

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

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

ЕКОЛОГІЧНІ НАУКИ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

5(38)



Видавничий дім
«Гельветика»
2021

Екологічні науки : науково-практичний журнал / Головний редактор Бондар О.І. – К. :
Видавничий дім «Гельветика», 2021. – № 5(38). – 134 с.

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

Заступник головного редактора: Нагорнева Н. А.

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

Відповідальний редактор: Сікачина В. Г.

Редакційна колегія:

Гандзюра В.П., доктор біологічних наук

Єрмаков В.М., доктор технічних наук

Захматов В.Д., доктор технічних наук

Іващенко Т.Г., кандидат технічних наук

Конішук В.В., доктор біологічних наук

Лукаш О.В., доктор біологічних наук,

Машков В.А., доктор технічних наук

Михайленко Л.Є., доктор біологічних наук

Нецветов М.В., доктор біологічних наук

Ольшевський С.В., доктор технічних наук

Риженко Н.О., доктор біологічних наук

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

доктор географічних наук, доктор технічних наук

Улицький О.А., доктор геологічних наук

Фінін Г.С., доктор фізико-математичних наук

Шматков Г.Г., доктор біологічних наук

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

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

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

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

ЗМІСТ

ТЕОРЕТИЧНА ЕКОЛОГІЯ	5
Семерня О.М., Любинський О.І., Федорчук І.В., Гордій Н.М., Тютюнник О.С. Оцінка впливу і моделювання стану довкілля у контексті нових вимірів екології.....	5
Стасевич С.П., Руда М.В., Ничай С.Т. Математичні моделі для прогнозування теплового комфорту людини у навколишньому середовищі.....	9
ЕКОЛОГІЧНА ОСВІТА	15
Горобей М.С. Актуальні питання впровадження сучасних діджитал-інструментів у реалізації екологічної освіти та природоохоронної діяльності в Україні та країнах ЄС.....	15
Климчик О.М. Сучасні технології навчання: тестовий контроль знань із дисципліни «Геоінформаційні системи у природничій географії».....	19
Терлецький В.К., Ольхова-Марчук Н.В., Кушнір В.В. Екологічна освіта для сталого розвитку суспільства.....	24
ЕКОЛОГІЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ	29
Русин І.Б., Дячок В.В. Роль перемішування субстрату для ефективності водних електробіосистем.....	29
Сидоренко О.В., Коротецький В.П., Закорчевна Н.Б. Вивчення стану водних біоресурсів Азово-Чорноморського басейну, визначення технологічних властивостей сировини із водних біоресурсів для розроблення рекомендацій щодо її комплексної переробки.....	32
ЕКОЛОГІЯ І ВИРОБНИЦТВО	38
Білецький О.О., Котовський В.Й., Святненко В.А. Енергетичні характеристики комбінованих джерел живлення із суперконденсаторами та літій-іонними акумуляторними батареями.....	38
Галушкіна Т.П., Афанасьєва О.О., Скиба Д.В. Формування ринку екологічного страхування в Україні задля забезпечення національної екологічної безпеки.....	42
Закорчевна Н.Б. Екологічні виклики на шляху розвитку водневої енергетики в Україні.....	53
Максимова Н.М., Чушкіна І.В., Орлінська О.В. Оцінювання екологічного ризику підтоплення територій, прилеглих до гідротехнічних споруд водогосподарської інфраструктури у сільській місцевості.....	60
ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ	66
Гордій Н.М., Тютюнник О.С., Рубановська Н.В. Діяльність екологічних громадських організацій у місті Кам'янці-Подільському.....	66
Машков О.А., Івашенко Т.Г., Печений В.Л. Інтеграція аерокосмічних технологій у систему управління екологічною безпекою: розроблення технології використання аерокосмічних технологій для управління екологічною безпекою планової діяльності підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій природного характеру.....	70
Поліщук О.І., Антоняк Г.Л. Вплив транспортного навантаження на елементний склад ґрунту у приміській зоні м. Львова.....	81
ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО І ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ	87
Красовський В.В., Черняк Т.В. Визначення декоративності зизифусу справжнього (<i>Zizyphus jujuba Mill.</i>), інтродукованого у Лісостеповій зоні України.....	87
Новак В.В. Просторовий розподіл орнітофауни у селах Подільського Побужжя.....	92
Трускавецька І.Я. Особливості біології та розселення мурах (<i>Formicidae</i>) у ландшафтному заказнику «Стовп'язькі краєвиди».....	99
Фіцайло Т.В. Термофільні чагарникові угруповання Південно-Східного Криму.....	104
Шевчук Л.М., Билина Л.В., Куровська А.Є. Ушкодження твердого тіла перлівнецевих і кулькових як чутливий біоіндикаційний показник.....	111
Юхименко Ю.С., Бойко Л.І., Данильчук Н.М. Водний режим листка деревних рослин в умовах промислового регіону Правобережного Степового Придніпров'я.....	121
ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ	127
Русіна Н.Г., Люльчик В.О., Петрова О.М., Кушнірук О.М., Рудько О.М. Еколого-технічні засади рекультиваци земель закритих полігонів твердих побутових відходів (ТПВ).....	127
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ	132

CONTENTS

THEORETICAL ECOLOGY	5
Semernia O., Liubynskiy O., Fedorchuk I., Hordii N., Tiutiunnyk O. Assessment and modelling of environment in the ecology new dimensions.....	5
Stasevych S., Ruda M., Nychai S. Mathematical models for predicting human thermal comfort in the environment.....	9
ENVIRONMENTAL EDUCATION	15
Horobei M. Current issues of implementation of modern digital tools in the implementation of environmental education and environmental protection in Ukraine and EU countries.....	15
Klymchyk O. Modern study technologies: test control of knowledge in the discipline «Geoinformation systems in natural geography».....	19
Terletskiy V., Olhova-Marchuk N., Kushnir V. Ecological education for sustainable development.....	24
ECOLOGY OF WATER RESOURCES	29
Rusyn I., Djachok V. The role of substrate mixing for efficiency of aquatic electro-biosystems.....	29
Sydorenko O.V., Korotetskyi V.P., Zakorchevna N.B. Study of the state of aquatic bioresources of the Azov-Black Sea basin, determination of technological properties of raw materials from aquatic bioresources for development of recommendations on its complex processing.....	32
ECOLOGY AND PRODUCTION	38
Beletsky O., Kotovsky V., Svyatnenko V. Energy characteristics of combined power supplies with supercapacitors and lithium-ion batteries.....	38
Halushkina T., Afanasieva O., Skyba D. Formation of the market of ecological insurance in Ukraine for maintenance of national ecological safety.....	42
Zakorchevna N. Environmental challenges on the development of hydrogen energy in Ukraine.....	53
Maksimova N., Chushkina I., Orlinskaya O. Assessment of ecological risk of the flooding of territories adjacent to hydrotechnical structures, water management in rural of territories adjacent to hydrotechnical.....	60
GENERAL ENVIRONMENTAL SAFETY ISSUES	66
Hordii N., Rubanovska N., Tiutiunnik O. Activities of environmental public organizations in Kamianets-Podilskyi.....	66
Mashkov O.A., Ivashchenko T.G. Integration aerospace technology in the control system of ecological safety, development of technology use of space technology for management ecological safety of planned activities support decision making in emergency situations of natural character.....	70
Polishchuk A., Antonyak H. Influence of transport load on the elemental composition of soil in the suburban area of the city of Lviv.....	81
PRESERVATION OF BIOLOGICAL AND LANDSCAPE DIVERSITY	87
Krasovsky V., Cherniak T. Determination of decorativity of <i>Zizyphus jujuba</i> Mill. introduced in the Forest-Steppe zone of Ukraine.....	87
Novak V. Spatial distribution of avifauna in the villages of Podilsky Pobuzhzhye.....	92
Truskavetska I. Peculiarities of biology and Formicidae settlement in the “Stovpiazky Landscapes” reserve.....	99
Fitsailo T. Thermophilic shrub communities of the South-Eastern Crimea.....	104
Shevchuk L., Bylyna L., Kurovska A. Damage to the solid body of Unionidae and Pisiidiidae as a sensitive bioindication indicator.....	111
Yukhimenko Y., Boyko L., Danilchuk N. Water regime of leave of tree plants in the conditions of the industrial region in the Right-bank Dnieper Steppe.....	121
WASTE MANAGEMENT	127
Rusina N., Liulchyk V., Petrova O., Kushniruk O., Rudko O. Ecological and technical principles of municipal solid waste landfill recultivation.....	127
AUTHORS’ CREDENTIALS	132

ОЦІНКА ВПЛИВУ І МОДЕЛЮВАННЯ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ У КОНТЕКСТІ НОВИХ ВИМІРІВ ЕКОЛОГІЇ

Семерня О.М., Любинський О.І., Федорчук І.В., Гордій Н.М., Тютюнник О.С.

Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка
вул. Огієнка, 61, 32302, м. Кам'янець-Подільський, Хмельницька область
semerniaoksana@gmail.com, lubin.alex@gmail.com, fedorchuk.ivan@kpnu.edu.ua,
nataliagordiy3103@gmail.com, Guslyanka@gmail.com

У статті розглянуто і систематизовано нові підходи до євроінтеграції України у контексті сучасної екології. Актуальні питання сьогодення стану довкілля вирішуються через оцінку впливу об'єкту на довкілля і моделювання оптимального навколишнього середовища у сучасних реаліях України: зелена економіка, цифровізація.

Основна мета роботи – висвітлення можливостей євроінтеграції України через нові сучасні підходи, які передбачають балансування економіки, екології, соціуму. Цей баланс забезпечується сталим розвитком нашої держави у контексті оцінки впливу на довкілля та подальшого його моделювання, а згодом і прогнозування стану довкілля у цифровому форматі. Стаття актуалізує питання про нові підходи євроінтеграції України у контексті сучасної екології. Проаналізовано два окремих методи впливу на довкілля: оцінки і моделювання; описано можливі сценарії їх поєднання задля досягнення оптимального стану довкілля. Робота містить огляд основних положень оновлених підходів до оцінки впливу на довкілля і моделювання його стану. Основну увагу у статті приділено участі громадськості в оцінці впливу на довкілля, пояснено різницю у термінах «громадські слухання» і «громадські обговорення». Під час моделювання стану довкілля слід застосовувати новий напрям упродовження ідеальних моделей у реальне довкілля через зелену економіку і цифровізацію екології. Підсумовуючи цей матеріал, зазначено, що теоретичне і практичне його значення полягає у дослідженні та опублікуванні кваліфікаційних робіт студентів галузі 101 Екологія Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Цифровізація сталого розвитку здійснюється через міжнародний проєкт, у якому бере участь вищезазначений університет. Зелена економіку розглянуто у практичній та емпіричній діяльності підготовки бакалаврів і магістрів галузі 101 Екологія. *Ключові слова:* оцінка впливу, моделювання стану, довкілля, євроінтеграція, екологія, зелена економіка, цифровізація.

Assessment and modelling of environment in the ecology new dimensions. Semernia O., Liubynskiy O., Fedorchuk I., Hordii N., Tiutiunnyk O.

This article describes a new approaches to Ukraine's European integration in the context of modern ecology. It be current issues of the current state of the environment realized through the assessment of the impacts' object on the environment and modelling of the optimal environment in the modern realities of Ukraine, for example, green economy, and digitalization. A new problem studied. We called this opportunities for Ukraine's European integration through a new modern approaches. This article demonstrates the raises the issue of a new approaches to Ukraine's European integration in the context of the modern ecology. This article are opens up a new field formation as optimal solutions for influencing the state of the environment through its assessment and modelling. The main idea of this article are reveal to highlight the possibilities of Ukraine's European integration through a new modern approaches on the examples of environmental impact assessment and modelling, forecasting the state of the environment. The best ways to implement new approaches are a green economy and the digitalization environment. The main purpose of the article is to demonstrate to the reader that the Ukraine's new approach to European integration is a balance between the economy, the environment, and society. Ukraine's new approach to European integration is a balance between the economy, the environment, and society. Special attention paid to the integration of methods' environmental impact assessment and modelling of the states' environment through empirical studies of this potentially dangerous object. We saw a new approach to Ukraine's European integration through a combination of two methods of studying the state of the environment. This is an impact assessment and condition modelling. Such a specialist is able the impact assessment and condition modelling. The results thus obtained are a new approach to Ukraine's European, in general. This result gained practical significance in the application of the article on the fate of writing essays by students' ecology. The conclusions show that with quality training of students in this specialty, we will get a new kind of modern professions for digitization and integration of knowledge and competencies in economics and ecology. *Key words:* impact assessment, state modelling, environment, European integration, ecology, green economy, digitalization.

Постановка проблеми. У сучасному світі швидко змінюються впливи і стани довкілля. На зламі цих змін відбувається неповноцінне дослідження довкілля і його впливів на живі організми. Сучасний світ пропонує акселерацію і підвищення швидкості розвитку зеленої економіки і цифровізації [1; 17;

19; 21]. У дослідженні ми актуалізували ці питання та інтегрували їх в одне спільне: вплив на довкілля.

Актуальність дослідження. Інтегрування як новий підхід до євроінтеграції України є важливим і значущим. Інтегрування «оцінки впливу на довкілля» і «моделювання стану довкілля» є акту-

альним питанням у дослідженнях сучасної екології [5; 6; 10; 19; 20]. Оцінка впливу і ручне моделювання стану довкілля виступає оптимальним рішенням для комфортного життя сучасної людини і майбутнього покоління [6-8; 13; 15; 18]. Сталий розвиток довкілля об'єднує та інтегрує сімнадцять цілей в одну єдину мету – неперервний розвиток і формування нового світогляду громадян. Вплив на довкілля варто інтегрувати через, по-перше, оцінювання, по-друге, моделювання оптимального стану, по-третє, прогнозування стану довкілля. Тому інтеграція оцінки впливу на довкілля у моделювання довкілля виступає новим підходом до розвитку навколишнього середовища для соціуму.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Це дослідження пов'язане із науковою темою кафедри екології Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка під назвою «Еколого-генетичний, біологічний, хімічний, фізико-географічний моніторинг біорізноманіття Поділля і Буковини» (науковий керівник О.І. Любинський); реєстраційний номер 0116U006382.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Досліджуючи проблему оцінки впливу та моделювання стану довкілля, ми виявили не досить повне вирішення питання про інтеграцію оцінки впливу і моделювання стану довкілля.

Оцінювання впливу здійснювали і здійснюють автори наукових робіт і дослідники [1; 5; 6; 10; 19; 20; 22].

Питання моделювання стану довкілля вирішують науковці [2-4; 6-9; 11-18; 21].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Інтеграцію цих питань не здійснено у публікаціях і джерелах. Тому це питання є вкрай актуальним на зламі сучасних проблем в екології. Сучасна екологія України лежить в юридично-правовому полі євроінтеграції і стрімко крокує до розвитку зеленої економіки держави і цифровізації еколого-економічних галузей. Загальна проблема в Україні – це належна євроінтеграція через створення і впровадження нових підходів до реформувань у нашій країні [22].

Новизна. Уперше нами поєднано оцінку впливу і моделювання стану довкілля у контексті сучасної екології та євроінтеграції України. Показано, що такий новий підхід, як інтеграція виступає сучасним здійсненням «вливання країни в Європу» на основі юридично-правової бази і застосування європейських еколого-економічних трендів для держави. Уперше виявлено проблему неузгодженості термінів «громадські слухання» і «громадські обговорення» щодо оцінки впливу на довкілля. Удосконалено сучасні знання з екології, оцінки впливу на довкілля, моделювання і прогнозування його стану. Дістало подальшого вивчення питання євроінтеграції оцінки впливу та моделювання станів екосистем України.

Методологічне або загальнонаукове значення.

Значення цього дослідження полягає у викладанні нормативних курсів «Оцінка впливу на довкілля» та «Моделювання і програмування стану довкілля» у Кам'янець-Подільському національному університеті імені Івана Огієнка [20]. Методологічне значення статті полягає у привертанні уваги до міжпредметних зв'язків під час викладання цих навчальних дисциплін. Загальнонаукове значення статті полягає у висвітленні нових сучасних знань для управління пізнавальною діяльністю студентів за окремими навчальними дисциплінами нормативного характеру бакалавріату 101 Екологія.

Викладення основного матеріалу. У сучасному світі трендовим впливом користується інтеграція економічних, екологічних, соціальних галузей та їхня цифровізація. Аналіз і синтез літературних та інтернет-джерел [1-3; 5; 7; 9; 19; 21] розкрив нам можливість висвітлити проблему інтеграції оцінки впливу на довкілля і його моделювання, а згодом і прогнозування стану довкілля. Зрозуміло, що варто застосовувати інформаційні технології для здійснення такої інтеграції. Тому ми будемо акцентувати увагу і на цифровізації стану довкілля загалом.

На рис. 1 і рис. 2 ми зобразили послідовні етапи здійснення оцінки впливу на довкілля в Україні та моделювання його стану на прикладі забруднення атмосфери, ґрунту, води, рослинного середовища, екологічної системи нашої країни.

На рис. 1 представлена поетапність процесу оцінки впливу довкілля на основі чинного Закону України «Про оцінку впливу на довкілля» [22]. У Законі України «Про оцінку впливу на довкілля» [22] є багато недопрацювань, зокрема у питаннях участі громадськості у процесі оцінки впливу на довкілля потенційно небезпечних об'єктів. Громадськість має брати участь і у слуханнях та обговореннях об'єкту оцінювання. Проблема неузгодженості термінів [22] «громадські слухання» і «громадські обговорення» дає багато підстав для відмови у висновку з оцінки впливу потенційно небезпечних об'єктів на конкретне довкілля. Юридично-правовий сектор розрізняє ці два терміни, тому висновки про оцінку впливу на довкілля носять суто бюрократичний зміст, яким можна маніпулювати задля власної користі. Слід звернути увагу на розмежування юридичних термінів «громадські слухання» і «громадські обговорення» [22], прописати відмінності термінів у суміжних законах екологічного спрямування; акцентувати, що громадськість має право (у функціональному та юридичному значенні) впливати на висновок про оцінку впливу об'єкту забудови на стан довкілля.

На рис. 2 моделювання стану довкілля класифіковано за видами природного середовища і показано, що ручне керування моделями цього середовища може оптимально зберегти стан довкілля. Цифровізація та зелена економіка в Україні швидко розвиваються; вони є іншими способами здійснення



Рис. 1. Поетапність процесу ОВД

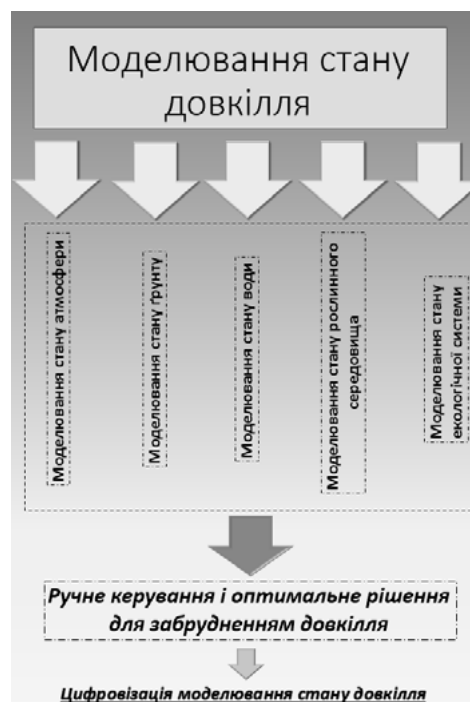


Рис. 2. Моделювання стану довкілля

євроінтеграції нашої країни. Оцінка впливу і моделювання довкілля допомагає розкрити зміст і структуру цифровізації екології та зеленої економіки загалом. Це цікавий новий підхід до євроінтеграції у галузі екології. Для сталого розвитку України варто балансувати між трьома напрямками: екологія, економіка, соціум. Оцінка впливу і моделювання стану довкілля об'єднує і екологію, і економіку, і зайнятність громадян через робочі місця та комфортне життя у чистому навколишньому середовищі.

Зелена економіка виступає рішенням України про євроінтеграцію у межах економіки, екології та соціуму. Цифровізація екології втілює сучасні та нові знання із діджиталізації економіки та соціуму. А сучасні громадяни України потребують актуальних змін підходів до навчання, роботи, відпочинку. Євроінтеграція України у контексті оцінки впливу на довкілля і його моделювання може повністю здійснитися.

Рис. 1 і рис. 2 ілюструють важливість поєднання оцінки впливу на довкілля потенційно небезпечних об'єктів та ручне керування впливу цього об'єкту на довкілля. Після значної верифікації моделі потенційно небезпечного об'єкту можна здійснювати прогнозування стану довкілля сучасними способами. Прем'єрні та успішні підходи до прогнозування стану довкілля розглядатимуться у наступному вивченні питання про євроінтеграцію України у контексті довкілля.

Головні висновки. Отже, баланс екології, економіки, соціуму втілює процес євроінтеграції України. Ми запропонували нові підходи у цьому контексті: інтеграцію оцінки впливу і моделювання (ручного керування) стану довкілля.

Студенти вивчають нормативні дисципліни «Оцінка впливу на довкілля» і «Моделювання і прогнозування стану довкілля» на бакалавріаті в останньому семестрі. Це означає, що завдяки сучасному оновленню теоретичного та емпіричного матеріалу викладачі забезпечують формування якісного фахівця-еколога у нашій країні, здатного до динамічних змін саморозвитку. Отже, євроінтеграція України здійснюється через підготовку сучасних фахівців із новим світоглядом у контексті стану довкілля нашої Батьківщини та Європи загалом.

Нові професії екологів у напрямі євроінтеграції України забезпечуються цифровими фахівцями еколого-економічної галузі, які мають сучасні погляди, світогляд, екологічну свідомість. Бакалаври гарантовано отримають якісні екологічні знання і компетентності для активної роботи в часи постійних економічних змін у нашій державі. Надалі бакалаври із сучасними знаннями і компетентностями можуть здобути глибокі професійні знання і компетентності з екології у магістратурі, де формуються «сплави» (уміння, навички, переконання) якості та результативності екологічної освіти за спеціальністю 101 Екологія.

Перспективи використання результатів дослідження. Подальше дослідження ми вбачаємо у застосуванні теоретичних матеріалів статті для написання кваліфікаційних робіт бакалаврів і магістрантів, зокрема у Кам'янець-Подільському національному університеті імені Івана Огієнка [20] та інших університетах держави, для аналізу літературних та інтернет-джерел під час досліджень аспірантів і докторантів галузі 101 Екологія.

Література

1. Anita R. Fedor. Job satisfaction in Hungary – comparative study. *Economics and Sociology*. 2021. № 14(2). P. 331-349. doi:10.14254/2071-789X.2021/14-2/18.
2. Balashova A., Fait V. Allele frequencies of Ppd-D1a, Ppd-B1a, and Ppd-B1c of photoperiodic sensitivity genes in spring bread wheat varieties (*Triticum aestivum* L.) of various origin. *Agric. sci. pract.* 2021. Vol. 8. С. 3-13.
3. Бендерська О., Бессараб А., Єгоров Б., Кашкано М., Шютюк В. Біологічна цінність побічних продуктів переробки томатів. *FST*. 2021. Vol. 15, No 1.
4. Bulygin S. Y., Demydenko O. V., Velychko V. A., Tkachenko M. A., i Vitvitskiy S. V. Evaluating agrogenic structurization of soil variants under different application modes in the Forest-Steppe. *Agric. sci. pract.* 2020. Vol. 7. С. 40-54.
5. Dubrovna O., Priadkina G., Mykhalska S., i Komisarenko A. Water deficiency tolerance of genetically modified common wheat cv. Zymoayarka, containing a heterologous ornithine- δ -aminotransferase gene. *Agric. sci. pract.* 2021. Vol. 8. С. 14-28.
6. Головка М., Головка Т., Пак А., Крикуненко Л., Жеребкін М. Дослідження проникнення мікроелементів дієтичної добавки в м'ясо караса за різних способів посолу. *FST*. 2021. Vol. 15, No 1.
7. Капреліантс Л., Жук Е. Психобіотики – пробіотики, що покращують настрій. *Food Science and Technology*. 2021. No 15(1). URL: <https://doi.org/10.15673/fst.v15i1.1969>
8. Kovalev V. B., Kozlik T. I., Protsenko L. V., Bober A. V., i Kormiltsev B. F. Extending and maintaining the in vitro collection of (inter)national hop varieties in Ukraine. *Agric. sci. pract.* 2020. Vol. 7. С. 61-71.
9. Lewandowska A., Stopa M., & Inglot-Brzęk E. Innovativeness and entrepreneurship: socioeconomic remarks on regional development in peripheral regions. *Economics and Sociology*. 2021. No 14(2). P. 222-235. doi:10.14254/2071-789X.2021/14-2/12.
10. Пересічний М., Пересічна С., Собко А., Тюрікова І. Науково-методологічні аспекти проектування раціонів харчування для школярів. *FST*. Бер 2021. Vol. 15, No 1.
11. Поліщук В., Дуган О. Перспективи використання глюкозо-фруктозного сиропу у біотехнології рибофлавіну. *FST*. 2020. Vol. 14. No 2.
12. Пригульська Н., Мотузка І., Кошельник А., Ярослав М., і Лацкова А. Рослинні аналоги молока в харчуванні людей з аліментарно-залежними неінфекційними захворюваннями. *FST*. 2020. Vol 14, No 2.
13. Rud Y. P., Maistrenko M. I., Zaloilo O. V., Liubchenko G. A., Buchatskiy L. P., i Hrytsyniak I. I. Experimental infection of brown trout (*Salmo trutta*), zebrafish (*Danio rerio*), and swan mussel (*Anodonta cygnea*) with infectious pancreatic necrosis virus (IPNV). *Agric. sci. pract.* 2020. Vol. 7. С. 31-40.
14. Rybalka O., Katrui V., Polishchuk S., i Morgun B. Development of hull-less barley with ultra-low gluten content via target genes combination. I. Isolation of triple mutants and black grained genotypes. *Agric. sci. pract.* 2021. Vol. 8. С. 47-57.
15. Tkalenko H. M., Borzykh O. I., Horal S. V., Barvas-Hremiakova K. M., i Janse L. A. Screening new *Trichoderma* isolates for antagonistic activity against several phytopathogenic fungi, including *Fusarium* spp. *Agric. sci. pract.* 2020. Vol. 7. С. 14-25.
16. Trotskiy P. A., Shcherbak O. V., i Lyuta I. M. Biotechnological approaches to the preservation and use of bovine ovarian cumulus-oocyte complexes in the system of reproductive technologies. *Agric. sci. pract.* 2020. Vol. 7. С. 54-61.
17. Vasilyeva T., Kuzmenko O., Kuryłowicz M., & Letunovska N. Neural network modelling of the economic and social development trajectory transformation due to quarantine restrictions during COVID-19. *Economics and Sociology*. 2021. No 14(2). P. 313-330. doi:10.14254/2071-789X.2021/14-2/17.
18. Veretsun A. Molecular and genetic characterization of avian laryngotracheitis virus isolates obtained in Ukraine. *Agric. sci. pract.* 2021. Vol. 8. С. 37-46.
19. Zhang Dandan. CIFTIS hosts key industry forums. *China Daily*. 2021. Updated: 2021-09-03. URL: <https://cutt.ly/SWKUpG0> (дата звернення: 07.09.2021).
20. Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка. Кам'янець-Подільський, 2021. URL: <https://kpnpu.edu.ua> (дата звернення: 08.09.2021).
21. Подільські читання. *Екологія, охорона довкілля, збереження біотичного та ландшафтного різноманіття: наука, освіта, практика* : зб. матеріалів Міжнар. наук.-практ. конф. (10–12 жовтня 2019 р., Хмельницький). За заг. ред. Г.А. Білецької. Хмельницький : ХНУ, 2019. 262 с.
22. Про оцінку впливу на довкілля: Закон України від 20.08.2021 р. № 2059-VIII. Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text> (дата звернення: 08.09.2021).

