, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Матвієнко Марія Григорівна (Київ) – кандидат біологічних наук, заступник директора, Центр європейської та євроатлантичної інтеграції Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління;

Мельниченко Дмитро Сергійович (Київ) – аспірант кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Мишілюк Ірина Іларіонівна (Чернівці) – магістр, здобувач, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича;

Міхелєв Ігор Леонідович (Миколаїв) – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри інформаційних управляючих систем і технологій, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова;

Мудрак Олександр Васильович (Вінниця) – доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри екології, природничих та математичних наук, Комунальний заклад вищої освіти «Вінницька академія безперервної освіти»;

Ольховик Юрій Олександрович (Київ) – доктор технічних наук, старший дослідник, завідувач відділу проблем поводження з радіоактивними відходами, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України»;

Ощаповський Ігор Валентинович (Львів) – кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник кафедри неорганічної хімії, Львівський національний університет імені Івана Франка;

Павленко Анатолій Олегович (Кривий Ріг) – провідний інженер відділу оптимізації техногенних ландшафтів, Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України;

Павлишак Ярослава Ярославівна (Дрогобич) –кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри біології та хімії, Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка;

Пацева Ірина Григорівна (Житомир) – доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Пида Світлана Василівна (Тернопіль) – докторка сільськогосподарських наук, професорка, завідувачка кафедри ботаніки та зоології, Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка;

Пикало Сергій Володимирович (Центральне) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник відділу біотехнології, генетики і фізіології, Миронівський інститут пшениці імені В.М. Ремесла Національної академії аграрних наук України України;

Пилипчук Олег Ярославович (Київ) – доктор біологічних наук, професор кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Державний університет інфраструктури та технологій Міністерства освіти і науки України;

Питуляк Микола Васильович (Тернопіль) – кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри географії і методики її навчання, Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка;

Питуляк Мирослава Романівна (Тернопіль) – кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри географії і методики її навчання, Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка;

Пірич Аліна Володимирівна (Центральне) – кандидат сільськогосподарських наук, в.о. завідувачки лабораторії селекції ярої пшениці, Миронівський інститут пшениці імені В.М. Ремесла Національної академії аграрних наук України;

Пічкур Тетяна Валеріївна (Київ) – кандидат історичних наук, доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Державний університет інфраструктури та технологій Міністерства освіти і науки України;

Познанський Дмитро Володимирович (Тернопіль) – аспірант кафедри фізичної реабілітації і безпеки життєдіяльності, Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка;

Поліщук Людмила Василівна (Київ) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, Інститут мікробіології і вірусології Національної академії наук України;

Різничук Надія Іванівна (Івано-Франківськ) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології та екології, Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника;

Розко Алла Миколаївна (Київ) – кандидат геологічних наук, старший науковий співробітник відділу космоекології та космічної мінералогії, Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення Національної академії наук України;

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;

Савчук Марина Вікторівна (Київ) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Державний університет інфраструктури та технологій Міністерства освіти і науки України;

Сальникова Аня Валеріївна (Київ) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Державний університет інфраструктури та технологій Міністерства освіти і науки України;

Сібілєва Олена Володимирівна (Київ) – завідувач сектору державного ринкового нагляду, Державна екологічна інспекція України;

Скляренко Анастасія Вікторівна (Запоріжжя) – кандидат біологічних наук, головний спеціаліст відділу позашкільної, спеціальної та вищої освіти, Департамент освіти і науки Запорізької обласної державної адміністрації;

Соловйова Любов Маратівна (Київ) – кандидат історичних наук, доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Державний університет інфраструктури та технологій Міністерства освіти і науки України;

Сорочинська Олена Леонідівна (Київ) – кандидат історичних наук, доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Державний університет інфраструктури та технологій Міністерства освіти і науки України;

Сталінська Ірина Вікторівна (Харків) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерної екології міст, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова;