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕПЛООВОГО КОМФОРТУ ЛЮДИНИ У НАВКОЛИШНЬОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Стасевич С.П., Руда М.В., Ничай С.Т.

Національний університет «Львівська політехніка»

вул. С. Бандери, 12, 79013, м. Львів

serhiy.p.stasevych@lpnu.ua, mariia.v.ruda@lpnu.ua, stefan.nychai.tz.2021@lpnu.ua

Організм людини є складною терморегуляційною системою, для нормального функціонування якої фізіологічні та функціональні системи органів людини повинні працювати у певній температурній стабільності. Температура тіла є показником теплового стану організму загалом і відображає складні процеси, які відбуваються у ньому. Цими процесами є теплоутворення внутрішніх органів і тканин, теплообмін між цими органами і зовнішнім середовищем. І саме завдяки системі терморегуляції організму середня температура людського тіла знаходиться у діапазоні 36.5–37.2°C, який забезпечує комфортні умови для функціонування людського організму загалом. Проаналізовано різні моделі системи терморегуляції організму людини, які можуть використовуватися для прогнозування комфортного стану перебування людини у різних середовищах (приміщення, тепло, холод). Оскільки температура тіла є показником теплового стану організму загалом і відображає складні процеси, які відбуваються у ньому, цей показник є визначним фактором під час проектування робочого середовища людини з урахуванням примусової і природної вентиляції для забезпечення його комфортного стану, а також під час розроблення спеціального одягу для пожежників, водолазів, пілотів. Завдяки процесам терморегуляції досягається сталість температури різних частин тіла за будь-яких зовнішніх впливів на організм. Система терморегуляції організму забезпечує рівновагу процесів теплоутворення в організмі і теплопередачу назовні. Математичні моделі теплової системи людини, які стрімко розвиваються за останні роки, застосовуються у різних областях. Вони використовуються для оцінки умов навколишнього середовища у будівлях, автомобілебудуванні, літакобудуванні, ракетній і військовій галузях, текстильній промисловості для пожежників і водолазів, метеорології, медицині. У цих галузях зазначені моделі можуть використовуватися для дослідження характеристик людини в умовах різного температурного навантаження (термічного та холодного). *Ключові слова:* терморегуляція, тепловий стан людини, комфортні умови організму, метаболізм, теплове поле; теплопровідність; метаболічне генерування тепла; конвекція; випромінювання; випаровування.

Mathematical models for predicting human thermal comfort in the environment. Stasevych S., Ruda M., Nychai S.

The human body is a complex thermoregulatory system and for its normal functioning physiological and functional systems of human organs must work in a certain temperature stability. Body temperature is an indicator of the thermal state of the body as a whole and reflects the complex processes that occur in it. These processes are the heat generation of internal organs and tissues and heat exchange between these organs and the external environment. And thanks to the system of thermoregulation of the body, the average temperature of the human body is in the range of 36.5–37.2°C, which provides comfortable conditions for the functioning of the human body as a whole. Various models of the thermoregulatory system of the human body, which can be used to predict the comfortable state of human existence in different environments (premises, warm, cold), are analyzed. Since body temperature is an indicator of the thermal state of the body as a whole and reflects the complex processes occurring in it, this indicator is a significant factor in designing the human working environment, taking into account forced and natural ventilation to ensure its comfort, as well as the development of special clothing for firefighters, divers, pilots. Due to the processes of thermoregulation, the stability of the temperature of different parts of the body is achieved under any external influences on the body. The body's thermoregulatory system ensures the balance of heat production processes in the body and heat transfer to the outside. Mathematical models of the human thermal system, which are developing rapidly in recent years, are used in various fields. They are used to assess environmental conditions in buildings, automotive, aircraft, missile and military industries, the textile industry for firefighters and divers, meteorology, medicine. In these areas, these models can be used to study human characteristics under conditions of different temperature loads (thermal and cold). *Key words:* thermoregulation, thermal state of a person, comfortable conditions of an organism, metabolism, thermal field; thermal conductivity; metabolic heat generation; convection; radiation; evaporation.

Постановка проблеми. Температурний стан комфорту для оголеної людини становить 28–30°C, а легко одягненої – 22–25°C. Температура тіла вище 42°C призводить до втрати свідомості, за якої відбувається порушення обміну речовин у тканинах мозку. За температури 47°C настає кома, відбувається порушення серцевої діяльності і дихання.

Завдяки фізичним і хімічним процесам теплорегуляції досягається сталість температури різних частин тіла за будь-яких зовнішніх впливів на організм. Система терморегуляції організму забезпечує рівновагу процесів теплоутворення в організмі

і теплопередачу назовні. Людина адаптується до зовнішніх умов середовища, використовуючи свою систему терморегуляції.

Тому у сучасному кліматі із різкими перепадами температур (улітку за добу – на 10–15°C) потрібні моделі теплової поведінки організму людини за таких перехідних і нерівномірних змін температури середовища (наприклад, кондиційоване приміщення – спекотна вулиця, сонце – тінь тощо).

Актуальність дослідження. Регулювання температури тіла людини є балансом між виробленням тепла організмом і його передачею у навколишнє

середовище. Зовнішні екстремальні умови середовища можуть призвести до поганої терморегуляції тіла і, відповідно, до гіпертермії або гіпотермії.

Тому дуже важливо знати, як організм людини поводитиме себе у різних умовах навколишнього середовища: під час впливу температури повітря, вологості, швидкості вітру. Існує багато моделей системи терморегуляції організму, найвідомішими з яких є моделі Столвейка, Танабе та Фіала і які продовжують удосконалюватися постійно. Тому актуальним є вибір такої моделі системи терморегуляції, яка була би найбільш узгодженою із експериментальними показниками різних авторів, і використовувалася би для моделювання комфортного стану людини у змінному середовищі.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Упродовж своєї трудової діяльності людина перебуває у постійній тепловій взаємодії із виробничим середовищем, де створений свій мікроклімат. Метеорологічні умови виробничого середовища працівника (температура, відносна вологість, рух повітря, теплове випромінювання нагрітих поверхонь) суттєво впливають на стан організму та його працездатність.

Для нормального теплового самопочуття людини важливим є певне співвідношення температури, відносної вологості і швидкості руху повітря. Нормативним документом, що визначає параметри мікроклімату виробничих приміщень, є ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [1], в якому визначені оптимальні та допустимі параметри мікроклімату в робочій зоні приміщень для різних категорій важкості робіт у теплий і холодний періоди року.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Уперше моделювання тіла людини як теплової системи здійснив Лефевр у 1911 році [2]. Він змодельовав тіло у вигляді двох шарової сфери, ядро якої продукує тепло, а оболонка передає його у навколишнє середовище. Відтоді було розроблено багато теплових моделей, починаючи від однорідного циліндра для всього тіла до багат шарових циліндрів різних розмірів, які описують різні частини тіла, зв'язані між собою кровообігом [3; 4; 5; 6; 7]. Кожен шар зазвичай описує анатомічну структуру тіла (кістку, мозок, нутрощі, легені, м'язи, жир, шкіру). Умовно такі теплові моделі тіла людини можна розділити на 4 групи: односегментні, багатосегментні, двовузлові та багатовузлові теплові [8; 9].

Односегментні теплові моделі представляють тіло як один сегмент без системи терморегуляції. Багатосегментні теплові моделі, на відміну від багатовузлових, геометрично точніше описують тіло: тулуб, голову, шию, плече, лікоть, кисть, стегно, гомілку, стопу. Такою моделлю є модель Вісслера [10; 11], яка є однією із повних теплових моделей людини. Людське тіло розділено на 15 сегментів: голова, тулуб (грудна клітка, черевна порожнина),

верхні кінцівки (плече, лікоть, кисть), нижні кінцівки (стегно, гомілка і ступня). У цій моделі враховано зустрічний теплообмін між великими артеріями та венами і стан навколишнього середовища (температуру, рух повітря, відносну вологість). Кожний сегмент тіла складається з 4-х шарів (ядра, м'язів, жирового прошарку і шкіри) та має свою судинну систему (артерії, вени та капіляри).

Модель кровоносної системи побудована таким чином. Кожен із 15 сегментів має три судинні системи: артерії, вени і капіляри. Великі артерії та вени моделюються за допомогою артеріального басейну крові та басейну венозної крові. Артеріальна кров, яка входить до кожного сегменту тіла, надходить у капіляри цього сегмента або в артерії більш дистальних сегментів. Кров, яка залишає капіляри, вливається у вени, де вона змішується з венозним поверненням із більш дистальних сегментів. Після цього змішаний венозний потік повертається до серця та легенів для подальшої рециркуляції.

К. Вісслер зробив значний внесок у модель для прогнозування швидкості кровообігу, метаболізму тепла, виділення поту. Для системи керування задаються рівняння балансу маси, зокрема баланс маси кисню, двоокису вуглецю та молочної кислоти. Із цих контрольних рівнянь можна вирахувати потребу у кисні, тоді можна отримати генерацію швидкості метаболізму.

Двовузлові теплові моделі поділяють тіло на дві концентричні оболонки із зосередженими параметрами. Серцевина такої моделі описуватиме внутрішні органи, кістки, м'язи і жирову тканину, а зовнішня оболонка – шкіру.

Найвідомішою такою моделлю є модель Гагге [12]. У цій моделі описується теплове поле тіла двома рівняннями теплового балансу – для ядра і шкіри. Модель урахує вплив мутації, фізичної роботи, теплопровідності, конвекції через моделювання кровообігу між ядром і шкірою, втрату тепла через дихання легенями, конвекцію, радіацію та випаровування шкірою.

Багатовузлові теплові моделі ділять сегмент тіла на більш ніж два вузли, і для кожного такого шару температура вважається однорідною за всією товщиною. Однією із найвідоміших багатовузлових моделей є тепла модель Столвейка [13; 14; 15; 16]. У цій моделі вперше введено поняття «центрального басейну крові» як центру конвекційного теплообміну; вона стала основою для подальших досліджень моделей терморегуляції людини [3]. На основі моделі Столвейка було розроблено модель Танабе [17; 18] і модель Фіала [19; 20; 21] із більш детальною сегментацією тіла, складним теплообміном і вдосконаленою системою терморегуляції.

У моделі Фіала людський організм умовно поділено на дві взаємодіючі системи терморегуляції: пасивну, якою керують, та активну, яка керує пасивною системою.

Пасивна система – це фізична модель тіла людини (геометричні розміри тіла та його сегментів, фізіологічні параметри тканин тіла тощо) і явищ теплообміну всередині тіла та між поверхнею тіла і середовищем. Причому вважають, що метаболічне тепло виробляється безперервно і розподіляється всіма частинами тіла через кровообіг.

Активна система моделюється як модель, яка передбачає регуляторні реакції, такі як тремтіння м'язів під час холоду, потовиділення за нагрівання, вазомоторні реакції. Середня температура шкіри, температура ядра сегмента і швидкість зміни температури шкіри є вхідними сигналами від пасивної системи до активної.

Фізичну модель тіла Фіала описав так [19]: метаболічне тепло виробляється всередині тіла, яке розподіляється по сегментах тіла циркуляцією крові і переноситься кондукцією до його поверхні, звідти воно переходить у навколишнє середовище шляхом конвекції, випромінювання та випаровування. Ця модель ураховує геометричні та анатомічні параметри тіла, а також базальні фізіологічні і теплофізичні властивості тканин тіла людини.

В активній системі моделі Фіала використовуються регресійний аналіз фізіологічних реакцій організму людини (показники для регресійного аналізу моделі беруться із результатів експериментальних досліджень різних авторів) [21].

У роботі [22] здійснено експериментальне дослідження для моделей Танабе і Столвейка у змодельованих реальних умовах. Ці дослідження дозволили оцінити середню температуру досліджуваних людей і локальну температуру їх шкіри. Проведені дослідження показали, що температури, розраховані за моделями Танабе і Столвейка, добре узгоджуються з вимірними значеннями у нейтральних і високо-температурних умовах.

Методологічне або загальнонаукове значення. Під час трудової діяльності у виробничому середовищі людина має постійний теплообмін із навколишнім середовищем. За нормальних мікрокліматичних умов в організмі працівника за рахунок терморегуляції підтримується постійна температура тіла (36,6°C).

Досліджені моделі системи терморегуляції організму можна використовувати для вивчення регулятивних реакцій людей у різних умовах зовнішнього середовища – від понижених температурних умов до підвищених.

Ці моделі можуть використовуватися під час проектування робочих місць із оптимальними мікрокліматичними умовами для різних виробничих підприємств.

Виклад основного матеріалу. Люди досить часто піддаються впливу неоднорідного теплового середовища, причому кожна частина людського тіла має свої фізіологічні та геометричні характеристики, а ізоляція одягом частини тіла є різноманітною

і вносить суттєві корективи у загальний теплообмін із навколишнім середовищем. Тому для оцінки теплообміну людини у закритих середовищах (кабінах автомобілів, літаків, виробничих приміщеннях із кондиціонуванням повітря тощо) та на відкритому повітрі із різними кліматичними впливами потрібна модель терморегуляції людського тіла, яка дозволяє детально розглядати неоднорідні умови.

Модель Столвейка-Харді. Однією із найбільш відомих моделей системи терморегуляції тіла людини є модель Столвейка, яка стала основою для розвитку і розширення іншими авторами.

У моделі Столвейка-Харді розрізняють дві окремі системи терморегуляції: керуюча система і керована система, які на практиці дуже тісно переплітаються. Керована система є геометричним представленням тіла за допомогою теплових характеристик різних його частин. Центральний басейн крові (25-й сегмент) передає тепло між усіма іншими компонентами за допомогою конвекційного теплообміну, що відбувається з потоком крові до кожного компонента.

Кожен із двадцяти п'яти компонентів тіла представлений рівнянням теплового балансу, яке враховує теплообмін, що відбувається між сусідніми компонентами, тепло метаболізму, конвекційний теплообмін із центральним басейном крові, втрати тепла випаровуванням і теплообмін із навколишнім середовищем, якщо компоненти знаходяться у прямому контакті із навколишнім середовищем.

У цій моделі керована (пасивна) частина тіла людини апроксимує шістьма різними сегментами: голова представлена у вигляді сфери, а тулуб, верхні кінцівки (плече, лікоть) і нижні кінцівки (стегно, гомілка) – як циліндри. Кожний сегмент тіла гео-

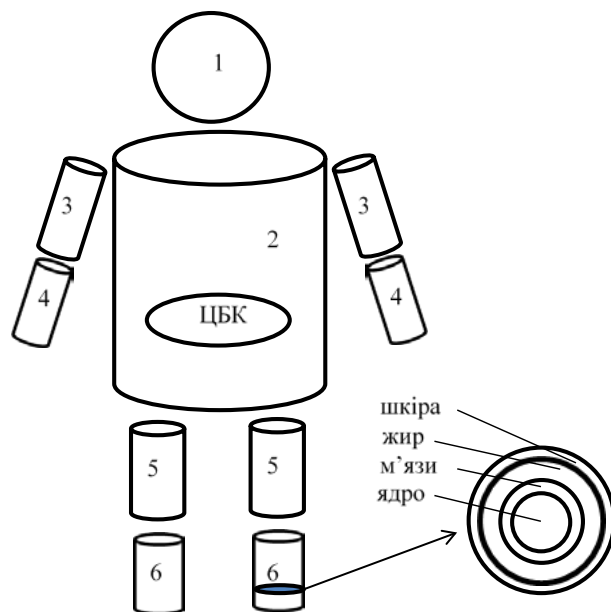


Рис. 1. Схема моделі Столвейка [16]:

ЦБК – центральний басейн крові, 1 – голова, 2 – тулуб, 3 – плече, 4 – лікоть, 5 – стегно, 6 – гомілка

метрично представлений концентричними шарами: ядро, м'язи, жир і шкіра (рис. 1) [16].

Додатковим сегментом є центральний басейн крові, який апроксимує великі артерії і вени, об'єднує всі шість сегментів через відповідну швидкість потоку крові до кожного сегмента і має з кожним сегментом конвекційний теплообмін. Ядро кожного сегменту є відповідно кісткою, нутрощами або мозком. Зовнішній шар кожного сегменту є шкірою. Басейн крові – це об'єм крові у серці та великих судинах. Кров як теплоносій у тілі має конвекційний теплообмін із кожною його частиною. Кров приходить у тканину із температурою крові центрального басейну та залишає її із температурою тканини.

Кровообіг у м'язах контролюється метаболізмом у м'язах (тремтіння м'язів під час охолодження або нагрівання від фізичних вправ) і дещо менше залежить від температури шкіри. У випадку тремтіння м'язів або фізичних вправ визначається додатковий метаболізм до базального метаболізму працюючих м'язів.

Керована система додатково характеризується конвекційним теплообміном між частинами за рахунок кровообігу. Для зручності опису керуюча система регулювання температури тіла моделі розділена на три частини. Перша частина має механізми (рецептори), які розпізнають тепловий стан контрольованої системи; друга (аферентна) – отримує інформацію про тепловий стан, підсумовує її і від-

правляє у мозок; третя (еферентна) – отримує виконавчі команди від мозку і переводить їх у еферентну відповідь організму на зовнішній подразник.

Для оцінювання поведінки терморегуляторного контролера у моделі прийнято, що терморекцептори присутні в усіх тканинах, а центральні рецептори розташовані у мозку.

Столвейк вивів рівняння керування пасивною частиною, в яких передбачені сигнали, що керують еферентною системою. Рівняння керування мають три складники: сигнал від температури мозку, інтегрований сигнал від температури шкіри і добуток температури мозку сигналу від температури шкіри.

Під впливом холоду терморегуляційною відповіддю організму людини є звуження судин і збільшення тепловиділення через тремтіння м'язів. В умовах фізичних навантажень втрати тепла відбуваються шляхом випаровування поту зі шкіри і дихання.

Модель Танабе. Організм людини здійснює теплообмін із навколишнім середовищем за рахунок процесів теплопередачі (рис. 2) [17], таких як конвекційний, радіаційне випромінювання на навколишні поверхні, під час дихання і перенесення маси тепла у разі випаровування шкірою людини.

Сам теплообмін організму із навколишнім середовищем відбувається з урахуванням багатьох чинників: стану організму (температури, емоційного стану,

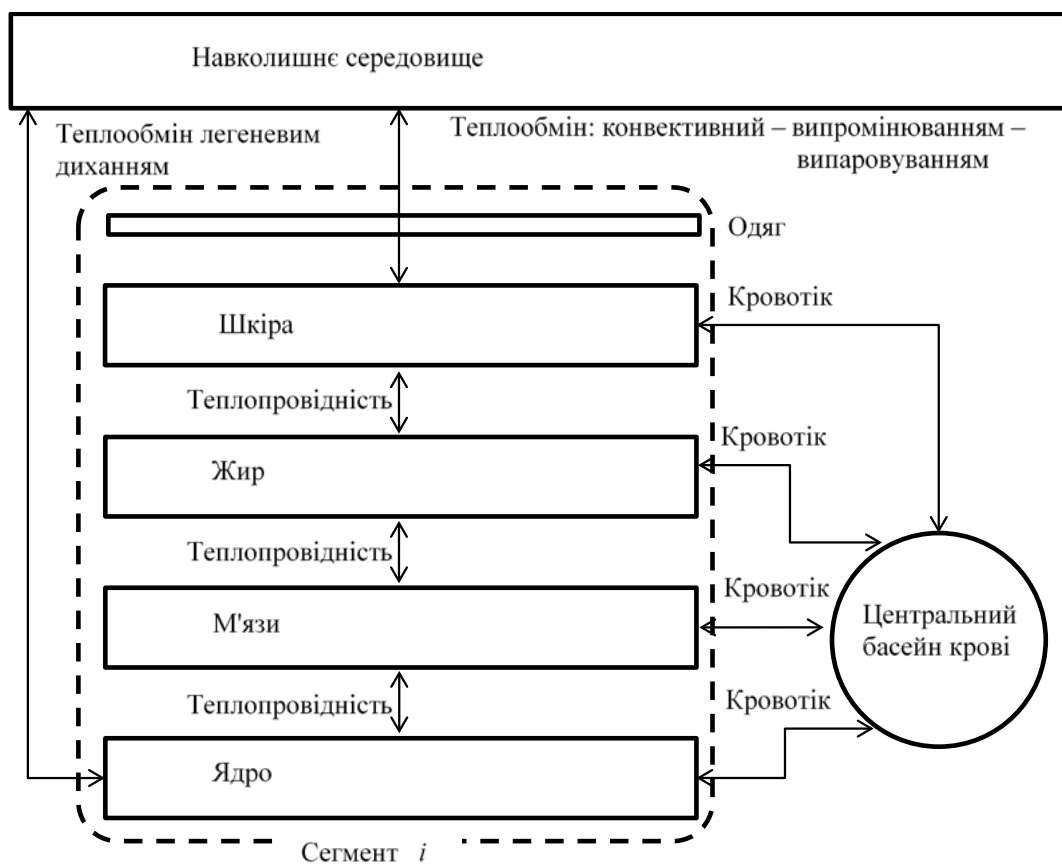


Рис. 2. Процеси теплообміну організму людини із навколишнім середовищем

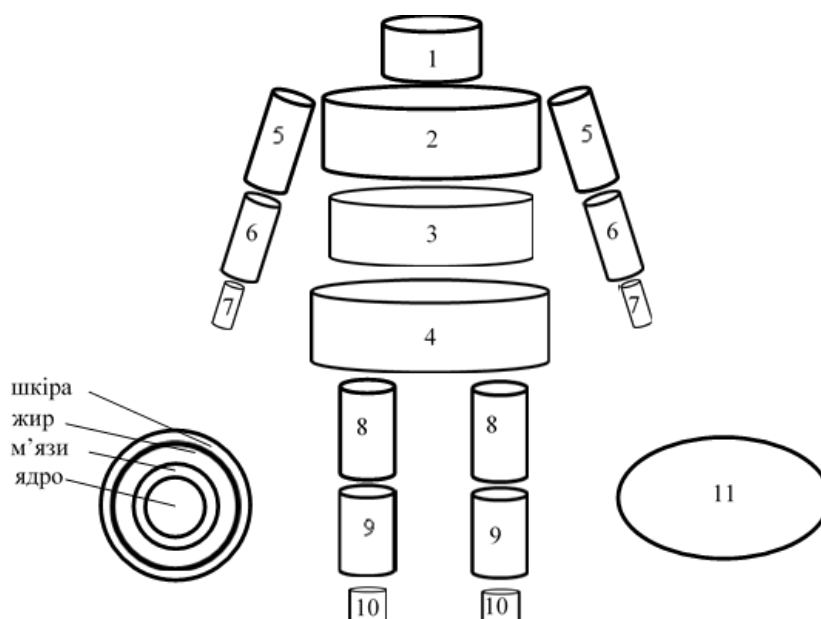


Рис. 3. Схема моделі Танабе [17]: ЦБК – центральний басейн крові,

1 – голова, 2 – грудна клітка, 3 – черевна порожнина, 4 – таз, 5 – плече,
6 – лікоть, 7 – кисть, 8 – стегно, 9 – гомілка, 10 – стопа, 11 – басейн крові

фізичного навантаження тощо), стану навколишнього середовища (температури, вологості, швидкості руху повітря тощо), одягу.

За аналогією із моделлю Столвейка модель Танабе геометрично поділяє тіло людини на такі сегменти: голова, тулуб (грудна клітка, черевна порожнина, таз); верхні кінцівки (плече, лікоть, кисть); нижні кінцівки (стегно, гомілка, стопа) і басейн крові.

Загалом тіло розділено на 16 сегментів, кожен із яких складається з 4-х шарів: ядра, м'язів, жиру та шкіри, загалом 64 сегменти. А 65-им сегментом приймається центральний басейн крові (рис. 3) [17].

Чотири шари у кожному сегменті обмінюються теплом за допомогою провідності, а шар шкіри обмінюється теплом із зовнішнім середовищем за допомогою конвекції, випромінювання та випаровування. Окрім того, всі вузли через кровотік обмінюються теплом із центральним басейном крові.

Модель системи терморегуляції організму людини, розроблену Танабе на основі моделі Столвейка, ще називають моделлю 65MN (65-ти вузловою моделлю системи терморегуляції організму людини). Результати експерименту, проведеного із використанням теплового манекену [18] і моделюванням реальних умов у приміщенні, показали достатню точність термічної моделі Танабе для використання під час моделювання комфортного стану людини.

Головні висновки. Модель Столвейка-Харді є сильною у багатьох аспектах. По-перше, вона здатна розрахувати просторовий розподіл температури в окремих сегментах тіла. По-друге, модель пов'язує ці окремі сегменти через кровообіг в артеріях, венах, і, таким чином, пропонує покращене представлення системи кровообігу і його впливу на розподіл тепла

всередині тіла. За допомогою цих удосконалень модель Столвейка-Харді дає інформацію, яка описує загальну теплову реакцію організму, а також місцеві реакції окремих частин тіла у різних умовах навколишнього середовища та фізичної активності.

Окрім цих переваг існує низка недоліків опису моделі Столвейка-Харді: ця модель не враховує вплив швидкості зміни температури шкіри на регулюючі системи, кондукційний теплообмін розглядається лише у радіальному напрямі або у напрямі, перпендикулярному середній лінії тіла.

У цій моделі, як і в моделі Гагге, температура кожного вузла береться однорідною в усьому об'ємі вузла і поширюється лише радіально між шарами, а швидкість кровообігу залежить від температури вузла. Однак це припущення не дає змоги враховувати відповідь організму на зміну навколишнього середовища. Модель добре працює в умовах високої температури, але гірше – у холодних умовах.

Наведені моделі можуть використовуватися для прогнозування комфортного стану людини у різних середовищах (проживання, роботи, відпочинку, подорожування тощо). Для підтримання теплового комфорту людина формує своє мікросередовище, використовуючи одяг і створюючи мікроклімат на робочих місцях чи вдома. Тому ці моделі допоможуть під час проектування робочого середовища людини з урахуванням примусової і природної вентиляції для забезпечення його комфортного стану, а також під час розробки спеціального одягу для пожежників, водолазів, пілотів.

Моделі системи терморегуляції людини і моделі реакції організму на теплове навантаження (холодове чи нагрівання) використовуються для прогнозу-

вання теплового комфорту людини у різних умовах виробничого середовища, для моделювання фізіологічних реакцій людського організму і складних процесів теплообміну у змінних умовах навколишнього середовища (температури повітря, середньої температури випромінювання, відносної вологості, швидкості повітря тощо) з урахуванням факторів, пов'язаних із людиною (одягу, рівня фізичної активності тощо). Результати моделювання використовуються як оптимальні параметри моніторингу для оцінки

теплових реакцій і теплового комфорту людини у різних умовах навколишнього середовища.

Перспективи використання результатів дослідження. Враховуючи дослідження, проведені авторами цих моделей, і повноту наведених ними вхідних параметрів, необхідних для проведення обчислювальних експериментів, ці моделі можна використовувати для прогнозування теплового комфорту людини у змінних умовах навколишнього середовища.

Література

1. ДСН 3.3.6.042-99 "Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень".
2. Lefevre J. *Chaleur Animale et Energetique*. Masson, Paris. 1911.
3. Katic K., Li R., Zeiler W. Thermophysiological models and their applications: A review. *Building and Environment*. 2016. Vol. 106. P. 286-300.
4. Cheng Y., Niu J., Gao N. Thermal comfort models: A review and numerical investigation. *Build. Environ*. 2012. Vol. 47. P. 13-22.
5. Enescu D. Models and Indicators to Assess Thermal Sensation Under Steady-State and Transient Conditions. *Energies*. 2019. No 12. P. 841.
6. Fu M., Weng W., Chen W., Luo N. Review on modeling heat transfer and thermoregulatory responses in human body. *J. Therm. Biol*. 2016. Vol. 62. P. 189-200.
7. Veselá S., Kingma B.R.M., Frijns A.J.H. Local thermal sensation modeling – A review on the necessity and availability of local clothing properties and local metabolic heat production. *Indoor Air*. 2017. Vol. 27. P. 261-272.
8. Yi, L., Fengzhi, L., Yingxi, L., Zhongxuan, L. An integrated model for simulating interactive thermal processes in humaneclothing system. *J. Therm. Biol*. 2004. Vol. 29. P. 567-575. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtherbio.2004.08.071>.
9. Qiantao Zhao, Zhiwei Lian, Dayi Lai. Thermal Comfort models and their developments: *Energy and Built Environment*. 2020. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2020.05.007>.
10. Wissler E.H. Mathematical simulation of human thermal behavior using whole body models. *Heat and Mass Transfer in Medicine and Biology Chapter*. 1985. No 13. P. 325-373.
11. Wissler E.H. The use of finite difference techniques in simulating the human thermal system. *Physiological and Behavioral Temperature Regulation Chapter*. 1966. No 27. P. 367-388.
12. Gagge A.P., J.A. Stolwijk, Y. Nishi. An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response. *ASHRAE Transactions 77 Part I*. 1971. P. 247-262.
13. Stolwijk J.A., Hardy J. D. Temperature regulation in Man – a theoretical study. *Pflugers Archives ges Physiology*. 1966. Vol. 291. P. 129-162.
14. Stolwijk J. A. J. A Mathematical Model of Physiological Temperature Regulation in Man. NASA-9-9531, 1970.
15. Stolwijk J.A. Mathematical model of thermoregulation, In: *Physiological and behavioral temperature regulation*. Chapter 48, 1970. P. 703-721.
16. Stolwijk J. A. J., Hardy J. H. Control of Body Temperature. *Handbook of Physiology Section 9: Reaction to Environmental Agents*. *Amer. Physiol. Soc*. 1977. P. 45-68.
17. Tanabe S.-I., Nakano J., Kobayashi K. Development of 65-node thermoregulation-model for evaluation of thermal environment. *J. Archit. Plan. Environ*. 2001. Vol. 541. P. 9-16.
18. Tanabe S., Kobayashi K., Nakano J., Ozeki Y. Evaluation of thermal comfort using combined multi-node thermoregulation (65MN) and radiation models and computational fluid dynamics (CFD). *Energy Build*. 2002. Vol. 34. P. 637-646.
19. Fiala D. Dynamic Simulation of Human Heat Transfer and Thermal Comfort. Ph.D. Thesis. De Montfort University, Leicester, UK, 1998.
20. Fiala D., Lomas K.J., Stohrer M. A computer model of human thermoregulation for a wide range of environmental conditions: The passive system. *J. Appl. Physiol*. 1985. Vol. 87. P. 1957-1972.
21. Fiala, D., Lomas K.J., Stohrer M. Computer prediction of human thermoregulatory and temperature responses to a wide range of environmental conditions. *Int. J. Biometeorol*. 2001. No 45. P. 143-159.
22. Tang Y., Yu H., Wang Z., Luo M., Li C. Validation of the Stolwijk and Tanabe Human Thermoregulation Models for Predicting Local Skin Temperatures of Older People under Thermal Transient Conditions. *Energies*. 2020. No 13(24). P. 6524. <https://doi.org/10.3390/en13246524>.

ЕКОЛОГІЧНА ОСВІТА

УДК: 001.8

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.5-38.3>

АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ДІДЖИТАЛ-ІНСТРУМЕНТІВ У РЕАЛІЗАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОСВІТИ ТА ПРИРОДООХОРОННОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В УКРАЇНІ ТА КРАЇНАХ ЄС

Горобей М.С.

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

Вивчені світові тенденції розвитку та впровадження сучасних цифрових технологій для реалізації цілей сталого розвитку, діджиталізації сучасної екологічної освіти та напрямків природоохоронної діяльності в умовах цифровізації економіки, а також цифрові технології як драйвер нового етапу сталого розвитку суспільства та потужний тренд з погляду реформування та модернізації глобального освітнього середовища. Цифрові платформи спрощують здійснення операцій, формування мереж зв'язків і обмін екологічною інформацією. В умовах нової економіки, під час жорсткої конкуренції, швидкого старіння технологій, професій, ідей, проникнення Інтернету в усі частини економіки діджиталізація також вийшла на новий рівень важливості для організації природоохоронної діяльності в Україні та країнах ЄС. Здійснено аналіз зарубіжного досвіду, зокрема, і країн Європейського Союзу, виявлено стан цих процесів в Україні та перелік проблем поточного стану природокористування, що вирішуються під час цифровізації, а також виклики розвитку екологічної галузі під час застосування сучасних діджитал-інструментів. Розглянуто можливості впровадження інноваційних цифрових технологій галузі, зокрема Інтернет-речей, хмарні обчислення, великі дані та аналітика даних, робототехніка, аерокосмічна зйомка, бази-аналізatori стану компонентів навколишнього середовища, потенціал технологій 3D, AR/VR, які відкривають нові горизонти для розвитку інноваційних продуктів з метою протидії сучасним викликам у сфері забезпечення екологічної безпеки держави та реалізації заходів щодо охорони навколишнього природного середовища. Зазначено, що Україна ще недостатньо трансформує можливості сучасних цифрових технологій. Розроблено пропозиції щодо актуалізації цих питань та їх вирішення. *Ключові слова:* діджиталізація, цифрові технології, природоохоронна діяльність, екологічна освіта, сталий розвиток.

Current issues of implementation of modern digital tools in the implementation of environmental education and environmental protection in Ukraine and EU countries. Horobei M.

The world tendencies of development and introduction of modern digital technologies for realization of the Goals of sustainable development, digitalization of modern ecological education and directions of nature protection activity in the conditions of digitalization of economy, and also digital technologies as the driver of a new stage of sustainable development of society are studied. Digital platforms simplify operations, networking and the exchange of environmental information. In the new economy, with fierce competition, rapidly aging technologies, professions, ideas, the penetration of the Internet into all parts of the economy, digitalization has also reached a new level of importance for the organization of environmental activities in Ukraine and the EU. The analysis of foreign experience, including the European Union, the state of these processes in Ukraine and the list of problems of the current state of nature, which are solved during digitalization, as well as the challenges of environmental development through the use of modern digital tools. Possibilities of introduction of innovative digital technologies of branch, in particular Internet of things, cloud computing, big data and data analytics, robotics, aerospace shooting, bases-analyzers of a condition of components of environment, potential of technologies 3D, AR / VR which open new horizons for development of innovative products are considered in order to counter modern challenges in the field of environmental security of the state and the implementation of measures to protect the environment. It is noted that Ukraine is still not sufficiently transforming the capabilities of modern digital technologies. Proposals have been developed to update these issues and address them. *Key words:* digitalization, digital technologies, environmental protection, ecological education, sustainable development.

Актуальність теми. Інтенсивне проникнення цифрових технологій в усі сфери життя порушує низку практичних питань. Як і у випадку з іншими нововведеннями, світ онлайн-технологій пов'язаний із певними протиріччями та непередбаченими обставинами. Водночас вимоги суспільства зростають, змушуючи нас адаптуватися до прогресу XXI століття. COVID-19 ініціював у безпрецедентній швидкості зміни в освітній системі – цифрова трансфор-

мація прискорилося. Це додало нові можливості та проблеми для усіх учасників освітнього процесу.

В умовах розбудови економіки, жорсткої конкуренції, швидкого старіння технологій, професій, ідей діджиталізація піднялася на новий щабель важливості в усіх сферах життєдіяльності суспільства, зокрема освітньої системи та захисту довкілля, а отримання актуальних компетенцій стає особливо важливим, щоб залишатися затребуваним фахівцем у своїй галузі.

Сьогодні зростає роль інноваційних технологій у досягненні Цілей сталого розвитку та довгострокового балансу між техносферою і природним середовищем, що потребує окремого дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Особливості функціонування діджитал-інфраструктур у сфері екології та природоохоронної діяльності досліджено у наукових працях таких зарубіжних авторів, як О. Тоффлер, Д. Белл (Daniel Bell), М. Маклюен (Herbert Marshall McLuhan). За останні десять років з'явилася значна кількість досліджень, присвячених вивченню характеристик та впливу дистанційних технологій на розвиток особистості та забезпечення якості освіти. [1; 2; 3]

Зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Питання перспектив розвитку освіти в умовах глобалізації сьогодні стоїть перед багатьма дослідниками. Інноваційні технології – це невід'ємний інструмент покращення освітніх результатів. У сучасній освіті для її глобалізації мають відбутися серйозні зміни, тобто пройти процеси модернізації та реформування з метою приведення суттєвих рис та характеристик національної освіти відповідно до викликів та трендів процесу глобалізації та, закономірно, успішного та найменш болючого входження у глобальну освітню систему майбутнього, а також з метою протидії сучасним викликам у сфері забезпечення екологічної безпеки держави та реалізації заходів щодо охорони навколишнього природного середовища [4].

Виклад основного матеріалу. Ухвалений у вересні 2020 року «План дій ЄС на 2021–2027 рр. щодо цифрової освіти» (The Digital Education Action Plan (2021–2027)) є частиною спільних заходів щодо подолання масштабної кризи, спричиненої пандемією COVID-19. Він визначає вимоги цифрової епохи до системи освіти, а також довгострокові та першочергові завдання, які стоять перед ЄС у цьому контексті, кроки щодо реалізації даного проєкту [5; 6]. За даними Євростату, у Європі менше 40% викладачів виявилися здатними використовувати цифрові технології у навчанні, а кожен п'ятий учень не мав навіть базового рівня цифрових компетенцій. Опитування засвідчили, що до кризи 60% респондентів зовсім не мали досвіду онлайн-навчання [6].

Саме тому ЄС спрямовує зусилля на розширення потенціалу використання цифрових технологій у навчальній діяльності та переналаштування всієї освітньої системи Європи для її успішного функціонування у новому цифровому столітті. Стратегічними завданнями є підвищення якості та інклюзивності європейської освіти на основі забезпечення масової цифрової компетентності [5].

Міністерство освіти і науки України у 2021 р. також підготувало для громадського обговорення проєкт Концепції цифрової трансформації освіти і науки на період до 2026 року, яка представляє комплексне системне стратегічне бачення цифрової тран-

сформації таких сфер та відповідає засадам реалізації органами виконавчої влади принципів державної політики цифрового розвитку [10].

Отже, цифрова трансформація системи загальної та професійної освіти виступає як ключове завдання на найближчі роки. На її рішення спрямовані зусилля всього європейського суспільства. Нині система екологічної освіти знаходиться на етапі, коли тенденції цифрової та онлайн-освіти потребують інституціоналізації в навчальних закладах нового типу.

Для вирішення цих завдань щодо гнучкості та мобільності навчального процесу для різних цільових аудиторій у світі неухильно зростає кількість методик дистанційного навчання, що включають роботу з відкритими електронними бібліотеками та сховищами, освоєння спеціально розроблених електронних підручників та практикумів, онлайн-курсів з програмних дисциплін, проведення вебінарів, дистанційне виконання контрольних завдань, обговорення питань на форумі, у чатах тощо [7; 8].

Під час навчання студентів у технічному вузі існує значна кількість цифрових джерел інформації: електронні бібліотеки, бази даних, різні веб-сайти, онлайн-словники, відеоглосарії та тексти з високим рівнем достовірності, ресурси з перевірки текстів на академічний плагіат (Advego Plagiatus, Unicheck та ін.), цифрові платформи (Google Workspace for Education, Moodle), цифрові інструменти Microsoft (Microsoft Word, Microsoft Excel, Microsoft Power Point та ін.), засоби зв'язку (Zoom, Google Meet, Avaya Spaces, Webex тощо), засоби для досліджень із застосуванням нових технологій, аерокосмічної зйомки баз-аналізаторів стану компонентів навколишнього середовища, потенціал технологій 3D, AR/VR (наприклад, відновлення пошкодженого пожежею Собору Паризької Богоматері з поєднанням використання численних даних з комп'ютерної гри Assassin's Creed Unity та сучасних методів 3D-сканування). Ці технічні засоби мають інтерактивний та мультимедійний характер, а також є цифровим форматом відносин між викладачами та студентами.

Основні переваги цифровізації освіти:

- 1) індивідуальний підхід до студентів за рахунок використання штучного інтелекту;
- 2) формування особистих планів навчання;
- 3) підвищення інтенсифікації навчального процесу та інтересу до нього студентів;
- 4) підвищення показників успішності студентів;
- 5) розвиток творчого потенціалу;
- 6) розмежування форм навчального матеріалу та контроль знань;
- 7) розвиток соціального та культурного капіталу особистості;
- 8) інклюзивність та транспарентність освіти.

Однак, незважаючи на очевидні переваги, використання цифрових технологій в освітньому процесі пов'язане з певними ризиками, зокрема для викладачів: недостатній рівень цифрових компетенцій; тран-

сформація критеріїв оцінки; збільшення додаткового навантаження; переміщення вектору педагогічної роботи в електронному освітньому середовищі; звужуючі межі прямої взаємодії викладач-студент. Для студентів це: інформаційне навантаження; ризику, пов'язані зі зниженням якості освіти та рівня підготовки студентів (ці ризики визначаються відсутністю необхідності запам'ятовувати знання в умовах їх широкої доступності); посилення когнітивних упереджень; виникнення проблем у формуванні навичок міжособистісного спілкування; обмеження рухової активності.

Цифрові платформи спрощують здійснення операцій, формування мереж зв'язків і обмін екологічною інформацією. За допомогою технологій можна легко відстежити свій екологічний вплив на природу, починаючи від кількості використаної води і завершуючи мапою із пунктами прийому вторинної сировини. За допомогою автономних човнів, забезпечених метеорологічними і океанографічними датчиками, вчені збирають дані про стан океану і зміну клімату і визначають забруднення океану. У багатьох країнах під егідою Організації Об'єднаних Націй (UNEP) реалізується транскордонний проєкт з моніторингу навколишнього середовища у вигляді глобальної інфраструктури баз даних щодо природно-ресурсної інформації GRID. У країнах ЄС досить популярна комплексна система моніторингу та прогнозування якості повітря Airly, яка дозволяє у реальному часі отримувати дані про забруднення повітря. На сьогодні існують проєкти, які збирають гроші онлайн та витрачають їх на посадку справжніх живих дерев, причому на всій планеті. Наприклад, у Франції це проєкт Reforestaction (3 євро за дерево, але ліси можна садити в різних країнах на вибір). Натомість користувач отримує сертифікат, GPS-координати посаджених дерев та приємну статистику. За даними Reforestaction, більш ніж сім мільйонів дерев, які посадили його користувачі, вже поглинули більше мільйона тон CO₂ і створили умови для появи 21 мільйона пташиних гнізд [9].

Варто зазначити що існує величезна активність вітчизняних стартапів у напрямі створення інноваційних технологій на базі штучного інтелекту для соціальних та екологічних цілей. Наприклад, за допомогою ШІ користувачі можуть сканувати будь-який вид рослин, тварин і грибів та отримувати повну інформацію про нього в Україні (мобільний додаток Malva). Найпопулярніші з екологічних додатків в Україні: Worldometers; Your plan, Your planet; GP Calculator; Ecomapa; goRecycle тощо. Однак, попри окремі успіхи, Україна недостатньо трансформує можливість сучасних цифрових технологій, і підхід до реалізації затверджених заходів має спорадичний характер.

Значне коло проблем природокористування розв'язуються під час цифровізації: збір та зберігання даних про стан компонентів навколишнього природного середовища переважно на паперових носіях та у нестандартизованих цифрових форматах (напри-

клад, на даний момент є дуже велика база охоронних зобов'язань, що досі не перенесені на електронні носії); відсутність єдиних стандартів збору та обміну цифровою інформацією в рамках галузі; низька поінформованість громадян про якість стану довкілля та заходів, що вживаються органами виконавчої влади щодо зниження негативного впливу на навколишнє середовище; незначна кількість вітчизняних технічних та програмних рішень для оцінки антропогенного навантаження на довкілля, прогнозування поширення забруднення у різних природних середовищах, зниження викидів в атмосферне повітря.

Виклики розвитку галузі (напрям) під час застосування сучасних діджитал-інструментів:

1. Застосування вимог до виробничих процесів, спрямованих на запобігання кліматичним змінам, охорону навколишнього середовища та збереження біосфери.

2. Мінімізація зростаючого антропогенного навантаження на навколишнє середовище (зростання кількості автотранспорту, збільшення обсягу утворення відходів виробництва та споживання при низькому рівні їх утилізації, значної кількості об'єктів накопиченої шкоди навколишньому середовищу, високий рівень забруднення та низька якість води значної частини водних об'єктів та інше), що приводить до деградації природних об'єктів

3. Значне підвищення рівня екологічної освіти та екологічної культури населення.

4. Поліпшення якості та автоматизація взаємодії органів державної влади та громадськості.

Загальні виклики формують низку стратегічних ризиків, серед яких найбільш значущими є:

1. Невідповідність рівня знань кадрового потенціалу в екологічній сфері новим вимогам цифрової трансформації (низькі цифрові компетенції).

2. Висока вартість і, відповідно, тривалість реалізації значних природоохоронних та цифрових проєктів.

Висновки. Отже, в сучасних умовах пандемії коронавірусу COVID-19 і, як наслідок, карантинних обмежень та переходу на дистанційне навчання цифровізація освіти найяскравіше висвітлює як актуальність, так і проблемний характер. Упровадження інноваційних технологій вимагає, з одного боку, змін у методиці викладання та навчання, а з іншого боку, процеси цифрової трансформації можуть підтримати багато соціальних практик та гуманітарно-демократичних ініціатив. Останнє є найціннішим «надбанням» цифровізації. Таким чином, зростають можливості інклюзивної освіти в задоволенні різноманітних, особливих, освітніх потреб та обліку індивідуальних можливостей студентів тощо. Варто зазначити, що сучасна екологічна освіта зазнала серйозних перетворень, викликаних подальшою інтеграцією нових цифрових технологій в академічну діяльність, і активно шукає ефективні компромісні моделі впровадження.

Сьогодні, зважаючи на прогнози глобальних системних змін, зумовлених результатами індустрії 4.0, зростаючий вплив діджиталізації, необхідно створити реєстр цифрових технологій, що дозволить обрати оптимальні варіанти рішень, прискорити процес їх вибору та ухвалення під час реалізації екологічних проєктів. Отже, наука, освіта,

громадянське суспільство має виконати величезну практичну роботу щодо подолання споживчого ставлення до ресурсів нашої планети й формування практичних знань в умовах експоненціального зростання інформації, стрімкого науково-технологічного розвитку виробництва й управління, ризиків цифрового суспільства.

Література

1. S. Alirezabeigi, J. Masschelein, M. Decuyper Investigating digital doings through breakdowns: a sociomaterial ethnography of a Bring Your Own Device Media and Technology. 2020. 45(2). P. 193–207.
2. Muktiarni M., et al. Digitalisation trend in education during industry 4.0. *Journal of Physics – Conference Series*. 2019. Vol. 1402. No. 7.
3. Paulsen, Michael, and Jesper Taekke. Digitalisation of education: The three waves. *Nordic Sociological Association*. 2016.
4. Мачехина О.Н. Діджиталізація процесів модернізації и реформирования в образованні: компаративний анализ. *Інтерактивне образование*. 2018. № 5. С. 2–9
5. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Digital Education Action Plan 2021–2027. Resetting education and training for the digital age / EUR-Lex. URL : <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?qid=1602778451601&uri=CELEX%3A52020DC0624>.
6. Digital Education Action Plan 2021–2027. Resetting education and training for the digital age / European Commission. URL : https://ec.europa.eu/education/education-in-the-eu/digital-education-action-plan_en.
7. Digital Education Policies. URL : <https://ec.europa.eu/jrc/en/digital-education-policies>.
8. I. Dussel, Digital classroom: A Historical Consideration on Redesigning of Contexts of Learning, I. Grosvenor, L. Rosén Rasmussen (Eds.). *Making Education, Material School Design and Educational*. 2018. P. 173–196.
9. Офіційний веб-ресурс проєкту. URL : <https://www.reforestaction.com/>.
10. Офіційний веб-ресурс МОН України. URL : <https://mon.gov.ua/ua/news/koncepciya-cifrovoyi-transformaciyi-osviti-i-nauki-mon-zaprosnye-do-gromadskogo-obgovorennya>.

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ НАВЧАННЯ: ТЕСТОВИЙ КОНТРОЛЬ ЗНАТЬ ІЗ ДИСЦИПЛІНИ «ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ У ПРИРОДНИЧІЙ ГЕОГРАФІЇ»

Климчик О.М.

Поліський національний університет
бульв. Старий, 7, 10008, м. Житомир
olga-su@ukr.net

Освітня політика України нині орієнтована на досягнення сучасного світового рівня; докорінне покращення змісту, форм і методів навчання; підвищення рівня інтелектуального потенціалу держави. Тому забезпечення високого та якісного рівня підготовки випускників вищих навчальних закладів, зокрема із природничих наук, має базуватися на максимальній інтеграції наукових досліджень і новітніх інформаційно-комунікаційних технологій у навчальний процес.

Тестові технології у навчальному процесі активно використовуються у світовій педагогічній та освітянській практиці, оскільки тестування є одним із найзручніших і найшвидших засобів діагностики та оцінки предметних компетентностей і результатів навчання здобувачів. Наразі впровадження і застосування тестового контролю знань студентів є необхідною та обов'язковою умовою діяльності вищих навчальних закладів. Тестування може використовуватися для актуалізації знань студентів, установлення рівнів успішності окремих студентів та академічних груп і підсумкового оцінювання.

В Україні тестовий контроль як засіб діагностики якості освіти є обов'язковим складником стандарту освіти. Нині у системі вищої освіти напрацьовано і широко апробовано методики тестування, проте вони постійно вдосконалюються.