Суслова Олена Петрівна (Кривий Ріг) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник відділу інтродукції та акліматизації рослин, Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України;

Сухов Валерій Васильович (Харків) – кандидат геологічних наук, завідувач лабораторії кафедри геології, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна;

Суходольська Ірина Леонідівна (Рівне) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології, географії та туризму, Рівненський державний гуманітарний університет;

Таранов Віктор Васильович (Київ) – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Тесьолкіна Тетяна Сергіївна (Київ) – аспірантка кафедри екології та зоології, Навчально-науковий інститут «Інститут біології та медицини» Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

Тупицька Ольга Миколаївна (Київ) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри біохімії і фізіології тварин імені академіка М.Ф. Гулого, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

Ушкац Світлана Юріївна (Миколаїв) – кандидат фізико-математичних наук, викладач кафедри техногенної та цивільної безпеки, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова;

Федоренко Юрій Григорович (Київ) – науковий співробітник відділу проблем поводження з радіоактивними відходами, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України»;

Федько Роман Миколайович (с. Березоточа) – кандидат біологічних наук, завідувач відділу екології та фармакогнозії, Дослідна станція лікарських рослин Інституту агроекології і природокористування НААН;

Фінін Георгій Семенович (Київ) – доктор фізико-математичних наук, професор, перший проректор з науково-педагогічної роботи, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Хавень Вікторія Валеріївна (Львів) – магістр кафедри конструктивної географії і картографії, Львівський національний університет імені Івана Франка;

Хатіб Іхаб (Тернопіль) – аспірант 2 кафедри фізичної реабілітації і безпеки життєдіяльності, Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка;

Чепіль Людмила Василівна (Київ) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри біології тварин, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

Чернік Ігор Валерійович (Тернопіль) – аспірант кафедри фізичної реабілітації і безпеки життєдіяльності Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка;

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;

Чипиляк Тетяна Федорівна (Кривий Ріг) – кандидат біологічних наук, завідувачка відділу природної та культурної флори, Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України;

Члек Олексій Миколайович (Житомир) – студент IV курсу факультету лісового господарства та екології, Поліський національний університет;

Шевченко Роман Юрійович (Київ) – кандидат географічних наук, доцент кафедри екологічного моніторингу та геоінформаційних технологій, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Шевчик-Костюк Леся Зеновіївна (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;

Шелюк Юлія Святославівна (Житомир) – доктор біологічних наук, доцент, професор кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

Шестопалов Олексій Валерійович (Харків) – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Шмагайло Микола Олександрович (Дніпро) – аспірант 1 року навчання, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара;

Шульга Олександр Олександрович (Ічня) – магістр екології, заступник директора, Ічнянський національний природний парк;

Юрченко Тетяна Василівна (Центральне) – кандидат сільськогосподарських наук, завідувачка відділу біотехнології, генетики і фізіології, Миронівський інститут пшениці імені В.М. Ремесла Національної академії аграрних наук України;

Ярошенко Богдан Олександрович (Житомир) – студент IV курсу факультету лісового господарства та екології, Поліський національний університет.

НОТАТКИ

Наукове видання

ЕКОЛОГІЧНІ НАУКИ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

4(43)

- ***Екологія і виробництво***
- ***Екологія водних ресурсів***
- ***Екологічний моніторинг***
- ***Теоретична екологія***
- ***Загальні питання екологічної безпеки***
- ***Біологічна безпека***
- ***Поводження з відходами***
- ***Зміна клімату***
- ***Розвиток природно-заповідного фонду України***
- ***Збереження біологічного та ландшафтного різноманіття***
- ***Питання сталого розвитку***
- ***Освіта для сталого розвитку***

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 № 6424 від 04.10.2018
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 16.06.2022. Формат 64x84/8.
Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman. Цифровий друк.
Ум. друк. арк. 26,74. Тираж 100. Замовлення № 0722/300.
Ціна договірна. Віддруковано з готового оригінал-макета