У статті наведено переваги технології тестового комп'ютерного контролю знань студентів на різних етапах вивчення навчального матеріалу із дисципліни «Геоінформаційні системи у природничій географії». Проаналізовано досвід використання програмно-методичного комплексу тестування та оцінки персоналу «Mirax Test Pro» компанії MiraxSoftware. Розкрито методологічні основи тестового контролю рівня знань студентів і розглянуто організаційно-технологічні аспекти розроблення тестів успішності навчання на різних рівнях вищої освіти. Викладено основні положення про практику застосування тестового контролю знань під час викладання дисципліни «Геоінформаційні системи у природничій географії» для здобувачів вищої освіти другого року навчання за спеціальністю «Науки про Землю», наведено результати впровадження у Поліському національному університеті програмно-методичного комплексу тестування та оцінки персоналу Mirax Test Pro компанії MiraxSoftware. *Ключові слова:* тестовий контроль, програмно-методичний комплекс, компетентності, успішність навчання, результати тестування, природничі науки.

Modern study technologies: test control of knowledge in the discipline «Geoinformation systems in natural geography». Klymchuk O.

Ukraine's educational policy at this stage is oriented on achievement of modern world level, radical improvement of content, form and methods training and raising the level of intellectual potential of the state. Thus ensuring a high level of training of higher educational institutions graduates, including the natural sciences, should be based on maximum integration of scientific research and the latest information-communication technologies in the educational process.

Test technologies in the study process are actively used in world pedagogical and educational practice, but testing is one of the most convenient and fastest means of diagnostics and assessment of subject competencies and learning results of applicants. Currently implementing and the application of test control of students' knowledge is necessary condition of the activity of higher educational institutions. Testing can be used to update students' knowledge, establish levels of success of individual students and academic groups and the final evaluation.

In Ukraine, test control, as a mean of education quality diagnosing is necessary part of education standard. Today in the higher education system widely tested testing techniques, however they continue improving.

The article presents the advantages of test computer technologies for students' knowledge control at different stages of educational material learning on «Geoinformation systems in natural geography» discipline. The experience of using the program-methodical testing and evaluation of personnel «Mirax Test Pro» of MiraxSoftware complex is analyzed. The methodological bases of test control of the level of students' knowledge and study of organizational and technological aspects of development of success tests training at different levels of higher education. The basic provisions concerning practice of application of knowledge control test during "Geographic information systems in natural geography» discipline teaching for graduates of the second education year of study in the «Earth Sciences» specialty and the results of implementation in Polissya National University the program-methodical complex of testing and assessment of «Mirax Test Pro» by MiraxSoftware. *Key words:* test control, program-methodical complex, competencies, success of learning, test results, natural sciences.

Постановка проблеми. Контрольно-оцінна діяльність викладача є важливим і необхідним компонентом навчального процесу. З-поміж різних видів контролю тестовий комп'ютерний контроль відіграє провідну роль, оскільки впливає на

характер засвоєння знань і розумовий розвиток студентів, забезпечує ефективне здійснення діагностики рівнів засвоєння знань і виключає суб'єктивний фактор під час оцінки знань студента. Систематичне проведення контрольних заходів за

допомогою сучасних інструментів контролю дозволяє вищим навчальним закладам (ВНЗ) формувати якісно підготовлених фахівців, здатних застосовувати накопичений багаж знань, навичок і вмінь для професійної діяльності. Тому ефективна організація контролю рівня засвоєних знань під час навчання студентів у ВНЗ є одним із найактуальніших завдань у методиці викладання дисципліни [7].

Актуальність дослідження. Застосування сучасних комп'ютерних технологій у навчальному процесі дає змогу використовувати у педагогічній практиці новітні психолого-педагогічні розробки, які дозволяють інтенсифікувати навчальний процес і втілити засади розвивального навчання. Випускник ВНЗ повинен не тільки володіти базовими знаннями у галузі комп'ютерної техніки, але і бути фахівцем із застосування інформаційно-комунікативних технологій у своїй професійній діяльності, вміти швидко орієнтуватись у різноплановому інформаційному середовищі [2; 3]. Вибір теми цієї статті зумовлений доцільністю обміну досвідом використання тестових програм у навчальному процесі під час викладання дисципліни «Геоінформаційні системи у природничій географії» (ГІС у ПГ).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Термін «тестування» уперше використав Дж. Фішер для перевірки рівня знань, умінь і навичок учнів за допомогою оригінальних спеціальних книг (scale books), які з'явилися у 1864 році у Великій Британії [8]. Історичний розвиток тестології і можливості її застосування у педагогічній практиці детально досліджено І. Є. Булахом [6]. Сутність і зміст сучасних освітніх технологій навчання, інтегрованих із інформаційними технологіями, розкрито у працях М.Ю. Кадемїї, І.Ю. Шахіна, О.Е. Коваленка, Є.В. Шматкова, Н.А. Шишенка та інших [8; 9]. Ця галузь набула широкого розвитку у США і розвинених країнах Західної Європи, де наразі накопичено великий досвід із розроблення і практичного застосування тестів у різноманітних сферах соціально-наукової і практичної діяльності. Світова практика підготовки фахівців свідчить, що одним із сучасних вискоефективних методів контролю та оцінювання рівня засвоєння знань, найбільш коректним засобом виміру характеристик особистості суб'єкта навчання є методи тестового і програмованого контролю [7; 10].

Методологічною основою роботи є теоретичні положення і висновки щодо надбань світової освітньої думки, фундаментальні концепції і закони сучасної навчально-дослідницької системи. Розроблення тестового матеріалу із дисципліни «ГІС у ПГ» базувалося на положеннях Закону України «Про вищу освіту», стандарті вищої освіти, освітній програмі спеціальності 103 «Науки про Землю» із використанням освітньо-кваліфікаційної характеристики, а також на використанні тестових технологій у навчальному процесі, зокрема

програмно-методичного комплексу (ПМК) тестування та оцінки персоналу *Mirax Test Pro* компанії *MiraxSoftware* [1; 3; 4; 5; 10].

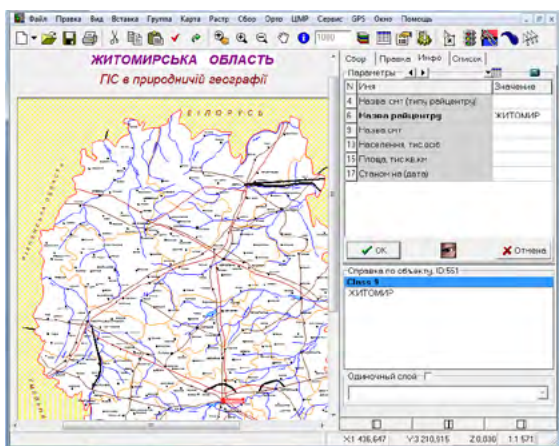
Викладення основного матеріалу. Наразі одним із найпоширеніших методів контролю знань, умінь і навичок студентів є комп'ютерне тестування [9]. Загалом під тестовим контролем розуміють «...систему науково і методично обґрунтованих та логічно взаємопов'язаних між собою контрольних завдань, що дозволяє кількісно, надійно та адекватно оцінити знання студентів, а також технології перевірки та оцінювання успішності їх підготовки» [6].

Багаторічний досвід організації навчального процесу у ВНЗ в умовах кредитно-модульної системи свідчить про значні переваги тестового контролю знань на різних рівнях підготовки студентів [5]. Тестова перевірка дає змогу ефективно використати і суттєво заощадити навчальний час, висуває до всіх студентів однакові вимоги, усуває суб'єктивізм і надає можливість оцінити рівень засвоєння навчального матеріалу великого обсягу. Важливо, що об'єктивність оцінки унеможливує випадковість в оцінці знань і стимулює студентів до самооцінки. Використання тестових технологій також дозволяє значно скоротити час очікування студентами оцінки після виконання завдання, що є дуже суттєвим психологічним і виховним фактором [6; 9].

Під час розроблення тестових завдань для проведення підсумкового тестування із дисципліни «ГІС у ПГ» використано вибіркового типу питання. Це класичний варіант, який переважна частина розробників вважає необхідним і достатнім для проведення комп'ютерного тестування [9]. У цьому випадку може бути одна або декілька правильних відповідей із запропонованих. Попри те, що цей тип досить складний для студентів, він дає викладачеві потужний інструмент для перевірки та оцінки не лише конкретних знань із дисципліни, але і розвитку логіки мислення [5]. До того ж комп'ютерне здійснення цього типу тестування є нескладним і передбачає можливість використання різноманітних інформаційно-комунікативних методик. Зокрема, програмно-методичний комплекс (ПМК) тестування та оцінки персоналу *Mirax Test Pro* компанії *MiraxSoftware* доступний для безкоштовного скачування [10]. Програма *Mirax Test* працює в операційних системах *Windows XP, 98, ME, 2000*. Найбільш суттєвим під час застосування цієї програми є той факт, що в «тіло» програми *Mirax Test*, крім професійних, логічних та IQ тестів, вміщений редактор, в якому можна створювати власні тести і редагувати ті, які вміщені у стандартну поставку [4; 10]. У разі потреби у редакторі можна вилучити базу небажаних тестів. Усі тести, створені за допомогою редактора, розпізнаються усіма версіями *Mirax Test*. Будь-який тест може містити необмежену кількість питань із різними варіантами відповідей, до будь-якого питання може бути додано зображення (формат *.jpg).

Базою текстових даних для тестування є файл формату *.doc із переліком питань або завдань за темами, які відпрацьовувалися студентом на аудиторних заняттях (лекції, практичні або лабораторні заняття) та під час самостійного відпрацювання навчального матеріалу. Для полегшення роботи у програмі редагування здійснено їх наскрізну нумерацію. На кожне питання або завдання сформований перелік відповідей, які стосуються конкретної теми. Правильна відповідь позначається як *nv*.

Приклад:
41.



Панель якої ГІС-програми наведена на рисунку:
- Пакет програми «Digitals для Windows». (*nv*)
- Пакет програми «MapInfo».
- Пакет програми «ArcView GIS».

Базою графічних даних є зображення, які використовуються у питаннях і завданнях тесту. Їх доцільно розташовувати в окремій папці, яка створюється у блоці файлів програми тестування, та позначати номером питання (завдання). У разі потреби можна коригувати або вилучати питання чи відповіді на запитання, для чого використовуються відповідні кнопки управління редактором (рис. 1).

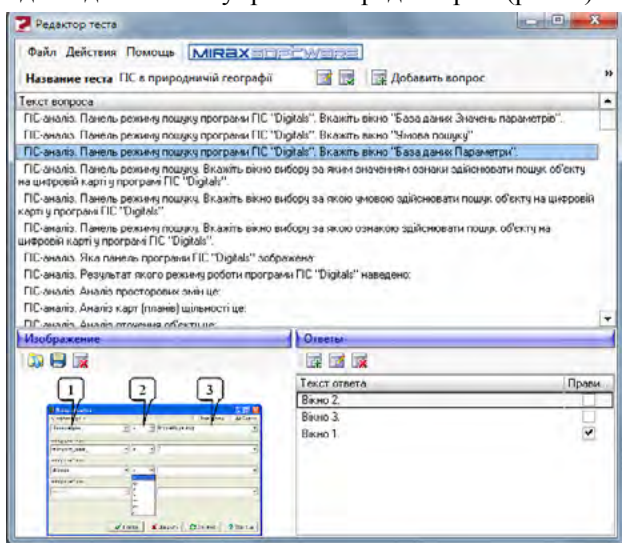


Рис. 1. Панель «редактор тесту»

На комп'ютері (ЕОМ), на якому передбачається здійснення тестового контролю знань із дисципліни «ГІС у ПГ», встановлюють папку тесту, із якої вилучають файл запуску редактора (коригування). Студент у встановлений розкладом час (або під час самостійної роботи) заходить у лабораторію і з дозволу завідувача лабораторією на своєму робочому місці вмикає ЕОМ. Студент запускає тест і в панелі інтерфейсу тесту у відповідних вікнах вводить умови тестування: відомості про себе (прізвище, ім'я, курс та номер групи), у розділі «Тести» в лівому вікні ставить відмітку, у правому вікні вибирає назву тесту (приклад – ГІС у ПГ); у вікні «Максимальна кількість питань» виставляє встановлену кількість питань (рис. 2).



Рис. 2. Панель інтерфейсу тесту «умови тестування»

Після встановлення потрібних параметрів тестування студент дає команду «почати тестування». Надалі відкривається панель програми тестування, за якою студент перевіряє правильність введення умов тестування і дає команду для початку тестування «старт» (рис. 3).

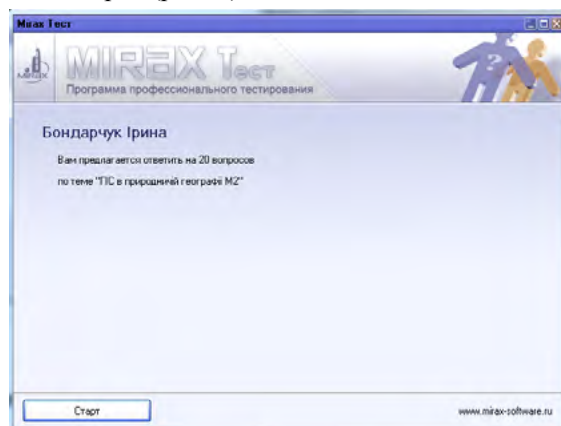


Рис. 3. Панель відображення умов тестування

Після команди «старт» відкривається панель «тема тестування» (рис. 4).

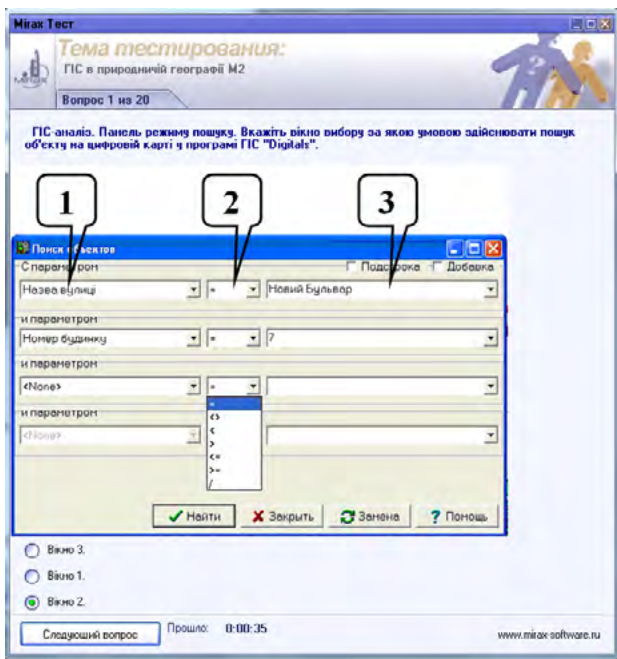


Рис. 4. Панель «тема тестування»

Студент читає та аналізує питання, дає відповіді, аналізує зображення до завдання; із переліку відповідей вибирає, за його розумінням, правильну відповідь, ставить у вікні позначку вибраної відповіді, дає команду «наступне питання». Після закінчення

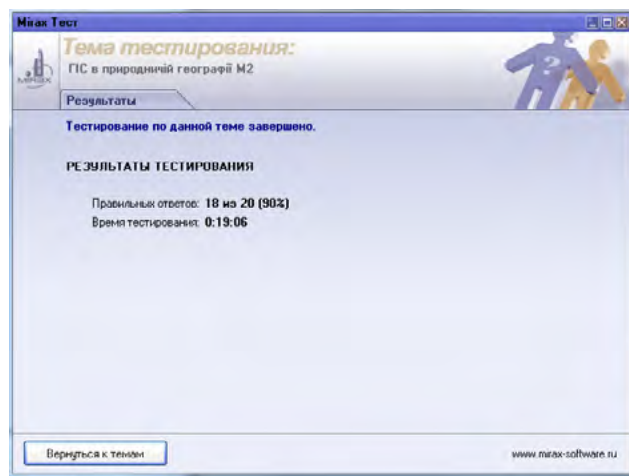


Рис. 5. Панель «результати тестування»

Результаты тестирования по теме " ГИС в природничій географії М2 "

Тестируемому было предложено ответить на 20 вопросов
 В результате чего он ответил на 20 вопросов
 из них на 18 (90%) правильно
 Затрачено времени: 0:19:06

Подробно

Бондарчук Ірина

3 к 1 група
 Результаты тестирования по теме " ГИС в природничій географії М2 "

Тестируемому было предложено ответить на 20 вопросов
 В результате чего он ответил на 20 вопросов
 из них на 18 (90%) правильно
 Затрачено времени: 0:19:06

Анализ ответов:

Вопрос:
 Субтрактивная колірна модель заснована:

Ответил правильно:
 На відніманні основних кольорів.

Вопрос:
 Вкажіть головну панель інструментів програми ГИС "Digitals":

Ответил правильно:
 Панель 4.

Вопрос:
 Вкажіть інформаційну стрічку програми ГИС "Digitals":

Ответил правильно:
 Панель 1.

Вопрос:
 Користувачі (виконавці) у ГИС-технологіях:

Ответил правильно:
 Технічні фахівці та співробітники які використовують ГИС для розв'язання практичних завдань.

Вопрос:
 Данні в ГИС-технологіях це:

Ответил правильно:
 Просторові та описові дані, що описують положення та форму географічних об'єктів, їх просторові зв'язки з іншими об'єктами.

Рис. 6. Файл результатів тестування у форматі *.html

циклу тестування студент може зробити аналіз питань і відповідей за сформованим файлом розширення *.html, який зберігається у папці «результати тестів» (рис. 5, 6).

Надалі студент може самостійно проходити повторне тестування (без участі викладача) з метою підвищення свого рейтингу із дисципліни.

Головні висновки. Отже, тест як система завдань специфічної форми і відповідного змісту є науково обґрунтованим інструментом оцінювання знань, умінь і навичок студентів, допомагає здійснювати індивідуальний контроль успішності навчання кожного з них, мобільно керувати навчально-виховним процесом. Тестовий контроль гарантує об'єктивність оцінки знань, умінь та навичок студентів, сприяє усуненню суб'єктивізму, а відтак – формуванню позитивного ставлення до навчальної дисципліни і науково-педагогічного працівника. Впровадження тестових технологій дозволяє підвищити якість та об'єктивність оцінювання процесу навчання, значно деталізувати та уніфікувати атестаційні вимоги із навчальних дисциплін на основі освітніх стандартів, підвищити об'єктивність підсумкової атестації та оцінити ефективність професійної діяльності викладачів.

Використання сучасних технологій контролю рівня засвоєння знань студентами забезпечує ефективність усіх видів навчальної діяльності, високу якість підготовки фахівців із новим типом мислення відповідно до вимог інформаційного суспільства, якісне формування професійної компетентності, культури тощо. Запропонована технологія тестового контролю знань студентів під час викладання дисципліни «ГІС у ПГ» базується на єдиному підході до перевірки знань, зручна у використанні та забезпечує високий ступінь достовірності одержаних результатів.

Перспективи використання результатів досліджень. Використання комп'ютерного тестування під час навчання сприятиме підвищенню інтересу здобувачів вищої освіти, їх загальної мотивації до навчання завдяки його перевагам: об'єктивність, надійність, валідність, орієнтованість на сучасні технічні засоби, універсальність. Оволодіння сучасними інформаційними та інформаційно-комунікаційними технологіями, методикою їх використання у навчальному процесі, зокрема під час викладання дисциплін природничої галузі, сприятиме модернізації освіти, підвищенню якості професійної підготовки майбутнього конкурентоздатного фахівця.

Література

1. Про вищу освіту : Закон України від 01 липня 2014 р. № 1556-VII. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18> (дата звернення 01.09.2021).
2. Про заходи щодо вдосконалення системи вищої освіти України : Указ Президента України від 17 лютого 2004 р. № 199/2004. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/199/2004#Text> (дата звернення 04.09.2021).
3. Стандарт вищої освіти за спеціальністю 103 «Науки про Землю» / МОН України. URL: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/2019/05/28/103-nauki-pro-zemlyu-bakalavr.pdf> (дата звернення 10.09.2021).
4. Екологічне картографування та основи ГІС-технологій : навч. посіб. За ред. А. П. Багмета. Житомир, 2010. 256 с.
5. Інформаційні технології навчання: інтегрований підхід / за ред. Р.С. Гуревича. Львів, 2011. 484 с.
6. Булах І.С. Комп'ютерна діагностика навчальної успішності. Київ, 1995. 221 с.
7. Довгополова Я. В. Внедрение тестовой методики в процесс обучения в высших учебных заведениях. URL : <http://ekhnuiir.univer.kharkov.ua/bitstream/123456789/6516/2/11dyvvnz.pdf> (дата звернення 14.09.2021).
8. Кадемія М. Ю., Шахіна І. Ю. Інформаційно-комунікаційні технології у навчальному процесі : навч. посіб. Вінниця, 2011. 220 с.
9. Комишан А. І., Хударковський К. І. Технологія тестового контролю успішності засвоєння змісту навчання. URL : <http://zavantag.com/docs/3209/index-17972.html> (дата звернення 07.09.2021).
10. Програмно-методичний комплекс тестування і оцінки персоналу Mirax Test Pro компанії MiraxSoftware URL : <http://www.softportal.com/software-3390-mirax-test.html> (дата звернення 07.09.2021).

ЕКОЛОГІЧНА ОСВІТА ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ СУСПІЛЬСТВА

Терлецький В.К., Ольхова-Марчук Н.В., Кушнір В.В.
Академія рекреаційних технологій і права
вул. Карбишева, 2, 43023, м. Луцьк
flipter@rambler.ru, Sirius_2010@inbox.ru, kushavv@gmail.com

У статті проаналізовано становище із вивчення екології у середній школі та наголошено потребу його актуалізації відповідно до чинних нормативів за ступеневим принципом. Оптимізація шкільного вивчення екології залежить від упровадження ступеневої екологічної освіти і відповідає завданням програми сталого розвитку суспільства за сучасними європейськими стандартами його екологізації. Автором запропоновано варіант триступеневої екологічної освіти із виділенням предметів «Наше довкілля», «Основи екології» та «Екологічна безпека». Предмет «Наше довкілля» доцільно викладати у 4 класі із виділенням таких розділів: «Ми всі живемо на Землі» (про світ живих організмів), «Ми прагнемо чистоти» (про збереження чистого довкілля), «Ми бережемо ваш спокій» (про важливість збереження рослин і тварин), «Ми допоможемо вам» (про організацію екологічних акцій). Дисципліну «Основи екології» доцільно викладати у 7 класі із виділенням таких розділів: «Загальна екологія» (про основи екологічної науки), «Екологія людини» (про умови оптимального розвитку суспільства) і «Прикладна екологія» (про заходи, спрямовані на збереження довкілля). Предмет «Екологічна безпека» має вивчатись у 10-11 класах із виділенням таких розділів: «Природні ресурси краю» (про ресурси країни і регіону з основами раціонального користування цими ресурсами), «Природно-заповідні об'єкти» (про ці об'єкти у країні та регіоні), «Забруднення природного середовища» (про проблеми забруднення середовища у країні та регіоні, про методи очищення природного середовища) та «Моніторинг екологічної безпеки» (про чинну систему контролю за станом довкілля у країні та у регіоні).

Доведено нормативну відповідність триступеневої екологічної освіти у школі законодавчим постановам уряду. Обґрунтовано цикли навчання молоді основам екології на трьох ступенях їх вікового розвитку. Впровадження ступеневої екологічної освіти сприятиме якісній підготовці учнів шкільного віку та відповідатиме завданням програми сталого розвитку суспільства. Упровадження до шкільного навчального плану дисциплін «Наше довкілля», «Основи екології» та «Екологічна безпека» – це актуальне завдання національної освіти із шкільного екологічного навчання та виховання молоді. *Ключові слова:* довкілля, екологія, екологічна безпека, ступенева екологічна освіта, природно-заповідний фонд.

Ecological education for sustainable development. Terletskiy V., Olhova-Marchuk N., Kushnir V.

There have the situation of ecology study at secondary education and its actual necessity for active rate with three stage's principle analyzed. The optimum of ecology study at school has been depended on its stage study and answered to targets of sustainable development of society as the modern European development of society standards. The author has proposed the three stage's principle variant of ecology study with subjects: "Our environment", "Principles of ecology" and "Ecological safety". "Our environment" would be reasonable for teaching at 4 class with parts: "We are living at the Earth" (about living creatures), "We aspire to cleanliness" (about reservation the clean environment), "We shall preserve your peace" (about important of plants and animals reservation) and "We shall help you" (about sponsor of ecological actions). "Basis of ecology" would be reasonable for teaching at 7 class with parts: "Common ecology" (about basis of ecological science), "Human being ecology" (about conditions for the optimal human society's development) and "Applied ecology" (about the measures for environment reservation). "Ecological safety" would be reasonable for teaching at 10-11 classes with parts: "Nature resources of region" (about resources of country and region with basis of its rational utilization), "Nature-protected stocks" (about those objects at country and region), "Pollute of natural environment" (about problems of environment's pollute environment at country and region, about the methods of its cleaning) and "Monitoring of ecological safety" (about acting control system for environment's state control at country and region). The three stage's principle variant of ecology study at schools have been responsible for the legislative degrees of government. The courses of youth's studies at three stage's ecology should be answered to their age development. Introduction the stage ecology study would be promote high-quality training for young pupils. It corresponds to the targets of sustainable development of society. Implementation the subjects "Our environment", "Principles of ecology" and "Ecological safety" to school studies plan are the actual target for national school education and pupils training. *Key words:* environment, ecology, ecological safety, stage ecologic education, nature-protected stock.

Постановка проблеми. Вивчення екології за шкільною програмою передбачає вивчення цієї дисципліни у 10-11 класах. Вона містить 8 тем, які охоплюють загальні положення дисципліни, що переважно стосуються формування основ екологічної етики підростаючого покоління [2].

Актуальність дослідження. Вивчення екології у школі не відповідає вимогам основних положень Закону України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року», де обґрунтовано потребу у ступеневому вивченні дисципліни [3]. Це відповідає передбаче-

ним законом цілям «*підвищення рівня екологічної безпеки, ... забезпечення екологічно збалансованого природокористування*» і, що особливо важливо для шкільної освіти, «*освітнє та наукове забезпечення формування... національної екологічної політики*».

Зв'язок авторського доробку з актуальними завданнями. Автори розробили проект системного (ступеневого) вивчення екології у школі, що могло б актуалізувати завдання шкільної екологічної освіти, зробити її відповідною до програми сталого (збалансованого) розвитку суспільства, чинної у країнах європейської спільноти.

Аналіз досліджень і публікацій. Шкільна програма екології передбачає ознайомлення учнів із основами екологічних знань [2]. Однак теми забруднення середовища і деградації природних компонентів у програмі розкриті досить поверхово із подальшим заглибленням до змін у кругообігу речовин і системі природокористування.

У Законі України «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року» передбачено більш широкий підхід до вивчення екології [3]. Зокрема, у пункті 4.9 було поставлене завдання *«запровадження безперервної екологічної освіти... Випереджальними темпами має розвиватися всеохоплююча екологічна просвіта і виховання підростаючого покоління... (ці заходи) сприятимуть... формуванню свідомого громадянського суспільства на засадах сталого розвитку»*. Отже, вивчення екології має проводитися не одноразовим ознайомленням учнів із основами дисципліни, а створенням системної програми, яка складалася б із кількох ступеневих етапів навчання, оскільки лише ступенева екологічна освіта відповідає сучасним вимогам до програми збалансованого розвитку суспільства. Це підтверджується і матеріалами Всесвітнього саміту зі сталого (збалансованого) розвитку [4].

Подібні пропозиції були висловлені багатьма спеціалістами, які пропонували ефективні шляхи оптимізації шкільної екологічної освіти [1,5,6].

Невирішені проблеми екологічної освіти. Невирішеними залишаються проблеми оптимізації шкільного вивчення екології відповідно до вимог ступеневої екологічної освіти і програми сталого (збалансованого) розвитку суспільства, тому що вітчизняна програма вивчення екології у школі має відповідати сучасним європейським стандартам екологізації суспільства.

Новизна. Нами розроблено проєкт ступеневого вивчення екології у школі. Таке вивчення має складатись із трьох рівнів вивчення дисципліни, які відповідатимуть віковому складу учнів та їхній здатності опанувати поставлені завдання: на першому етапі – початкові, на другому – загальноосвітні, на третьому – спеціальні.

Методологічне значення. Враховуючи названі вище вікові етапи (ступені) вивчення екології, ми вважаємо обґрунтованим розширити тематику екологічної програми шкільної освіти відповідно до названого Закону України і програми сталого (збалансованого) розвитку нашого суспільства.

Основний матеріал. Згідно із запропонованою системою ступеневого вивчення екології у школі її слід розділити на три послідовні етапи:

1 етап – дисципліна «Наше довкілля»; її доцільно призначити на початковому етапі освіти у 4 класі;

2 етап – дисципліна «Основи екології», яка вивчатиметься у 7 класі, коли в учнів уже будуть відповідні знання та навички поводження у природі;

3 етап – дисципліна «Екологічна безпека», яку вивчатимуть учні старших класів (10 або 11 класи),

коли у молодій людини вже сформується належний рівень життєдіяльності.

Слід відмітити, що кожна із названих дисциплін має певний комплекс програмних навантажень, які відповідатимуть віковому розвитку школярів і їх можливостям опанувати ці завдання. Водночас запропоноване поетапне вивчення екології становитиме саме той принцип ступеневої екологічної освіти, який був запрограмований нормативами названого Закону України «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року» і має бути введеним у дію вже задовго до цього часу. Слід також зазначити, що поетапне (ступеневе) вивчення екології передбачає поступове ускладнення програми і закріплення в учнів відповідних знань та навичок, що відповідатиме чинним вимогам програми сталого (збалансованого) розвитку суспільства. Тому всі названі дисципліни формуватимуть повноцінну ступеневу екологічну освіту молоді у школі.

Ось як мають виглядати програми названих поетапних ступенів вивчення екології у школі. Дисципліна *«Наше довкілля»* є початковим етапом ознайомлення дітей молодшого шкільного віку з екологією. Тому вона розрахована на найбільш загальні уявлення про взаємозалежність живих організмів і неживої матерії у навколишньому середовищі, про обов'язки людини у цьому середовищі. Загалом йдеться про формування найбільш загальних і спрощених із урахуванням відповідного вікового потенціалу дітей систему понять і навичок екологічної етики. Йдеться не просто про правила поведінки школяра у природі, а про обґрунтованість вчинків такої поведінки, про аналіз позитивних і негативних наслідків, які можуть мати місце внаслідок перебування школярів у природному середовищі [1]. Ми вважаємо за доцільне виділити у дисципліні *«Наше довкілля»* такі основні розділи:

1. *Ми всі живемо на Землі* – про світ живих організмів і про місце людини у цьому оточенні;

2. *Ми прагнемо чистоти* – про необхідність максимального збереження чистоти довкілля, про негативні наслідки забруднення і руйнування довкілля;

3. *Ми бережемо ваш спокій* – про важливість збереження рослин і тварин у довкіллі, про правила поводження з ними;

4. *Ми допоможемо вам* – про необхідність організації індивідуальних і масових екологічних акцій різного спрямування, котрі краще планувати відповідно до сезону року і можливостей школярів.

Отже, під час вивчення дисципліни *«Наше довкілля»* учні можуть ще не заглиблюватись у специфічні основи екологічної науки, а залишатися на рівні активних охоронців природи та екологічних активістів. Кожен із розділів дисципліни спрямований на формування відповідних знань і навичок екологічної етики людини. Слід відмітити, що рекомендований для вивчення у початкових класах матеріал дисципліни *«Наше довкілля»* надзвичайно багатий

і різноманітний. Окрім організації цікавих екскурсій та екологічних акцій, учителі зможуть використовувати різноманітні конкурси, екологічні вечори та інші профільні заходи [1; 8]. Загальне призначення цієї дисципліни – пробудити у дітях інтерес до живого світу довкілля, прищепити їм перші знання і навички відповідальності за всі форми діяльності у довкіллі.

Дисципліна «*Основи екології*» вивчатиметься на другому етапі екологічного навчання, краще учнями 7 класу, які мають певний рівень знань і навичок життєдіяльності. Тому на цьому етапі пропонуємо навчити учнів основам знань про цю науку, її понятійний апарат, нормативні та екологічні закони, яких мають дотримуватися свідомі громадяни в особистій і громадській діяльності. Тому дисципліна повинна містити загальні поняття про екологію як науку, її складники, взаємозалежності між ними, природні закони та чинні закони життєдіяльності суспільства в оточуючому середовищі. Тому дисципліну доцільно розділити на три основних розділи: загальну екологію, екологію людини і прикладну екологію, враховуючи водночас доступну для учнів середнього шкільного віку програму знань та навичок. На жаль, наявна нині шкільна програма з екології [2] не відповідає цим завданням і, як було зазначено вище, сформована досить однобічно: не на вивчення основ екології як специфічної науки, а на висвітлення екологічних криз, техногенезу і різних варіантів природокористування, використання природних ресурсів і забруднення середовища. За нашим глибоким переконанням, така навчальна програма не може дати учневі знання основ екологічної науки та відповідного розуміння складних зв'язків, які діють у довкіллі. Натомість вона підміняє наріжні поняття екологічної науки заучуванням нескінченного потоку описань кризових явищ, цифрової статистики забруднень тощо.

«*Основи екології*» як базова дисципліна повинна дати учням знання про закономірності функціонування довкілля. Вивчення зазначеної дисципліни має формуватися на принципових позиціях цієї науки, на висвітленні основних понять і законів існування живих організмів у природному середовищі. Ось чому ми вважаємо цілком обґрунтованим у дисципліні виділити названі вище три основні розділи. Кожен із цих розділів поєднує комплекс специфічних понять і завдань, які разом формують основи екології як науки про довкілля. Вивчення основ екології у школі має здійснюватися за відповідною навчальною програмою, розрахованою не лише на можливість підготовки дітей середнього шкільного віку, але має сприяти зацікавленості учнів у вивченні навчального матеріалу і засвоєнні необхідних навичок екологічного спрямування.

У розділі «*Загальна екологія*» потрібно зупинитися на визначенні цієї науки, її завдань і напрямів, а також на її значенні для суспільства. Після цього учнів слід ознайомити з історією становлення екології, роллю українських науковців у формуванні

основних теоретичних понять і положень екології, із теоретичним і практичним спрямуванням екології. Окремо потрібно обґрунтувати поняття про біосферу і ноосферу, пояснити на прикладах сутність основних екологічних законів існування довкілля, охарактеризувати поняття про екосистему та її складники, пояснити кругообіг речовин у природі та його роль в існуванні нашої планети, кожної екосистеми у її складі. Отже, під час вивчення цього розділу учні зможуть сформувати поняття про специфіку екології, про мету і завдання цієї науки, про її актуальність у подальшому розвитку суспільства відповідно до вимог програми сталого (збалансованого) розвитку.

У розділі «*Екологія людини*» учні мають отримати знання про потенційні можливості життєдіяльності людського суспільства у межах екосистеми (біосфери, ноосфери) та набути певних навичок оцінки екологічної ситуації у межах відповідного природного середовища. Тому після визначення мети і завдань цього напрямку екологічної науки школярів слід ознайомити із поняттями «оптимальні умови існування суспільства» та «екстремальні умови існування суспільства», з імовірністю наростання різних екологічних криз і катастроф, використовуючи для цього всі рівні розвитку цих явищ на планеті (глобальний, континентальний, національний, регіональний і локальний). Саме такий аналіз умов існування суспільства і наростання вірогідності екологічних катастроф доводитиме молоді значення особистої позиції громадянина щодо його ставлення до збереження оптимального стану довкілля навіть під час життєдіяльності.

У розділі «*Прикладна екологія*» учнів потрібно ознайомити із принципами діяльності суспільства щодо збереження та оптимізації довкілля. Починати його доцільно із характеристики чинних нормативів екологічного спрямування, виділяючи серед них національні (законодавчі), галузеві та регіональні правові акти, а також міжнародні угоди і конвенції, підтвержені Україною. Окремо слід зупинитися на характеристиці природно-заповідного фонду і Червоної книги України, їх призначенні та особливостях функціонування. Важливо також ознайомити учнів із поняттями «природні ресурси» і «природокористування», що лежать в основі прикладної екології усіх галузей виробництва і життєдіяльності окремих громадян [6]. Таким самим чином учні повинні отримати знання про токсичність відходів і забруднення середовища, які, на жаль, набувають значення не лише регіональних, але навіть національних і глобальних криз. Слід ознайомити учнів із ефективними заходами реабілітації природного середовища як напрямку оптимізації і стабілізації життя на Землі.

На цьому (другому) етапі екологічного навчання учні матимуть можливість отримати не лише відповідні знання про головні екологічні процеси та їх оцінку з позицій людської спільноти, але і потрібні для життя практичні навички *екологізованої* (тобто

науково обґрунтованої природоохоронної!) діяльності: користування природними ресурсами, утилізації відходів, пропаганди екологічних знань та організації екологічних акцій. Ці аспекти формування відповідних знань і навичок дають учителям широкі можливості проведення різноманітних за формою і змістом практичних занять та екскурсій.

Наступним і завершальним (третім) етапом ступеневої екологічної освіти у школі має стати нова дисципліна «*Екологічна безпека*», яку доцільно запровадити до програми навчання учнів старших (10 або 11-х) класів [7]. Її актуально пов'язати із принципами діяльності територіальних громад (ТГ), затверджених відповідним Законом України «Про засади державної регіональної політики» [4], тобто пов'язати вивчення «*Екологічної безпеки*» із конкретними реаліями стану рідної землі – малої батьківщини кожного підрастаючого громадянина. Ця дисципліна має висвітлювати п'ять основних аспектів екології краю: характеристику місцевих природних ресурсів, природно-заповідні об'єкти у межах ТГ, рівень забруднення природного середовища, моніторинг екологічної безпеки та організацію природоохоронних акцій.

Формування знань і навичок учнів за кожним із таких аспектів має свої специфічні особливості, що визначаються реаліями стану та потенційними можливостями рідного краю. Тому саме тут, під час вивчення предмету «*Екологічна безпека*» можна формувати в учнів старшого шкільного віку належну громадянську позицію щодо збалансованого розвитку власної територіальної громади. Зазначену дисципліну доцільно запровадити у програму шкільної освіти після вивчення предмету «*Основи екології*», тобто після ознайомлення учнів із основними законами функціонування довкілля.

У розділі «*Природні ресурси краю*» слід виділити такі проблемні питання: особливості географічного розміщення територіальної громади (ТГ), її зв'язки з іншими регіонами країни та взаємозалежність між ними на основі природокористування, нормативи природокористування національного і регіонального значення, характеристика місцевих природних ресурсів і рівень їх стабільного використання, народні традиції раціонального природокористування, оптимізація і відтворення природних ресурсів як запорука екологічної безпеки регіону. Не зайвим буде додавання до цього розділу питань про екологічні ризики, які загрожуватимуть середовищу та самій ТГ у разі порушення стану місцевих природних ресурсів, і ризиків, які можуть проявитися не лише на території ТГ, але і далеко за її межами.

Аналіз розділу «*Природно-заповідні об'єкти*» містить кілька актуальних аспектів теми. По-перше, слід ознайомити учнів із об'єктами природно-заповідного фонду (ПЗФ), які знаходяться у межах ТГ або межують із нею. По-друге, в аналізі цих об'єктів слід зупинитися на оцінці їх сучасного стану та відповідності чинним нормативним вимогам. По-третє,

слід визначити ризики, які стоять перед цими об'єктами та загрожують їх подальшому функціонуванню. Можна було б також розробити спеціальні програми стабілізації та оптимізації стану місцевих об'єктів ПЗФ, які стали би предметом практичної діяльності шкільних колективів відповідно до планів природоохоронних структур регіону. Нарешті можна було б навіть пропонувати учням розроблення варіантів створення нових об'єктів ПЗФ, якщо вони відповідають чинним нормативним вимогам до характеристики цих потенційних об'єктів і територій.

Розділ «*Забруднення природного середовища*», мабуть, скласти найскладніше, тому що він поєднує основні негативні тенденції діяльності суспільства у межах ТГ або їхній прояв від різноманітних зовнішніх чинників. Тому насамперед доцільно ознайомити школярів із чинними нормативами забруднення повітря, води і ґрунтів, актуальними саме для цієї ТГ. Після цього молоді має довідатися про реальний стан забруднення середовища у межах ТГ та про наявність основних джерел такого забруднення, що діють у регіоні або поширюються ззовні, знаходячись навіть за його межами. Водночас доцільно висвітлити ризики, з якими пов'язані накопичення таких забруднень у регіоні, та намітити реальні можливості їх локалізації або ліквідації (утилізації). Окремо, особливо у сільській місцевості, слід наголосити проблему спалювання органічних решток, що суперечить чинному законодавству і становить загрозу життєдіяльності ТГ. Доцільно зупинитися на ознайомленні учнів із позитивними народними традиціями утилізації відходів, які потрібно популяризувати і поширювати.

Розділ «*Моніторинг екологічної безпеки*» дає змогу ознайомити учнів із наявною системою контролю за станом природного середовища і рівнем використання природних ресурсів. Учнім слід показати перспективні можливості кожного громадянина щодо оцінки стану природного середовища та випередженню (унікненню) ризиків, які виникають або можуть проявитися у разі порушення екологічної безпеки в регіоні. Тут можна виділити методи біологічної індикації стану природного середовища, прогнозування змін у стані довкілля, а найбільше – вчасного прогнозування ризиків імовірних надзвичайних ситуацій, здатних загрожувати не лише довкіллю, але самій ТГ і навіть суспільству за її межами. Окремо від методів біоіндикації можна запровадити у програму навчання окремі аналітичні методи визначення рівня забруднення води і повітря, які, мабуть, є найактуальнішими для усунення ризиків для здоров'я людей і нормального існування інших живих компонентів довкілля (рослинних природних угруповань, сільськогосподарських культур, птахів, корисних комах, свійської худоби тощо).

Розділ «*Організація природоохоронних екологічних акцій*» можна визначити як заключний. Тут доцільно передбачити активізацію екологічної діяльності в учнівському середовищі на території усієї громади

або за її межами. Така діяльність може проявлятися у різних формах: об'єднання молоді у громадські екологічні організації, обмін досвідом діяльності між такими організаціями, підготовка і проведення різноманітних природоохоронних та екологічних акцій. До останніх можна віднести ліквідацію забруднень у природному середовищі, очищення та укріплення берегів водойм, місячник тиші у лісі, виготовлення штучних дуплянок для птахів, облік та огороження лісових мурашників, посадку зелених насаджень, догляд за об'єктами ПЗФ, моніторинг за станом протипожежної безпеки протягом пожежонебезпечного періоду, реабілітацію природних ландшафтів, організацію екологічних виставок, популяризацію методів збалансованого господарювання і, нарешті, просто екологічні знання серед населення тощо.

Доцільно відмітити, що силами шкільних закладів можна не лише навчати молодь екологічній безпеці, але і здійснювати узгоджені із керівництвом ТГ заходи із моніторингу і догляду за станом довкілля на цих і суміжних територіях. Це не лише виконання перерахованих вище екологічних акцій, але і заходи, спрямовані на популяризацію екологічних форм і методів господарювання серед населення: методів раціонального природокористування, утилізації побутових і господарських відходів, збереження стану довкілля, обстоювання і популяризації спеціальних екологічних програм у ТГ. Такі заходи, поєднані із вивченням програмного матеріалу, не тільки відповідатимуть завданням комплексного навчання екологічної безпеки, але і сприятимуть актуалізації екологічного і патріотичного виховання учнівської молоді щодо збереження та оптимізації стану природного довкілля рідної землі.

Організація триступеневої екологічної освіти у школі дозволить достойно готувати підростаюче покоління відповідно до програми збалансованого розвитку суспільства за сучасними європейськими стандартами. Вона не лише відповідатиме вимогам названого вище Закону України, але і сприятиме екологізації підростаючого покоління в усіх формах життєдіяльності громадян.

Висновки. Впровадження ступеневої екологічної освіти сприятиме якісній підготовці учнів

шкільного віку. Вона відповідатиме нормативним вимогам Закону України «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року» і «Наше довкілля», а також завданням програми сталого (збалансованого) розвитку суспільства. Впровадження до шкільного навчального плану дисциплін «Основи екології» та «Екологічна безпека» – це актуальне завдання національної освіти із шкільного екологічного навчання і виховання молоді.

Перспективи використання дослідження. Названі дисципліни разом дозволяють «поглибити» процес екологізації підростаючого покоління і не лише цілеспрямовано ознайомити учнів із основами цієї науки, але й актуалізувати проблему оптимізації і збереження довкілля в межах територіальних громад України. Лише так, послідовно і відповідно до принципів програми сталого (збалансованого) розвитку ми зможемо успішно здійснювати європеїзацію національної шкільної освіти, а також послідовно та активно впроваджувати кращі народні традиції у навчання та виховання молоді. Програма екологізації суспільства і збалансованого розвитку територіальних громад значною мірою залежить від упровадження ступеневої екологічної освіти під час навчання молоді. Така ступенева екологічна освіта, крім ознайомлення із розмаїттям довкілля та вивченням основ екології на першому і другому етапах навчання, забезпечить засвоєння молоддю основ екологічної безпеки громади відповідно до стану місцевих природних ресурсів. Вона сприятиме формуванню належних патріотичних переконань і потрібних практичних навичок оптимізації або стабілізації стану навколишнього природного середовища відповідно до чинних нормативів у всіх галузях життєдіяльності суспільства.

Для успішного здійснення стратегічних завдань програми збалансованого (сталого) розвитку у галузі національної освіти потрібно провести широке обговорення проблеми безперервної екологічної освіти молоді серед спеціалістів та ініціювати актуальні зміни наявних навчальних програм із екології у школі для їх узгодження і відповідності сучасним завданням розвитку та утвердження добробуту вітчизняного суспільства.

Література

1. Борейко В.С., Подобайло А.В. Екологічна етика : навчальний посібник. Київ : Фітосоціоцентр, 2004. 116 с.
2. Екологія. Програма для загальноосвітніх навчальних закладів 10-11 класи. Київ : Міністерство освіти та науки України, 2010. 28 с.
3. Закон України «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року». *Відомості ВР України*. 2011, № 26. С. 218-228.
4. Закон України «Про засади державної регіональної політики». 5.02.2015, № 156.VIII.
5. Постанова КМУ «Про затвердження Комплексної програми реалізації на національному рівні рішень, прийнятих на Всесвітньому самміті зі сталого розвитку, на 2003-2015 роки». 26.04.2003, № 634. Київ : КМУ, 2003.
6. Сафронов Т.А. Екологічні основи природокористування: навч. посібник. Львів : Новий Світ, 2003. 197 с.
7. Андерсон В. М., Андреева Н. М., Алимов О. М. та ін. Сталий розвиток та екологічна безпека суспільства: теорія, методологія, практика / за науковою редакцією д.е.н., проф. Є.В. Хлобистова. ДУ «ІСПС НАН України», ІПРЕД НАН України, СумДУ, НДІ СРП. Сімферополь : ІТ «АРИАЛ» 2011. 589 с.

РОЛЬ ПЕРЕМІШУВАННЯ СУБСТРАТУ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВОДНИХ ЕЛЕКТРОБІОСИСТЕМ

Русин І.Б., Дячок В.В.

Національний університет «Львівська Політехніка»
вул. Степана Бандери, 12, 79013, м. Львів
ib7@i.ua

Рослинно-мікробні електробіосистеми є екологічним альтернативним джерелом енергії. Їхня робота базується на зборі біоелектрики, яку продукують ризосферні мікроорганізми, що знаходяться у тісному взаємозв'язку з рослинами. Під час розвитку рослини виділяють через коріння органічні речовини, які виступають донорами електронів для електроактивних мікроорганізмів, які, у свою чергу, внаслідок метаболізму передають їх на катод і анод. Незважаючи на екологічність електробіосистем, поки що економічно невигідно використовувати їх у масштабних обсягах через поточну низьку вихідну потужність. Способами підвищення електропродуктивності електробіосистем є вдосконалення як технічних, так і біологічних елементів, до яких належать конструювання оптимальних електродних схем із ефективною міжелектродною відстанню, оптимізація співвідношення площ катодної та анодної і сумарної електродної площі до певного об'єму субстрату електробіосистеми, використання нових електродних матеріалів, рослин і субстратів, створення оптимальних умов роботи. У цій статті вивчено вплив періодичного перемішування природного водного субстрату в електробіосистемах із ряскою на її біоелектричні параметри з метою виявлення оптимальних умов функціонування в лабораторії. У дослідженнях використано електробіосистеми із рослин забруднених каналів довкола м. Львова, однієї пари електродів із приєднаними резисторами 130 Ом або 1030 Ом, забрудненої води каналів із додаванням свіжої води як субстрату. 10-15-секундне перемішування субстрату призводило до росту біоелектричного потенціалу у 2,18-3,00 рази за використання навантаження 130 Ом та у 1,25-1,63 рази – за 1130 Ом. Виявлений ефект має перспективи як спосіб підвищення електропродуктивності електробіосистем, які базуються на водних рослинах. *Ключові слова:* відновлювана енергія, біоелектрика, електрод, електробіосистема, рослина.

The role of substrate mixing for efficiency of aquatic electro-biosystems. Rusyn I., Djachok V.

Plant-microbial electro-biosystems are an environmentally friendly alternative energy source. Their operation is based on the collection of bioelectricity produced by rhizosphere microorganisms that are in close contact with plants. In the process of plant development, organic substances are released through the roots, which act as electron donors for electroactive microorganisms, which transfer them to the cathode and anode as a result of their metabolism. But despite the environmental friendliness of electro-biosystems, it is not yet economically viable to use them on a large scale due to low the current output capacity. Ways to increase the electrical productivity of electro-biosystems are to improve both technical and biological elements, which include the design of optimal electrode circuits with effective interelectrode distance, optimization of the ratio of cathodic and anode and total electrode area to a certain volume of substrate electro-biosystem, use new electrode materials, new plants and substrates, creating optimal working conditions. This paper examines the effect of periodic mixing and aeration of natural aqueous substrate in electro-biosystems with duckweed on their bioelectrical parameters in order to identify optimal conditions for their operation in the laboratory. The studies used electro-biosystem with a plant from polluted ditches around Lvov, one pair of electrodes and connected resistors 130 Ohm or 1030 Ohm and polluted ditch water with the addition of fresh water as their substrate. A 10-15 second mixing of the substrate led to an increase in the bioelectric potential 2.18 – 3.00 times at 130 Ohm and 1.25 – 1.63 times at 1130 Ohm. The discovered effect has prospects as a way to increase the electrical productivity of electro-biosystems based on aquatic plants. *Key words:* renewable energy, bioelectricity, electrode, electro-biosystem, plant

Постановка проблеми та актуальність дослідження. Вдосконалення умов функціонування рослинно-мікробних електробіосистем, зокрема перемішування їх водного субстрату, є маловивченим питанням і водночас важливим для підвищення їх потужності [1; 2]. У мікробних електробіосистемах було продемонстровано, що роль масового переносу є досить значною через вплив на перенесення протонів [3]. Конвекція/дифузія транспорту реагенту може посилюватися за рахунок збільшення середньої швидкості потоку [4], що в решті-решт може підвищити густину потужності внаслідок ефективного контролю потоку субстрату [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Досліджень ролі впливу потоку субстрату на роботу електробіосистем, які базуються на рослинах, є небагато. В електробіосистемі, що базується на зелених водоростях *Chlamydomonas reinhardtii*, було показано, що зі збільшенням швидкості перемішування субстрату зростала її густина потужності, а внутрішній опір зменшувався [2]. В електробіосистемі, основою якої був *Phragmatis spp.*, перемішування і потік субстрату використовувалися для підвищення концентрації органічних сполук для електроактивних мікроорганізмів та усунення надлишку протонів на анодній поверхні [5].

Мета та завдання дослідження. Беручи до уваги недостатній рівень вивчення і важливість контролю потоку субстрату для генерації біоелектрики рослинно-мікробними електробіосистемами, ми поставили перед собою завдання дослідити вплив перемішування субстрату на біоелектричний потенціал і силу струму електробіосистем із *Letna minor* у лабораторних умовах із метою виявлення способів підвищення ефективності продукування біоелектрики.

Виклад основного матеріалу.

Методи дослідження. Для проведення експериментів були конструйовані електробіосистеми з *L. minor* L., отриманої із забруднених каналів, розташованих поблизу м. Львова. Рослину у кількості 60 листків/мл поміщали у прозорі пластикові контейнери діаметром 120 мм і висотою 120 мм.

Забруднену воду каналів із додаванням свіжої води використовували як середовище для розвитку ряски. В якості електродних систем використовувалися пари електродів [6] таких розмірів: катод – 87 мм x 28 мм x 14 мм або 55 мм x 14 мм x 5 мм, анод – 78 мм x 36 мм x 1 мм або 58 мм x 29 мм x 1 мм. Електроди повністю занурювали у субстрат, у зону коріння рослин. Резистори приєднували до дротів, які виходили з електродів на поверхню, та залишали підключеними протягом експерименту. Електробіосистеми розміщували у лабораторних умовах прямо біля вікон, де вони отримували природне освітлення. Для перемішування та аерації субстрату використовували скляні палички, якими робили колові рухи у субстраті протягом 10-15 секунд.

Показання біоелектричного потенціалу

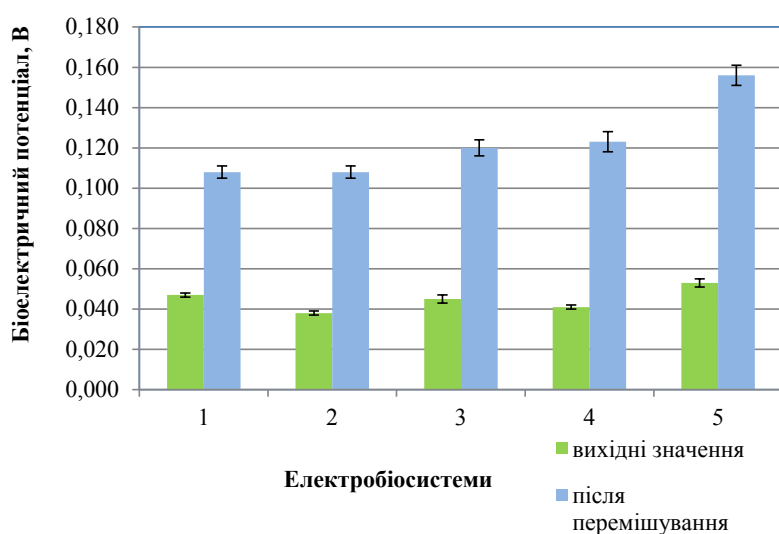


Рис. 1. Вплив перемішування субстрату на біоелектричні показники електробіосистем із *L. minor* у разі підключення резисторів 130 Ом ($x \pm SE, n=10$)

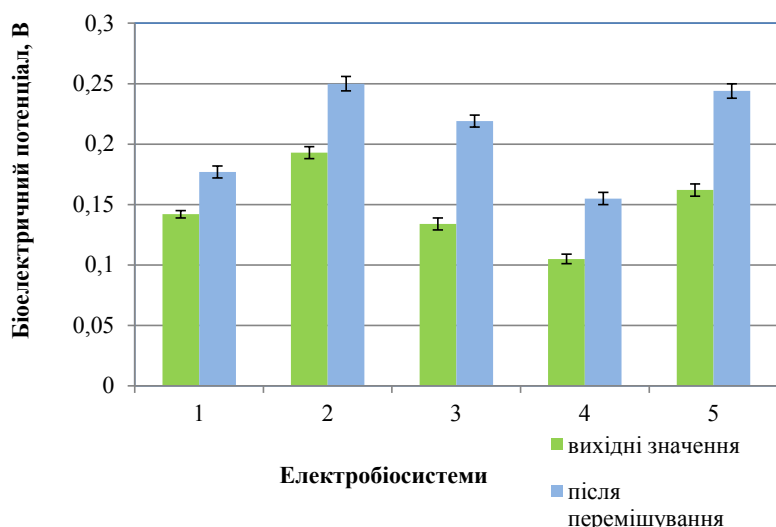


Рис. 2. Вплив перемішування субстрату на біоелектричні показники електробіосистем із *L. minor* у разі підключення резисторів 1130 Ом ($x \pm SE, n=10$)

ми реєстрували за допомогою цифрового мультиметра UT890C UNIT-T під час під'єднання резисторів 130 Ом і 1130 Ом. Силу струму визначали, використовуючи закон Ома. Густину ряски обчислювали шляхом прямого підрахунку кількості листків у 1 мл середовища. Наведені в роботі результати представлені як середнє значення для всіх повторюваних експериментів і їхні стандартні похибки ($x \pm SE$).

Предмет дослідження – коливання біоелектричного потенціалу і сили струму електробіосистем *L. minor* за різних навантажень і перемішування субстрату.

Результати дослідження та їх обговорення.

Нами виявлено, що перемішування субстрату призводить до збільшення біоелектричних параметрів електробіосистем, які базуються на *L. minor*. За даними рис. 1, у разі підключення резистора 130 Ом середній біоелектричний потенціал електробіосистем становив 0,045В. Проте після перемішування субстрату значення біоелектричного потенціалу зразу зросло у 2,18-3,00 рази та становило у середньому 0,123В. Підвищені значення біоелектричного потенціалу знижувались упродовж наступних 5 хвилин, проте зберігалися на рівні, вищому від вихідних значень протягом кількох годин, і поверталися на вихідний рівень за добу.

Під час використання вищих навантажень (1130 Ом) виявлено аналогічний ефект перемішування субстрату на ріст біоелектричних показників електробіосистем, проте в дещо менш вираженому ступені: зростання біоелектричного потенціалу становило від 1,25 до 1,63 разів (рис. 2). Виявлений

ефект може мати важливе значення для встановлення оптимального електропродуктивного режиму роботи електробіосистем, які базуються на гіматофітах, водних рослинах і водних субстратах. Електробіосистеми, які в якості біологічного компоненту містять водні рослини, становлять значну частку серед усіх рослинно-мікробних електробіосистем [7; 8].

Поясненням виявленого ефекту впливу перемішування субстрату на генерацію біоелектрики, очевидно, може бути як посилення трансферу електронів і протонів на електроди та більш ефективно використання утворених мікроорганізмами заряджених частинок, розташованих на відстані від електродів, локалізованих у центрі електробіосистеми, так і збільшення доступності органічних сполук донорів електронів для електрико-генеруючих мікроорганізмів. Перемішування субстрату призводить також до зниження внутрішнього опору системи та усуває надлишкові протони на анодах [2, 5].

Електробіосистеми з *L. minor* ефективніше працювали під час застосування нижчих опорів, ніж вищих. Сила струму зростала за зниження опору від 0,185 мА до 0,346 мА, тоді як напруга знижувалася від 0,209 В до 0,045 В до (рис. 3). Аналогічні тенденції показані і в роботах [9; 10].

Очевидно, під час зниження навантажень в електробіосистемах посилюється потік електронів, інтенсивніше відбувається метаболізм і рух електронів на анод, результатом чого є генерація біоелектрики [9; 10].

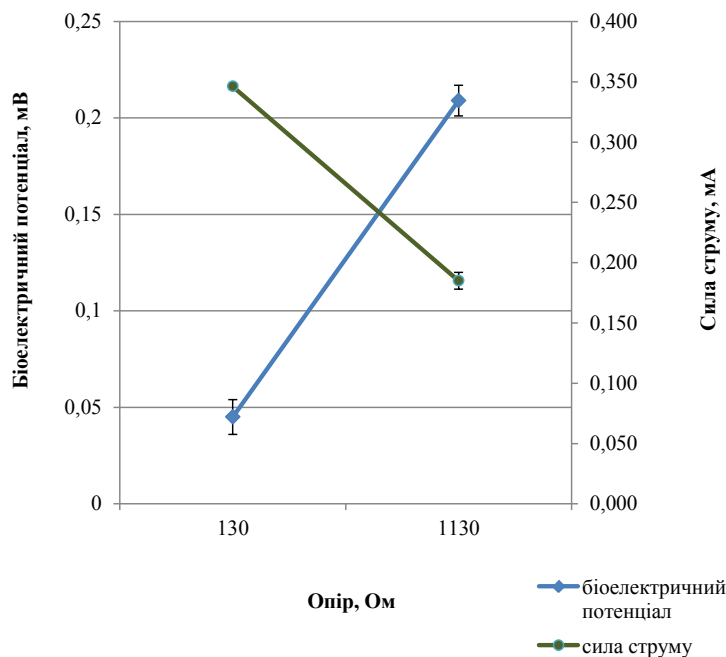


Рис. 3. Вплив зростання опору на біоелектричні параметри електробіосистеми з *L. minor* ($x \pm SE$, $n=10$)

Головні висновки. Періодичне перемішування водного субстрату в електробіосистемах із *L. minor* призводить до зростання їх біоелектричних параметрів. Під час використання навантаження 1130 Ом відмічено зростання біоелектричного потенціалу в 1,25-1,63 разів та у 2.18-3.00 рази – за використання 130 Ом унаслідок створення потоку субстрату електробіосистеми. Виявлений ефект має перспективи як інструмент підвищення ефективності електробіосистем, які базуються на водних рослинах.

Література

1. Wang C.-T. Flow Control in Microbial Fuel Cells. Technology and Application of Microbial Fuel Cells. London: IntechOpen, 2014. doi: 10.5772/58346. Available from: <https://www.intechopen.com/books/technology-and-application-of-microbial-fuel-cells/flow-control-in-microbial-fuel-cells>
2. Raman K., Lan J.C.W. Performance and kinetic study of photo microbial fuel cells (PMFCs) with different electrode distances. *Applied Energy*. 2012. Vol. 100. P. 100–105. doi:10.1016/j.apenergy.2012.03.011
3. Kim J.R., Cheng S., Oh S.E., Logan B.E. Power generation using different cation, anion, and ultrafiltration membranes in microbial fuel cells. *Environmental science and technology*. 2007. Vol. 41(3). P. 1004–1009. doi: 10.1021/es062202m
4. Kjeang E., Djilali N., Sinton D. Microfluidic Fuel Cells: A Review. *J. Power Sources*. 2009. Vol.186. P. 353–369. doi: 10.1016/j.jpowsour.2008.10.011
5. Arends J.B.A. Optimizing the plant microbial fuel cell: diversifying applications and product outputs. PhD thesis. 2013. Belgium: Ghent University. 149 p.
6. Русин І.Б., Медведєв О.В. Спосіб отримання біологічної електрики з глибинних шарів ґрунту: пат. 112093 Україна: МПК 2016.01, H05F 7/00, H01M 8/16; заявл. 9.03.2016; опубл. 12.12.2016. Бюл. № 23. 5 с.
7. Nitisoravut R., Regmi R. Plant microbial fuel cells: A promising biosystems engineering. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. Vol. 76. P. 81–89. doi: 10.1016/j.rser.2017.03.064
8. Kabutey F.T., Zhao Q., Wei L., Ding J., Antwi P., Quashie F.K., Wang W. An overview of plant microbial fuel cells (PMFCs): Configurations and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019. Vol. 110 (C). P. 402–414. doi: 10.1016/j.rser.2019.05.016
9. Sangeetha T., Muthukumar M. Influence of electrode material and electrode distance on bioelectricity production from sago-processing wastewater using microbial fuel cell. *Environmental Progress & Sustainable Energy*. 2013. Vol. 32, № 2. P. 390–395. doi: 10.1002/ep.11603
10. Venkata Mohan S., Saravanan R., Veer Raghavulu S., Mohanakrishna G., Sarma P.N. Bioelectricity production from wastewater treatment in dual chambered microbial fuel cell (MFC) using selectively enriched microflora: Effect of catholyte. *Bioresource Technology*. 2008. Vol. 99. P. 596–603. doi: 10.1016/j.biortech.2006.12.026

ВИВЧЕННЯ СТАНУ ВОДНИХ БІОРЕСУРСІВ АЗОВО-ЧОРНОМОРСЬКОГО БАСЕЙНУ, ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СИРОВИНИ ІЗ ВОДНИХ БІОРЕСУРСІВ ДЛЯ РОЗРОБЛЕННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ЇЇ КОМПЛЕКСНОЇ ПЕРЕРОБКИ

Сидоренко О.В.¹, Коротецький В.П.², Закорчевна Н.Б.²

¹Науково-дослідний інститут Держводокологія
пр. П. Григоренка, 36, оф. 114, 02140, м. Київ

²Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ
dei2005@ukr.net

Україна володіє значною кількістю рибогосподарських водойм, зокрема каскадом дніпровських водосховищ, Азово-Чорноморським басейном із лиманами і протоками загальною площею 10,4 млн. га, що дозволяє (за умови гарантованої безпечності за іхтіологічними показниками і впровадження інноваційних технологій логістики і переробки) забезпечити біологічно цінними продуктами на основі водних біоресурсів не лише внутрішній ринок, але і зовнішні міжнародні ринки. Із метою вивчення стану водних біоресурсів країни нині використовуються застарілі радянські методи досліджень, які не повною мірою відображають стан популяцій іхтіофауни, а в окремих випадках навіть завдають шкоди навколишньому природному середовищу. Завдання дослідження – комплексне визначення сучасного стану водних біоресурсів та оцінка технологічної функціональності рибної сировини із різних зон Азовського і Чорного морів та водойм їхнього басейну, визначення основних епізоотично-важливих та епідеміологічно-небезпечних збудників захворювань водних біоресурсів із подальшим удосконаленням методів контролю, розроблення і вжиття заходів із підвищення рибопродуктивності водойм Азово-Чорноморського басейну. Заплановано здійснювати постійний системний відбір водних біоресурсів у незначній кількості у басейні Азовського і Чорного морів (зокрема у заборонених для промислу зонах) із метою реального достовірного контролю за технологічними процесами переробки і логістики – від вилучення, транспортування, зберігання до переробки і реалізації дослідних зразків продукції на основі гідробіонтів у торговельних мережах України. Передбачено комплекс різнопланових польових і лабораторних досліджень. Найпоширенішими промисловими видами гідробіонтів Азово-Чорноморського басейну є бички, тюлька, хамса, піленгас, шпрот, оселедець, калкан, кефаль, барабуля, мерланг, катран, скати, пузанок, глоса, атерина, ставрида, сарган, креветки, мідії, рапана. *Ключові слова:* водні біоресурси, басейни Азовського і Чорного морів, біологічно цінні продукти, промислові види.

Study of the state of aquatic bioresources of the Azov-Black Sea basin, determination of technological properties of raw materials from aquatic bioresources for development of recommendations on its complex processing. Sydorenko O.V., Korotetskyi V.P., Zakorchevna N.B.

Fisheries should play an important role in Ukraine's economy. Ukraine has a significant number of fishery reservoirs, including the cascade of Dnieper reservoirs, the Azov-Black Sea basin with estuaries and straits with a total area of 10.4 million hectares, which allows, provided guaranteed safety by ichthyological indicators, the introduction of innovative technologies for logistics and processing product based on aquatic bioresources not only the domestic market but also foreign international markets. Today Soviet research methods are used to study the state of aquatic bioresources, which do not provide fully accurate information while putting significant pressure on the state of ichthyofauna populations, and in some cases harm the environment. The aim of the research is to comprehensively determine the current state of aquatic bioresources and assess the technological functionality of fish raw materials from different zones of the Azov and Black Seas and their basins, identify major epizootically important and epidemiologically dangerous pathogens of aquatic bioresources with further improvement of control methods. And also development of measures for increase of fish productivity of reservoirs of the Azov-Black Sea basin. It is planned to carry out permanent systemic selection of aquatic bioresources in small quantities in the basin of the Azov and Black Seas (including restricted areas for fishing) for the purpose of real reliable control of risks on critical points of all technological process of processing and logistics – from extraction, transportation, storage, to processing and realization of experimental batches of production on the basis of aquatic organisms in trade networks of Ukraine. Field research methods include a set of diverse research – field and laboratory. The most significant industrial species of aquatic organisms in the Azov-Black Sea basin are: bulls, tulle, anchovies, pilengas, sprat, herring, turbot, mullet, barabulya, merlang, tar, stingrays, puзанок, glosa, atherina, horse mackerel, sargan, rapana. *Key words:* aquatic bioresources, basins of the Azov and Black Seas, biologically valuable products, industrial species.

Постановка проблеми. Відповідно до основних вимог рибогосподарського законодавства рибне господарство має відігравати важливу роль в економіці України – це вилов риби та її переробка; відтворення

та охорона рибних запасів; ставкове, басейнове, садкове вирощування риби; селекційно-племінна робота; спортивне і любительське рибальство; науково-дослідне, проектно-конструкторське забез-

печення; галузева система навчання і підвищення кваліфікації кадрів; система безпеки мореплавства; упровадження міжнародної риболовної політики і регулювання рибальства у внутрішніх водоймах України, у межах територіального моря, на континентальному шельфі, у виключній (морській) економічній зоні України у Чорному та Азовському морях, у водах за межами юрисдикції України.

Україна володіє значною кількістю рибогосподарських водойм, зокрема каскадом дніпровських водосховищ, Азово-Чорноморським басейном із лиманами і протоками загальною площею 10,4 млн. га, що дозволяє (за умови гарантованої безпечності за іхтіологічними показниками і впровадження інноваційних технологій логістики і переробки) забезпечити біологічно цінним продуктом на основі водних біоресурсів не лише внутрішній ринок, але і зовнішні міжнародні ринки.

Водночас варто зазначити, що вивчення стану водних біоресурсів Азово-Чорноморського басейну, визначення запасів різних промислових видів іхтіофауни, безхребетних, молюсків, водоростей тощо із застосуванням інноваційних наукових технологій є необхідним і своєчасним заходом в умовах сучасного стану рибогосподарської галузі, оскільки нині використовуються застарілі радянські методи досліджень, які не повною мірою відображають стан популяцій іхтіофауни, а в окремих випадках навіть завдають шкоди навколишньому природному середовищу.

Актуальність дослідження. Сучасний рибогосподарський сировинний потенціал Азово-Чорноморського басейну є унікальним, але не досить дослідженим за показниками технологічної функціональності для виробництва видів рибної продукції, альтернативних традиційним, і нерибних об'єктів промислу із підвищеною доданою вартістю з метою забезпечення її конкурентоспроможності. Окрім того, потребує удосконалення вивчення інвазійних та інфекційних захворювань риб.

Метою дослідження є комплексне визначення сучасного стану водних біоресурсів та оцінка технологічної функціональності рибної сировини із різних зон Азовського і Чорного морів і водойм їх басейну; вивчення основних епізоотично-важливих та епідеміологічно-небезпечних збудників захворювань водних біоресурсів за допомогою удосконалених методів контролю та організованих заходів із підвищення рибопродуктивності водойм Азово-Чорноморського басейну; розроблення спільно із переробними підприємствами інноваційних видів рибних товарів із підвищеною доданою вартістю, конкурентоспроможних як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках. Не досить важливим є питання популяризації вітчизняних видів риб (зокрема азово-чорноморських) і продукції із вітчизняної рибної сировини серед населення України та за її межами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Протягом останнього сторіччя іхтіофауна водних

об'єктів України знаходиться у полі зору багатьох дослідників. Найбільш ранні та досить повні відомості про видовий склад риб представлені у працях відомих науковців І. Правдина, Г. Нікольського, А. Константинова, І. Шермана, Ю. Пилипенка, І. Бузевича, Р. Новицького. Проте, незважаючи на численні дослідження, що з'явилися у ХХ столітті, єдиної думки щодо видового складу іхтіофауни немає і донині. Можливо це пов'язано із постійною динамікою рибного стада, видовий склад якого змінюється за рахунок міграцій і прибульців з Азово-Чорноморського басейну. Окрім того, складність досліджень у цьому напрямку зумовлена і зарегульованістю законодавства, неоднозначністю методичних і систематичних підходів, численними таксономічними інвертаціями.

Вірусологічна діагностика азово-чорноморських риб майже ніколи не проводилася. Вивчення збудників *Vibrio parahaemolyticus*, носіями яких можуть бути контаміновані морська риба і безхребетні, що спричинюють тяжкі кишкові захворювання у людей, здійснювали В. Шикулов (1981 р.), А. Лібінзон (1987 р.), М. Лапенков (1981 р.).

Виклад основного матеріалу. Інформація щодо вивчення інвазійних та інфекційних захворювань риб в азово-чорноморському басейні є недостатньою. Відповідно до проведеного моніторингу азово-чорноморської кефалі трапляються випадки захворювання із клінічними ознаками вібриозу. Збудники *Vibrio parahaemolyticus*, якими можуть бути контаміновані морська риба та безхребетні, спричинюють тяжкі кишкові захворювання у людей. У промислових і штучно-вирощуваних риб азово-чорноморського басейну зареєстровані захворювання різної етіології.

Серед вірусних захворювань потенційно небезпечними є такі: лімфоцистоз (камбалоподібні), епітеліоцистоз (кефалеві), вірусна енцефалопатія і ретинопатія (кефалеві), герпесвірус тюрбо (камбалові), епідермальна папілома (камбалові), інфекційний панкреатичний некроз (лососеві, камбалові, тріскові, оселедцеві), вірусна геморагічна септицемія (лососеві, камбалові, тріскові, оселедцеві), весняна віремія коропа (коропові), дерматофібросаркома судака (окуневі) тощо. Із бактеріальних хвороб реєструвався вібриоз (камбалові, кефалеві, лососеві, тріскові); потенційно небезпечним є псевдомоноз і аеромоноз (коропові, рослиноїдні), едвардієльоз (кефалеві), міксобактеріоз (лососеві), мікобактеріоз (лососеві, коропові). Із мікозних захворювань реєструвалися клінічні ознаки іхтіофозу (оселедцеві, кефалеві, тріскові, лососеві та інші) бронхіомікозу (коропові) і сапролегніозу (коропові, лососеві, кефалеві та інші). Широко поширені серед азово-чорноморських риб збудники інвазійних захворювань. Серед небезпечних ектопаразитів осетрових зустрічаються копеподи *Pseudotrachealiastes stellatus* та моногенеї *Nitzshia sturionis*. У чорноморських шпротів виявлені кокцидіоз (*Eimeria sardinae*) та гістеротіля-

ціоз (*Hysterothylacium aduncum*), у чорноморського мерлана – міксидіоз (*Myxidium gadi*), в азово-чорноморської хамси – гістеротіляціоз та стефаностомоз (*Stephanostomum* spp. met), у камбали-калкана – ботріоцефальоз (*Bothriocephalus gregarius*), глугеоз (*Glugea stephani*), міксидіоз (*Myxidium* spp.) та інші.

Вірусологічні дослідження азово-чорноморських риб майже ніколи не проводилися. Тому донині залишається нез'ясованим питання про існування у гідроекосистемах Азовського і Чорного морів осередків небезпечних для риб вірусних захворювань – вірусної геморагічної септицемії та інфекційного панкреатичного некрозу, що є надзвичайно гострим питанням для Міжнародного Епізоотичного Бюро (МЕБ).

Зазначені чинники можуть указувати на те, що з метою підвищення якості води як основного гаранту безпечності водних біоресурсів на часі є розроблення наукових біомеліоративних заходів на водоймах України, зокрема в Азово-Чорноморському басейні.

Отже, у сучасних соціально-економічних умовах України (із урахуванням інтеграції країни до Європейського Союзу) дослідження видів іхтіофауни водойм України щодо вивчення біологічного різноманіття, визначення технологічних властивостей сировини із водних біоресурсів (за умов епізотологічного моніторингу інфекційних та інвазійних захворювань морських риб і гідробіонтів), визначення несприятливих акваторій і розроблення сучасних високоефективних методів контролю за поширенням інфекцій є одними із першорядних завдань

сучасної рибогосподарської діяльності з метою розроблення рекомендацій щодо технологій виробництва інноваційних харчових продуктів, популяризації вітчизняної продукції із риби та нерибних об'єктів промислу.

Оцінка кількісних та якісних показників іхтіоценозів також має визначальне значення під час розроблення природоохоронних заходів зі збереження рибопродуктивності, підтримання біологічного різноманіття рибогосподарських водойм загальнодержавного і місцевого значення.

Це дослідження присвячене вивченню вищезазначених аспектів у частині, що стосується видів водних біоресурсів Азово-Чорноморського басейну.

Задля здійснення поставленої мети основними завданнями досліджень є:

- 1) здійснення моніторингу скупчення, місць нагулу, шляхів міграції водних біоресурсів шляхом застосування сучасних світових методик і відповідного наукового обладнання для вивчення та аналізу комплексних показників;
- 2) системний збір первинних наукових біологічних матеріалів про кількісний, видовий та якісний склад іхтіофауни Азовського і Чорного морів;
- 3) визначення домінуючих і найважливіших у сировинному аспекті видів іхтіофауни;
- 4) встановлення і забезпечення дотримання оптимальних умов упродовж усього логістичного ланцюга: вилучення – транспортування – зберігання – переробка – реалізація товару;
- 5) аналіз технологічних властивостей біологічної сировини, яку можна отримати



Рис. Чорноморська акула катран

мувати з основних видів водних біоресурсів, задля розроблення рекомендацій із комплексної переробки, розроблення технологій інноваційних харчових продуктів і популяризації продукції із вітчизняних водних біоресурсів; 6) проведення моніторингу іхтіопатологічних показників і визначення сезонної динаміки прояву хвороб, спричинених патогенними мікроорганізмами та паразитами; 7) встановлення особливостей поширення збудників інфекційних та інвазійних захворювань у географічних межах акваторії Азовського і Чорного морів; 8) розроблення методів контролю поширення інфекцій та інвазій, спричинених епідеміологічно-небезпечними збудниками, удосконалення методів ветеринарно-санітарної експертизи водних біоресурсів; 9) визначення найнебезпечніших захворювань, які мають епізоотичне значення під час культивування камбали та інших промислових риб; 10) визначення необхідних заходів із біологічної меліорації, розроблення методик біомеліоративної експлуатації водойм та забезпечення відтворення водних біоресурсів у водних системах; 11) розроблення пропозицій щодо перспективної доцільності промислу певних видів водних біоресурсів, їхньої переробки і реалізації.

Методика досліджень. Системний відбір водних біоресурсів у незначній кількості у басейні Азовського і Чорного морів, зокрема у заборонених для промислу зонах, представниками НДІ «Держводехологія» і Державної Екологічної Академії післядипломної освіти та управління або підприємствами-співвиконавцями (відповідно до договорів) із метою реального і достовірного контролю за технологічним процесом переробки та логістики – від вилучення, транспортування, зберігання до переробки і реалізації дослідних зразків продукції на основі гідробіонтів у торговельних мережах України.

Методи натурних досліджень передбачають комплекс різнопланових завдань:

I. Польові:

- вивчення стану популяцій водних біоресурсів;
- дослідження біотичних характеристик (відбір проб гідробіонтів);
- визначення абіотичних характеристик водних екосистем.

II. Лабораторні:

- гідрохімічний лабораторний аналіз;
- камеральне опрацювання проб гідробіонтів;
- аналіз та узагальнення отриманих натурних даних.

Протягом експедиційного періоду на кожній станції спостереження здійснювалися виміри основних середовищотворювальних абіотичних характеристик (температури води, прозорості води за диском Секкі, абсолютного і відносного вмісту розчинного у воді кисню, солоності, електропровідності, рівня рН, TDS, тощо), відбір проб води для визначення її гідрохімічного складу і проб гідробіонтів різних трофічних рівнів та екологічних груп (фітопланк-

тону, макрофітів, фітомікроепіфітону, зоопланктону, зооперифітону, зообентосу, бактеріальних угруповань, іхтіофауни).

Із метою дослідження функціональної придатності сировини та оцінки іхтіопатологічних показників в акваторії Азовського і Чорного морів планується проведення дослідної риболовлі для вивчення біорізноманіття і відбору експериментальних партей гідробіонтів.

Для отримання достовірних даних дослідження слід проводити з 5-разовою повторюваністю на різних ділянках акваторії морів, зокрема в акваторії природно-заповідного фонду, де відбір проб можливий за умови дотримання природоохоронного законодавства України та за відповідним узгодженням з адміністрацією природно-заповідних установ.

Водночас потрібно керуватися «Инструкцией по санитарно-паразитологической оценке рыбы и рыбной продукции» (м. Москва, 1989 р.), «Правилами ветеринарного огляду та ветеринарно-санітарної експертизи прісноводної і морської риби» (м. Київ, 2002 р.), «Порядком відбору зразків риби, морських ссавців, морських безхребетних» (Постанова № 833 від 14 червня 2002 р.).

Для проведення науково-дослідних ловлень застосовуватимуться такі знаряддя ловлі:

- ставні сітки із кроком вічка 22, 28, 30, 36, 40, 45, 50, 60, 65, 70, 75, 80, 90, 100, 110 мм і довжиною 1 од. сіток до 70 м – не більше 2 од. сіток кожного розміру вічка (загалом до 10 од.);
- ятері з вічком у бочці 6-6,5 мм (атеринові) – 10 шт.; 8-10 мм (креветкові) – 15 шт.; 18 мм (бичкові) – 10 шт., (довжина крила – не більше 100 м);
- закидні неводи із вічком: у кулі 30-40 мм, у приводі 30-50 мм, крилах 30-70 мм; довжина – 100-800 м, висота – не більше 10 м;
- закидний невод (снюревод) із вічком: у кулі 10-40 мм, у приводі 30-50 мм., крилах 30-70 мм; довжина – 50-100 м, висота – не більше 30 м;
- дрібновічковий волок із вічком 6-10 мм довжиною 25 м;
- малькова тканка, виготовлена із газу № 17, довжиною 10 м.

Окрім того, передбачається здійснення ловлі різноглибинним тралом розміром до 31 м і вічком у кутці 8-10 мм рапановою драгою, сітками із кроком вічка 180-220 мм (до 10 од.) і сітками із кроком вічка 110-120 мм (до 10 од.).

Основними напрямками діяльності в межах дослідних робіт є такі:

- дослідження стану водних біоресурсів на рибогосподарських водоймах;
- розвиток аквакультури та мариккультури, акліматизація гідробіонтів;
- визначення споживних властивостей рибної сировини;
- вивчення можливостей технологічної переробки гідробіонтів;

- дослідження якості і безпечності рибної сировини та інших гідробіонтів;

- розроблення інноваційних видів рибних товарів із доданою вартістю;

- розроблення та обґрунтування методів біологічної меліорації водних об'єктів.

Найбільш знаковими промисловими видами гідробіонтів в Азово-Чорноморському басейні, харчові і технологічні властивості яких планується досліджувати для розроблення альтернативних видів продуктів харчування із рибної сировини і популяризації вітчизняних видів водних біоресурсів насамперед на внутрішньому ринку, є бички, тюлька, хамса, піленгас, шпрот, оселедець, калкан, кефаль, барабуля, мерланг, катран, скати, пузанок, глоса, атерина, ставрида, сарган, креветки, мідії, рапана.

Окрім того, наукові установи здійснюють вивчення інших маловивчених перспективних видів водних біоресурсів, які можна використати для виробництва біологічно цінних конкурентоспроможних харчових продуктів або збалансованих кормів для тварин.

На основі результатів отриманих аналітико-експериментальних досліджень планується визначити можливі пікові періоди епізоотичної іхтіологічної обстановки у районах промислу із метою запобігання вилученню промислових видів водних біоресурсів у певні критичні періоди.

Головні висновки. За результатами комплексних досліджень розроблятимуться інноваційні технології переробки рибної сировини із замкненим циклом – від вилучення, логістики, зберігання, переробки до маркетингових досліджень, визначення попиту і формування ринкової вартості рибних товарів. Публікації результатів наукових досліджень сприятимуть популяризації вітчизняних видів рибної продукції та будуть упроваджені у навчальний процес закладів освіти, науково-практичну діяльність установ Держрибагентства. Напрацьований матеріал використовуватиметься з метою розповсюдження інформації про види інноваційної переробки рибної сировини на вітчизняних рибопереробних підприємствах.

Окрім того, наразі розвивається напрямок співробітництва України з міжнародним управлінням водними біоресурсами Азовського і Чорного

морів у рамках ФАО, що також потребує створення і підтримки національної інформаційної бази біологічних даних азово-чорноморських видів водних біоресурсів.

Тематика основних напрямів досліджень, пов'язаних із вилученням водних біоресурсів Азово-Чорноморського басейну, передбачає:

- вивчення стану популяцій та запасів водних біоресурсів Азово-Чорноморського басейну;

- вивчення епізоотичної іхтіологічної ситуації на досліджуваних рибогосподарських водоймах;

- вивчення іхтіофауни і стану водойм басейну Азовського і Чорного морів з метою визначення функціонально-технологічних властивостей сировини із водних біоресурсів;

- розроблення рекомендацій щодо комплексної переробки сировини із водних біоресурсів;

- розроблення технологій інноваційних харчових продуктів із водних біоресурсів;

- популяризація вітчизняної продукції на основі гідробіонтів;

- обґрунтування застосування новітніх знарядь і технологій ловлі промислових видів риб та інших водних біоресурсів, які відповідатимуть сучасним природоохоронним вимогам;

- розроблення методичних основ формування колекційних, ремонтно-маточних стад плідників осетрових та інших видів водних біоресурсів Азово-Чорноморського басейну, а також ведення селекційно-плеїнної роботи з об'єктами марікультури.

Окрім перерахованих основних досліджень, нами плануються науково-дослідні роботи локального характеру: вивчення можливості первинної обробки креветки чорноморської із метою виділення істівної частини та хітозану, проведення іхтіопатологічних досліджень чорноморської камбали калкан, визначення споживчих властивостей азовського і чорноморського катрана, рапани, атерини, здійснення різних експертних оцінок тощо.

Результати наукових досліджень будуть інформаційно-корисними для користувачів водних біоресурсів (підвищення вартості рибної сировини), переробників (отримання нових технологій переробки), а також кінцевих споживачів рибних товарів (використання якісної і безпечної продукції).

Література

1. Гидроэкология украинского участка Дуная и сопредельных водоемов. Киев : Наук. думка, 1993. 328 с.
2. Арсан О.М., Давидов О.А., Дьяченко Т.М. та ін. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод. За ред. Романенка В.Д. НАН України. Ін-т гідробіології. Київ : ЛОГОС, 2006. 408 с.
3. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. Москва : Изд-во «Пищевая промышленность», 1966. 267 с.
4. Щербак В.І. Фітопланктон. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод. Київ : ЛОГОС, 2006. С. 12–44.
5. Закон України «Про рибне господарство, промислове рибальство та охорону водних біоресурсів» URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3677-17#Text>
6. Балтаджи Р.А., Лупачева Л.И., Тарасова О.М. Результаты работ по акклиматизации растительноядных рыб на Украине. *Рыбное хозяйство*. 1980. Вып. 31. С. 38-44.
7. Сидоренко О.В. Перспективи ефективного розвитку осетрівництва в Україні. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія. Спеціальний випуск: Гідроекологія*. 2015. № 3-4 (64). С. 343-346.

8. Мазаракі А.А., Коротецький В.П., Сидоренко О.В. Модернізація системи державного управління в галузі рибного господарства. *Наук. зб. «Інтегроване управління водними ресурсами»*. 2013. № 1. С. 13-25.
9. Щербак В.І., Коротецький В.П., Сидоренко О.В., Боліла Н.О., Якобчук Ю.О. Пат. на корисну модель № 101959 СО2F 3/00 Спосіб покращення природної якості води та ефективності роботи спеціальних об'єктів водозабезпечення шляхом створення природно-штучного біомеліоративного комплексу. № 2015 03296 ; Заявл. 7.04.2015, Опубл. 12.10.2015, Бюл. № 19.
10. Сидоренко О.В., Боліла Н.О., Коротецький В.П. Безпечність харчового використання чорноморської акули катран. Вода: проблеми та шляхи вирішення. Збірник статей науково-практичної конференції з міжнародною участю, м. Рівне, 6-8 липня 2016 року. Житомир Вид-во ЖДУ ім. Франка. С.13-17.
11. Коротецький В.П., Сидоренко О.В., Романенко О.В. Практичні аспекти реалізації стратегії розвитку галузі рибного господарства України. Глобалізаційні виклики розвитку національних економік: матеріали між нар. наук.-практ. конф. (Київ, 19 жовт. 2016 р.) Ч. 3. Київ: Київ. нац.торг.-екон.ун-т, 2016. С. 422-430.
12. Межжерин С.В. Животные ресурсы Украины в свете стратегии устойчивого развития: Аналитический справочник. Киев : Логос. 2008. 286 с.
13. Верлатый Д.Б., Межжерин С.В., Федоренко Л.В. Видовой состав и численность популяций проходных и пресноводных рыб нижнеднепровской системы: динамика в XX столетии и сравнение с Нижним Дунаем. *Вестник зоологии*. 2009. № 43(3). С. 231-244.
14. Свтушенко М.Ю., Дудник С.В., Глебова Ю.А. Акліматизація гідробіонтів : підруч. Київ : Аграрна освіта, 2011. 234 с. ISBN 978-966-2007-57-2.
15. Фридман А.Л. Теория и проектирование орудий промышленного рыболовства: Учебник для вузов. 2-е изд., и перераб. и доп. Москва : Лег. и пищ. пром-сть, 1981. 328 с.
16. Лунин В.И. Техника промышленного рыболовства: Учебник для техникумов. Москва : Пищ. пром-сть, 1980. 143 с.: ил.
17. Рішення Комітету Верховної ради України з питань екологічної політики та природокористування «Про рекомендації за результатами засідання круглого столу на тему: «Реформування екологічного менеджменту та визначення напрямів розвитку наукових досліджень»» від 01.11.2019 № 10/3.

ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМБІНОВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ ІЗ СУПЕРКОНДЕНСАТОРАМИ ТА ЛІТІЙ-ІОННИМИ АКУМУЛЯТОРНИМИ БАТАРЕЯМИ

Білецький О.О., Котовський В.Й., Святненко В.А.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
пр. Перемоги, 37, 03056, м. Київ
biletsky27@gmail.com

У статті досліджено енергетичні характеристики комбінованих джерел живлення з нелінійними елементами-суперконденсаторами під час їх зарядження від реальних джерел живлення – літій-іонних акумуляторних батарей. Запропоновано спосіб зарядження нелінійних конденсаторів до напруг, більших за напругу джерела, шляхом забезпечення високої добротності контуру за коливального процесу заряду від літій-іонних акумуляторних батарей. Під час цього дослідження початковий і кінцевий струм у зарядному контурі був нульовим.

У науковій роботі доведено ефективність використання ненульових початкових умов за напругою на контактах суперконденсаторів із метою покращення енергетичних характеристик кіл заряду суперконденсаторів від неідеальних джерел постійної напруги. Проаналізовано величину енергії, яка віддається літій-іонній акумуляторній батареї; величину енергії, яка потрапляє у нелінійний конденсатор (суперконденсатор); втрати енергії у зарядному контурі суперконденсатора і коефіцієнт корисної дії, який у цій роботі називається коефіцієнтом передачі енергії від літій-іонних акумуляторних батарей до нелінійного конденсатора (суперконденсатора). Дослідження проведено на всьому діапазоні зміни напруги. Експериментально встановлено, що за від'ємних початкових умов за напругою на контактах суперконденсаторів можна заряджати суперконденсатори до напруг, які удвічі перевищують напругу на літій-іонній акумуляторній батареї. Установлено, що за умови зростання добротності коливального контуру заряду суперконденсатора від літій-іонної акумуляторної батареї може досягатися більша максимальна приведена напруга на клеммах нелінійного конденсатора. Наприклад, за добротності контуру заряду 2 максимальна приведена напруга становить $UC/K_{\max} = 1,32$. У разі зростання добротності до 10 ця величина становитиме 1,7 за умови від'ємних початкових умов за напругою на клеммах нелінійного конденсатора. Запропонований підхід дозволяє підвищувати приведену максимальну напругу на клеммах нелінійного конденсатора СК і за необхідності збільшувати напругу без трансформації енергії і додаткових втрат. *Ключові слова:* енергетичні характеристики, нелінійний конденсатор, суперконденсатор, літій-іонна акумуляторна батарея, комбіновані джерела живлення.

Energy characteristics of combined power supplies with supercapacitors and lithium-ion batteries. Beletsky O., Kotovsky V., Svyatnenko V.

The article investigates the energy characteristics in combined power supplies with nonlinear elements – supercapacitors when they are charged from real power sources – lithium-ion storage batteries. A method is proposed for charging nonlinear capacitors to voltages that exceed the source voltage by providing a high Q-factor of the circuit during the oscillatory process of charging from lithium-ion storage batteries. In this study, the initial and final current in the charging circuit was zero. The scientific work proves the efficiency of using non-zero initial conditions on the voltage at the contacts of supercapacitors in order to improve the energy characteristics of the charge circuits of supercapacitors from non-ideal sources of direct voltage. The amount of energy given to the lithium-ion battery is analyzed; the amount of energy that enters the nonlinear supercapacitor; energy losses in the charging circuit of the supercapacitor and the efficiency, which in this work is called the energy transfer factor from lithium-ion batteries to a nonlinear capacitor – supercapacitor. The study was conducted over the entire range of voltage changes. It has been experimentally established that under negative initial conditions for the voltage at the terminals of supercapacitors, it is possible to charge supercapacitors to voltages that are up to 2 times higher than the voltage on a lithium-ion storage battery. It is established that with increasing the quality factor of the oscillating circuit of the supercapacitor charge from the lithium-ion battery, a higher maximum reduced voltage can be achieved at the terminals of the nonlinear capacitor. For example, at the quality factor of the charge circuit 2, the maximum reduced voltage is $UC/K_{\max} = 1,32$. When the quality factor increases to 10, this value will be 1.7, subject to negative initial voltage conditions at the terminals of the nonlinear capacitor. The proposed approach allows to increase the maximum voltage at the terminals of the nonlinear capacitor of the supercapacitor and, if necessary, to increase the voltage without energy transformation and additional losses. *Key words:* energy characteristics, nonlinear capacitor, supercapacitor, lithium-ion storage battery, combined power supplies.

Постановка проблеми. У сучасних системах із високими вимогами до питомої потужності і питомої енергії усе частіше застосовується поєднання суперконденсаторів (СК) і літій-іонних акумуляторних батарей (ЛІАБ). У комбінованих джерелах живлення поєднується велика питома потужність суперконденсаторів та велика питома енергія новітніх ЛІАБ. Завдяки такій комбінації стає можливим створити

ефективне комбіноване джерело живлення, що легко перекидає потреби у питомій потужності за енерговитратних режимів електротехнічних систем і комплексів. У разі необхідності довготривалого забезпечення енергії використовують новітні зразки ЛАБ [1–5]. У низці наукових робіт були висвітлені та проаналізовані результати досліджень [2; 6], в яких зазначено, що застосування комбінованих джерел живлення із СК та ЛАБ значно підвищує строк служби ЛАБ та надає можливість забезпечити великий коефіцієнт передачі енергії за будь-якого виду заряду СК від ЛАБ.

Актуальність дослідження. У наукових роботах [4; 7; 8] доведено ефективність використання ненульових початкових умов за напругою на контактах лінійних конденсаторів (ЛК) із метою покращення енергетичних характеристик кіл заряду ЛК від неідеальних джерел постійної напруги.

Метою роботи є проведення аналізу можливих шляхів підвищення напруги заряду суперконденсатора у коливальному режимі від реального джерела електрорушійної сили (ЕРС) – літій-іонної акумуляторної батареї у разі варіації початкової напруги на контактах нелінійних конденсаторів (СК) та підвищення добротності контуру заряду.

Викладення основного матеріалу. У разі заряду СК у коливальному режимі від джерела постійної напруги (ЛАБ) заряд нелінійного конденсатора (СК) переривається через наявність напівпровідникового ключа – біполярного транзистора (рис. 1), коли струм змінює свою полярність. Згідно зі схемою контуру заряду комбінованого джерела енергії електротехнічних та електромеханічних комплексів (рис. 1) нелінійний конденсатор заряджається від ЛАБ. У схемі враховано загальний активний опір кола заряду $R_{\Sigma} = R_{AB} + R_1 + R_{np}$, індуктивність L та напівпровідниковий ключ (біполярний транзистор). У сучасній термінології біполярний транзистор називають IGBT-транзистором (від англ. Insulated-gate bipolar transistor).

Завдяки високій добротності зарядного контуру $Q(U_H)$ напруга на клеммах СК може значно перевищувати напругу на клеммах ЛАБ.

На рис. 1 представлена електрична схема комбінованого джерела живлення із суперконденсатором та літій-іонною акумуляторною батареєю. Напруга ЛАБ становить $U_H = 2,3$ (В), опір – $R_{AB} = 0,012$ (Ом). Нелінійний конденсатор – СК замінений еквівалентною схемою із трьома паралельними гілками із різними сталими показниками часу $\tau = RC$. У схемі комбінованого джерела живлення враховується власний опір провідників, який становить $R_{np} = 0,01$ (Ом). Перша гілка має опір $R_1 = 0,0025$ (Ом).

Еквівалентна ємність першої гілки зображена паралельно з'єднаній сталій ємності $C_1 = 270$ (Ф) і змінній ємності $C_v(U_1) = kU$, залежній від напруги на контактах нелінійного конденсатора СК із коефіцієнтом $k = 190$ (Ф/В). Друга гілка має опір $R_2 = 0,9$ (Ом) та ємність $C_2 = 100$ (Ф). Третя гілка представлена конденсатором та резистором із параметрами: $R_3 = 5,2$ (Ом) і $C_3 = 220$ (Ф). Опір $R_4 = 9000$ (Ом) ураховує саморозряд СК у схемі комбінованого джерела живлення [2; 9; 10]. Із метою фіксації максимальної напруги на нелінійному конденсаторі у момент $dU_{СК}(t)/dt = 0$. СК використовується ключ – біполярний транзистор. Задля аналізу процесів у комбінованих джерелах живлення із нелінійним конденсатором СК і реальним джерелом постійної напруги – ЛАБ слід провести дослідження характеристик під час зарядження нелінійного конденсатора СК від ЛАБ за ненульової початкової напруги $U_{0СК}$ на нелінійному конденсаторі на проміжку від $-U_{AB}$ до $+U_{AB}$.

У цьому дослідженні початковий і кінцевий струм у зарядному контурі був нульовим. Проаналізовано величину енергії, яка віддається ЛАБ; величину енергії, яка потрапляє у нелінійний конденсатор СК; втрати енергії у зарядному контурі СК і коефіцієнт корисної дії, який у цій роботі називається коефіцієнтом передачі енергії від ЛАБ до нелінійного конденсатора – СК. Дослідження проведено на всьому діапазоні зміни напруги – $U_H, -0,9 \cdot U_H, \dots, +U_H$.

Нелінійний конденсатор СК на схемі (рис. 1) представлений постійною ємністю $C_1 = const$ та ємністю $C_v(U) = k \cdot |U|$, залежною від напруги U на клеммах СК [2; 4; 10]:

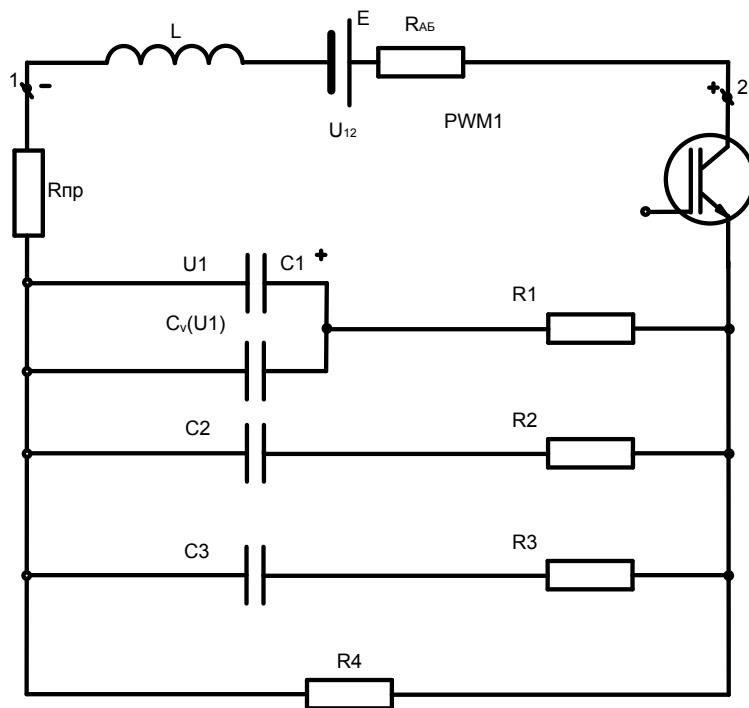


Рис. 1. Комбіноване джерело живлення із суперконденсатором та літій-іонною акумуляторною батареєю

$$C(U) = C_1 \cdot k \cdot |U|. \tag{1}$$

Параметри зарядного кола комбінованого джерела енергії вибирають такими, щоб забезпечувався коливальний заряд нелінійного конденсатора СК від ЛАБ. З урахуванням формули (1) ми отримуємо вираз для добротності Q зарядного контуру:

$$Q = \frac{1}{R_{\Sigma}} \cdot \sqrt{\frac{L}{C(U)}} > 0,5. \tag{2}$$

Відповідно до формул (1) і (2) добротність зарядного контуру $Q(U)$ залежить також від напруги на клеммах нелінійного конденсатора СК.

Постає питання про зміну добротності зарядного контуру $Q(U)$ у разі варіації напруги на нелінійному конденсаторі СК $U_{\text{ОСК}}$ у межах від $-U_{\text{АБ}}$ до $+U_{\text{АБ}}$.

У роботі взято дві різні індуктивності $L_1=1,697$ (Гн) та $L_2=42,438$ (Гн) із метою проведення дослідження цієї залежності. Загальний опір зарядного контуру $R_{\Sigma} = R_{\text{АБ}} + R_1 + R_{\text{ПР}} = 0,0245$ (Ом). За таких параметрів добротності контуру заряду становлять $Q_1(U_{\text{н}}) = 2$ і $Q_2(U_{\text{н}}) = 10$.

У табл. 1 представлені показники зміни добротності $Q_1(U)$ та $Q_2(U)$ контуру заряду залежно від напруги на нелінійному конденсаторі СК.

Ми проаналізуємо зміни добротності $Q_1(U)$ та $Q_2(U)$ за двох значень індуктивності у контурі заряду (табл. 1). За цих параметрів контуру заряду та за номінальної напруги на клеммах нелінійного конденсатора СК добротності відповідно становлять $Q_1(|U_{\text{н}}|) = 2$ та $Q_2(|U_{\text{н}}|) = 10$. Це дослідження показало, що добротність становить $Q_1 = 1,672$ у разі напруги на нелінійному конденсаторі СК $U = 3,9$ (В). Під час зменшення напруги на СК до $U = 1$ (В) добротність складатиме $Q_1 = 2,479$. За умов нульової напруги на нелінійному конденсаторі СК отриму-

ємо максимальну величину добротності $Q_1 = 3,236$, водночас добротність $-Q_2 = 16,18$. Для зарядного кола комбінованого джерела живлення з СК та ЛАБ за індуктивністю $L_2=42,5$ (Гн) добротність становить 8,36 у разі напруги на клеммах $U = 3,9$ (В). За цих умов і у разі зменшення напруги на СК до 1 (В) добротність збільшується майже у 1,5 рази. За умови збільшення напруги на клеммах нелінійного конденсатора СК від $-3,9$ до 0 (В) значення добротності $Q_1(U)$ і $Q_2(U)$ зростають на 92,8%. Під час дослідження енергетичних характеристик комбінованих джерел живлення із СК та ЛАБ треба враховувати те, що добротність контуру заряду залежить від напруги на клеммах нелінійного конденсатора.

Проаналізуємо залежність наведеної максимальної напруги, до якої заряджається нелінійний конденсатор СК ($U_{\text{СКmax}} = U_{\text{СКmax}}/U_{\text{АБ}}$), від наведеної початкової напруги нелінійного конденсатора СК ($U_{\text{ОСК}}/U_{\text{АБ}}$) за двох значень індуктивностей у контурі заряду $L_1=1,697$ (Гн) та $L_2=42,438$ (Гн). Ми одержимо два різних діапазони зміни цих наведених величин для добротності Q_1 та Q_2 (табл. 2 і 3).

Проведений аналіз залежності наведеної максимальної напруги, до якої заряджається нелінійний конденсатор СК, $U_{\text{СКmax}}(U_{\text{ОСК}}/U_{\text{АБ}})$ у табл. 2 і 3 показує, що під час зменшення початкової напруги на клеммах нелінійного конденсатора СК до величини $U_{\text{ОСК}} = -U_{\text{АБ}}$ значення максимальної приведенної початкової напруги нелінійного конденсатора СК $U_{\text{СКmax}}$ збільшується нелінійно від величин, рівних напрузі ЛАБ $U_{\text{АБ}}$, до величин, які перевищують напругу на ЛАБ практично удвічі за добротності зарядного контуру 10.

Максимальна напруга на клеммах нелінійного конденсатора дорівнює $U_{\text{СКmax}} = 1,07$ за добротно-

Таблиця 1

Зміна добротності контуру заряду залежно від напруги на СК

U, В	-2.3	1.5	-1	0.5	0	0.5	1	1.5	2.3
$Q_1(U)$	2.00	2.25	2.47	2.83	3.23	2.83	2.47	2.25	2.00
$Q_2(U)$	10.00	11.23	12.52	13.93	16.18	13.93	12.52	11.23	10.00

Таблиця 2

$U_{\text{СКmax}}/U_{\text{АБ}}$	$Q_1(U_{\text{н}}) = 2$										
	1,32	1,32	1,32	1,31	1,30	1,30	1,30	1,28	1,26	1,24	1,23
$U_{\text{СКmax}}/U_{\text{АБ}}$	$Q_2(U_{\text{н}}) = 10$										
	1,69	1,69	1,68	1,67	1,65	1,63	1,61	1,58	1,55	1,53	1,52
$U_{\text{ОСК}}/U_{\text{АБ}}$	-1	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0

Таблиця 3

$U_{\text{СКmax}}/U_{\text{АБ}}$	$Q_1(U_{\text{н}}) = 2$										
	1,23	1,22	1,21	1,19	1,17	1,15	1,12	1,10	1,06	1,03	1
$U_{\text{СКmax}}/U_{\text{АБ}}$	$Q_2(U_{\text{н}}) = 10$										
	1,51	1,48	1,45	1,42	1,37	1,32	1,28	1,21	1,15	1,08	1
$U_{\text{ОСК}}/U_{\text{АБ}}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1

сті зарядного контуру $Q_1 (|U_H|) = 2$ та за умови, що початкова напруга на нелінійному конденсаторі становить $U_{0CK}/-U_{AB} = 0,8$. Максимальна напруга на клеммах СК складатиме $U/_{CKmax} 1,24$ при $U_{0CK}/U_{AB} = 0$.

Під час подальшого зменшення початкових умов за напругою на клеммах нелінійного конденсатора до $U_{0CK}/-U_{AB} = -0,8$ наведена максимальна напруга на клеммах нелінійного конденсатора становитиме 1,32.

Слід зазначити, що за умови збільшення добротності коливального зарядного контуру до $Q_2 (|U_H|) = 10$ приведена максимальна напруга $U/_{CKmax}$ на контактах нелінійного конденсатора СК підвищуватиметься більш стрімко.

Приведена максимальна напруга становить $U/_{CKmax} = 1,15$ за приведеної напруги на клеммах нелінійного конденсатора $U_{0CK}/-U_{AB} = 0,8$. Для цього ж зарядного контуру, але за нульових початкових умов з напруги наведена напруга $U/_{CKmax} = 1,52$. У разі індуктивності зарядного контуру $L_2 = 42,438$ (Гн) та за умови зменшення початкових умов з напруги на контактах нелінійного конденсатора СК до $U_{0CK}/-U_{AB} = -0,8$ значення приведеної максимальної напруги на контактах нелінійного конденсатора СК становитиме 1,7.

За умови високої добротності коливального зарядного контуру нелінійного СК від реального джерела напруги ЛАБ [2; 6] можна заряджати нелінійний конденсатор СК до приведених максимальних напруг на клеммах $U/_{CKmax}$, які можуть бути більш ніж удвічі вищими за напругу джерела ЛАБ. За величини добротності контуру заряду $Q_2(U_H) = 10$ значення наведеної максимальної напруги стано-

витиме 1,7 (за умови початкової напруги на клеммах нелінійного СК $U_{0CK} = -U_{AB}$).

Висновки.

1. За коливального зарядження нелінійного конденсатора СК від реального джерела постійної напруги ЛАБ можна заряджати СК до значень напруги, які перевищують напругу на джерелі енергії ЛАБ, за умови використання від'ємних початкових умов із напруги на клеммах нелінійного конденсатора СК та за умови високої добротності коливального зарядного контуру.

2. Проведений аналіз коливального заряду СК від ЛАБ за високої добротності $Q(U_H) > 10$ показав, що під час зміни початкових умов із напруги на нелінійному конденсаторі СК від $+U_{AB}$ до $-U_{AB}$ наведена значення максимальної напруги на контактах нелінійного конденсатора СК змінюється від значення U_{AB} до напруги, яка вдвічі перевищує напругу на реальному джерелі напруги ЛАБ.

3. Установлено, що за умови зростання добротності коливального контуру заряду СК від ЛАБ може досягатися більша максимальна приведена напруга на клеммах нелінійного конденсатора. Наприклад, за добротності контуру заряду $Q_1(U_H) = 2$ максимальна приведена напруга становить $U/_{CKmax} = 1,32$. У разі зростання добротності до 10 ця величина становитиме 1,7, за умови від'ємних початкових умов із напруги на клеммах нелінійного конденсатора $-U_{0CK} = -U_{AB}$.

4. Запропонований підхід дозволяє підвищувати приведену максимальну напругу на клеммах нелінійного конденсатора СК $U/_{CKmax}$ і за необхідності збільшувати напругу без трансформації енергії і додаткових втрат.

Література

- Burke A. Present and future supercapacitors: technology and applications. *Presented at the supercapacitor USA*. Santa Clara, California. 2014.
- Білецький О. О. Енергетичні процеси в колах заряду суперконденсаторів зі змінними початковими напругами: дис. ... канд. техн. наук: 05.09.05. Київ, 2016. 195 с.
- Burke A. Ultracapacitors alone and in combination with batteries in hybrid- electric vehicles: system considerations and performance. *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*. Springer Publishing. 2011.
- Білецький О. О., Супруновська Н. І., Щерба А. А. Залежність енергетичних характеристик кіл заряду суперконденсаторів від їх початкових і кінцевих напруг. *Технічна електродинаміка*. 2016. № 1. С. 3–10.
- Burke A., Miller M., Zhao H. Lithium batteries and ultracapacitors alone and in combination in hybrid vehicles: fuel economy and battery stress reduction advantages. *JSR*. 2010. Vol. 21, No 23. P. 15.
- Білецький О. О., Котовський В. Й. Енергетичні характеристики кіл коливального заряду суперконденсатора. Вінниця, ВНТУ. 2017. С. 10-11.
- Шидловский А. К., Щерба А. А., Супруновская Н.И. Энергетические процессы в электроимпульсных установках с емкостными накопителями энергии. *ИЭД НАНУ*. 2009. 207 с.
- Щерба А. А., Супруновская Н.И., Белецкий О.А. Энергетические характеристики суперконденсаторов при их заряде от источника напряжения и разряде на резистивную нагрузку. *Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України*. 2014. № 39. С. 65–73.
- L. Zubieta R. Bonert. Characterization of double-layer capacitors for power electronics applications. *IEEE Trans. on Ind. Appl.* 2000. Vol. 36, № 1. P. 199–205.
- Білецький О. О., Щерба А. А., Супруновська Н. І. Енергетичні характеристики кіл аперіодичного заряду суперконденсаторів від акумуляторних батарей. *Вісник Нац. ун-ту "ХПИ" : зб. наук. пр. Темат. вип. : Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика*. 2015. № 12 (1121). С. 379–383.

ФОРМУВАННЯ РИНКУ ЕКОЛОГІЧНОГО СТРАХУВАННЯ В УКРАЇНІ ЗАДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

Галушкіна Т.П.¹, Афанасьєва О.О.¹, Скиба Д.В.²

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

²Приватне акціонерне товариство «Полтавський гірничо-збагачувальний комбінат»
вул. Будівельників, 16, 39302, м. Горішні Плавні, Полтавська обл.

dei2005@ukr.net

Розглядаються питання, пов'язані з процесом втілення інституту екологічного страхування в Україні. Здійснено огляд передумов, законодавчих підвалин та механізмів екологічного страхування в країнах ЄС та США, розглянуто можливість використання закордонного досвіду в національних інтересах України, проаналізовано законодавчу базу із зазначеного питання. Урахування в процесі запровадження екологічного страхування в нашій державі на основі імплементації зарубіжного досвіду та залучення вітчизняного фахового експертного потенціалу дасть змогу уникнути багатьох помилок.

Відзначено необхідність розгляду екологічного страхування як елементу системи управління екологічною безпекою в країні. Проведено стислий порівняльний аналіз законопроектів «Про екологічне страхування», які надані до профільного комітету Верховної Ради України, розглянуто пропозицію, що стосується спільних підходів, в усіх без винятку законопроектах про створення Бюро екологічного страхування як неприбуткового об'єднання страховиків, що утримується за рахунок їхніх коштів.

Актуальним є питання зацікавленості у проведенні екологічного страхування новостворених територіальних громад, що відповідають за стан охорони навколишнього природного середовища на своїй території. Створення регіонального механізму санатції територіальних об'єктів за допомогою розвитку системи екологічного страхування є дієвим важелем акумулювання фінансових коштів для подальшого їх реінвестування в екологічні програми. Існують реальні перспективи для налагодження ринку екологічного страхування не лише на національному, а й регіональному рівнях.

Визначені ключові чинники становлення інституту екологічного страхування в Україні задля забезпечення національної екологічної безпеки, захисту довкілля та соціуму. *Ключові слова:* екологічне страхування, екологічна безпека, чинне законодавство, аналіз законопроектів.

Formation of the market of ecological insurance in Ukraine for maintenance of national ecological safety. Halushkina T., Afanasieva O., Skyba D.

Issues related to the process of implementing the institute of environmental insurance in Ukraine are considered. A review of the prerequisites, legal framework and mechanisms of environmental insurance in the EU and the US, considered the possibility of using foreign experience in the national interests of Ukraine, analyzed the legal framework on this issue. Consideration in the process of introducing environmental insurance in our country on the basis of the implementation of foreign experience and the involvement of domestic professional expertise will avoid many mistakes.

The need to consider environmental insurance as an element of the environmental safety management system in the country is noted. A brief comparative analysis of the draft laws «On Environmental Insurance» submitted to the profile committee of the Verkhovna Rada of Ukraine was considered, the proposal concerning common approaches was considered in all draft laws on the establishment of the Environmental Insurance Bureau as a non-profit association of insurers funds.

The issue of interest in conducting environmental insurance of newly created territorial communities responsible for the state of environmental protection on their territory is relevant. Creating a regional mechanism for the rehabilitation of territorial facilities through the development of environmental insurance is an effective lever for the accumulation of funds for their further reinvestment in environmental programs. There are real prospects for the establishment of the environmental insurance market not only at the national but also at the regional level.

The key factors of formation of the institute of ecological insurance in Ukraine for maintenance of national ecological safety, protection of environment and society are defined. *Key words:* ecological insurance, ecological safety, current legislation, analysis of bills.

Постановка та актуальність проблеми. Проблемні питання, які розглядаються у цій статті, пов'язані з правовим забезпеченням і практичним втіленням інституту екологічного страхування в Україні як сьогодні, так і в перспективі, оскільки й досі в Україні не прийнято Закону прямої дії.

В основу дослідження покладено дані аналізу чинного законодавства з питань екологічного страхування, а також результати аналізу законопроектів

«Про екологічне страхування», що були подані на розгляд до Верховної Ради України.

Метою статті є огляд міжнародного досвіду екологічного страхування та експертна оцінка ефективності його імплементації в Україні відповідно до викликів зеленої економіки.

Виклад основного матеріалу. Наближення України до Європейського Союзу вимагає дотримання відповідних екологічних вимог, гармонізацій

у сфері правового регулювання охорони навколишнього природного середовища, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки.

Слід констатувати, що екологічна та продовольча безпека вже є невід'ємним елементом загальної концепції європейської безпеки, про що свідчать численні документи Організації з безпеки та співробітництва в Європі, які містять рекомендації щодо формування принципів міжнародної взаємодії та імплементації важливих міжнародно-правових актів з питань, що стосуються довкілля. У зв'язку із цим в Україні особливу актуальність набуває конституційне закріплення і регулювання екологічних правовідносин. Стаття 16 Конституції України гарантує забезпечення екологічної безпеки і підтримання екологічної рівноваги на території України, подолання наслідків Чорнобильської аварії – катастрофи планетарного масштабу, а стаття 50 Конституції України [7] декларує, що кожен громадянин України має право на сприятливе навколишнє середовище, достовірну інформацію про її стан і на відшкодування шкоди, заподіяної його здоров'ю або майну екологічним правопорушенням. При цьому право громадян на сприятливе навколишнє середовище забезпечується створенням нормальних умов для їх життєдіяльності, наданням можливості участі в обговоренні підготовлюваних рішень з екологічних проблем, здійсненням державних заходів щодо запобігання екологічно небезпечної діяльності, попередження і ліквідації наслідків аварій, природних стихійних лих, наданням достовірної інформації про стан навколишнього середовища; поліпшенням якості продуктів харчування, можливістю вимагати в судовому порядку скасування рішень про розміщення, проектування, будівництва, реконструкції та експлуатації екологічно небезпечних об'єктів.

Беручи участь у діяльності європейських міжнародних інституцій з питань, що регулюються міжнародним правом в сфері довкілля та у розробці відповідних міжнародно-правових актів, Україна безпосередньо долучається до процесів практичного розв'язання найгостріших проблем сучасності, що відповідає як загальноєвропейським, так і національним інтересам.

На сучасному етапі саме забезпечення національної екологічної безпеки є ключовою домінантою розвитку суспільства, доктрина якої до цього часу в Україні на державному рівні чітко не визначена. Про те, що проблема екологічної безпеки є досить актуальною, свідчить той факт, що своїм Указом ще від 4 лютого 2003 року № 76/2003 Президент України зобов'язав Кабінет Міністрів України у шестимісячний строк забезпечити напрацювання проєктів законів «Про екологічне страхування» та «Про Національний екологічний фонд» [16].

На посилення вимог та заходів національної екологічної безпеки направлені і наступні Укази Президента України – від 14 вересня 2020 р. № 392

«Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 14 вересня 2020 року «Про Стратегію національної безпеки України» та від 23 березня 2021 р. № 111 «Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 23 березня 2021 року «Про виклики і загрози національній безпеці України в екологічній сфері та першочергові заходи щодо їх нейтралізації».

Однак цей контент, на жаль, не зовсім повно представлено в проєкті Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року, схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2021 р. № 1363-р, яка носить досить таки декларативний характер та не визначає чітких цільових орієнтирів щодо підвищення рівня екологічної безпеки та покращання стану навколишнього природного середовища, в тому числі щодо розвитку екологічного страхування в Україні [13].

Між тим глобальні виклики та міжнародні ініціативи в напрямі запровадження Європейського Зеленого Курсу(ЄЗК), проголошеного ЮНЕП ще в 2009 р. стають дедалі активним імпульсом для орієнтації державної політики України на поступ до зеленого переходу в напрямі забезпечення її кліматичної нейтральності та досягнення спільних домовленостей щодо зеленого фінансування, відповідно до міжнародних стандартів політики декарбонізації. Це дає можливість сподіватися, що врешті-решт Україна не лише активно приєднається до реалізації ЄЗК, а й до міжнародної практики формування інституту екологічного страхування як ефективного важеля забезпечення економічного розвитку держави за зеленим сценарієм.

Оцінка міжнародного досвіду екологічного страхування

Перш ніж зупинитися на сценарії розвитку механізму реалізації екологічного страхування в Україні, визначимо основні принципи даного виду страхування, які успішно пропагуються на Заході.

Як свідчать компетентні аналітичні огляди, сам по собі інститут відповідальності за забруднення навколишнього природного середовища не є чимось зовсім новим у галузі цивільного міжнародного приватного права. Проблеми надання різних фінансових гарантій, у тому числі страхового покриття, щодо заподіяння шкоди навколишньому природному середовищу особливо активно стали розвиватися в середині 50-х р. нашого століття. У той час почало інтенсивно формуватися екологічне законодавство європейських держав, яке визначає основу регулювання інституту відповідальності за шкоду, заподіяну навколишньому природному середовищу та регламентує підходи для моделювання відповідного страхового покриття для ризиків забруднення [1, с. 16].

Світова практика свідчить, що екологічне страхування, яке здійснюється в рамках страхування відповідальності за шкоду від забруднення навколишнього середовища (Environmental Impairment

Liability), виникло на початку 60-х років ХХ століття. У закордонній практиці це поняття найчастіше означає страхування цивільно-правової відповідальності власників потенційно небезпечних об'єктів у зв'язку з необхідністю відшкодування збитків третім особам, зумовленого технологічною аварією або катастрофою [1].

Сьогодні в країнах ЄС та США існує вже достатньо широкий досвід екологічного страхування, тоді як в Україні ця площина залишається недостатньо опрацьованою як у законодавчому, так і в практичному сенсі.

Так, в 1980 р. Конгрес США прийняв закон, що регулює питання відповідальності і виплати компенсацій та покладає безумовну відповідальність за забруднення довкілля на усіх власників. Із цією метою був затверджений спеціальний фонд для відновлення і збереження навколишнього середовища, відомого під назвою «Суперфонд» [1].

Між тим страхування екологічних ризиків у країнах Європи розвивалось за дещо іншим сценарієм. На початку 90-х років посилення вимог законодавства щодо екологічної відповідальності підприємств промисловості призвели до зростання попиту на цей вид послуг.

На страховому ринку європейських країн з'явилися поліси страхування від забруднення, які передбачали страхування окремих екологічних ризиків, у тому числі ризиків поступового забруднення. Умови таких полісів передбачали індивідуальні особливості галузей страхувальників і коригувались відповідно до потенційних екологічних проблем, із урахуванням необхідності ретельної оцінки страхового (екологічного) ризику» [1]. Максимальна сума страхового відшкодування зі страхування відповідальності у випадку ненавмисного забруднення, прийнята на Лондонському страховому ринку, складає від 85 до 170 млн. дол., а максимальний обсяг страхової відповідальності в Європі, включаючи страхування відповідальності у випадку поступового забруднення, – не більше як 20 млн. дол.

Сьогодні у світовій практиці переважають такі види екологічного страхування [1, с. 16]:

1) екологічне страхування нерухомих об'єктів (fixed facilities): «Вибіркове страхування юридичної відповідальності за забруднення» (Pollution Legal Liability Select); «Страхування відповідальності за викид забруднюючих речовин із наземних (підземних) ємкостей» (Storage Tank Liability);

2) екологічне страхування підприємств сервісу (service industry): «Страхування відповідальності підрядчиків, що займаються розчисткою територій, будівель матеріалів, які містять свинець» (Asbestos Abatement Liability Insurance); «Страхування відповідальності підприємців, що займаються розчисткою територій/будівель від матеріалів, що містять свинець» (Lead Abatement Liability Insurance); «Страхування відповідальності підрядчиків, що

займаються рекультивацією забруднених земель» (Contractor Operations and Professional Services);

3) екологічне страхування відповідальності при перевезеннях: «Страхування відповідальності володільців транспортних засобів за забруднення навколишнього природного середовища» (Environmental Automobile Liability); «Страхування відповідальності володарів вантажів за забруднення навколишнього природного середовища під час їх перевезення» (Owners Spill Liability).

4) екологічне страхування забрудненого нерухомого майна (Contaminated Properties): «Страхування неочікуваних витрат по розчистці та рекультивації забрудненого нерухомого майна» (Cleanup Cost Cap); «Страхова програма, що покриває всі операції по розчистці і рекультивації забрудненого нерухомого майна по загальному ліміту протягом усього строку страхування» (Owners Controlled Insurance Program).

Зарубіжна практика свідчить: якщо раніше одним з основних уявлень відшкодування по такого роду збитку служив показник раптовості і непередбаченості забруднення, то дещо пізніше виплати стали надаватися і за збитки, викликані поступовим забрудненням (наприклад, водних ресурсів – у Німеччині). Істотні зміни торкнулися і філософії самого страхового покриття, наданого у відношенні ризиків відповідальності за забруднення навколишнього природного середовища. Наприклад, Швейцарська страхова компанія «Швайцер Рюк» розробила оригінальну модель страхування відповідальності за попередженні екологічних ризиків звалищ [1, с. 16]. Основне завдання цього страхування полягає в сплаті внесків та виплаті компенсації третім особам за заподіяну тілесну і майнову шкоди, а також завдану природному середовищу шкоду. Наразі ця модель ефективно використовується в США. Як свідчить досвід, витрати страхових компаній на відшкодування збитку, що наноситься природним ресурсам, становлять від 2 до 180 млрд. дол. [1].

При цьому неодмінною умовою екологічного страхування має бути взаємна зацікавленість страховика та страхувальника в попередженні аварій та нанесення шкоди навколишньому середовищу. Страхувальник зацікавлений у підвищенні своєї екологічної безпеки та отриманні низки економічних пільг у разі безаварійності. Страховик же розпоряджається частиною суми, що становить різницю між сумою зібраних страхових премій і виплачених страхових відшкодувань, направляючи їх на екологічне аудитування страхувальників, поліпшення служби моніторингу навколишнього середовища та інші екологічні потреби.

Формування інституту екологічного страхування в Україні. Сьогодні в Україні утворилася певна ніша в частині розвитку екологічного страхування, яке впродовж майже трьох десятиріч розглядалось як наукова проблема» [2; 16; 14], практична ж площина до цього часу ще не отримала широкого

втілення, незважаючи на те, що для цього існують певні законодавчі та господарські передумови. Так, ст. 49 основного екологічного Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» декларативно свідчить, що в Україні «здійснюється добровільне і обов'язкове державне та інші види страхування громадян та їх майна і доходів підприємств, установ і організацій на випадок шкоди, заподіяної внаслідок забруднення навколишнього природного середовища та погіршення якості природних ресурсів. Порядок екологічного страхування встановлюється законодавством України» [5]. Наразі можна констатувати, що жоден законодавчий акт в Україні не містить декларацію щодо вимог та сценарію обов'язкового і добровільного страхування.

У широкому сенсі екологічне страхування слід розглядати як елемент системи управління екологічною безпекою» [3]. Остання може бути змодельована як сукупність юридичних і економічних механізмів, спрямованих на те, щоб знизити ймовірність виникнення аварій або техногенної катастрофи до прийнятної для суспільства рівня, а в разі виникнення такої аварії – забезпечити захист, локалізувати наслідки аварії, а також відшкодувати збитки, завдані населенню, суспільству та навколишньому середовищу. Оцінка передумов запровадження інституту екологічного страхування в Україні базується на таких постулатах.

На території України зберігається високий ризик виникнення надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру.

Основними причинами виникнення техногенних аварій і катастроф та посилення негативного впливу внаслідок виникнення надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру в Україні є: застарілість основних фондів, зокрема природоохоронного призначення, великий обсяг транспортування, зберігання і використання небезпечних речовин, аварійний стан значної частини мереж комунального господарства, недостатня інвестиційна підтримка процесу запровадження екологічно безпечних, ресурсо- та енергозберігаючих технологій, насамперед у металургійній, хімічній, нафтохімічній галузях та енергетиці; істотні зміни стану геологічного середовища, зумовлені закриттям нерентабельних гірничих підприємств, гідрогеологічного режиму водних об'єктів, небажанням суб'єктів господарювання здійснювати заходи із запобігання аваріям та катастрофам на об'єктах підвищеної небезпеки та потенційно небезпечних об'єктах тощо. Сьогодні в Україні нараховується 14 тисяч підприємств, які належать до високого ступеня ризику.

Існує значна, не виявлена Державною екологічною інспекцією екологічна шкода, яка нанесена фізичним та юридичним особам, статистична інформація про яку не збирається. Відповідно до публічного звіту Голови державної екологічної

інспекції України, за 2020 рік Державною екологічною інспекцією розраховано 2,1 млрд. грн. збитків заподіяних довкіллю, при цьому фактично стягнуто з порушників за 2020 рік лише 81 млн. грн. (4%), решта збитків залишилась непокритою, тобто зазначені витрати лягали на державний бюджет та платників податків. Водночас про загальне погіршення стану довкілля (недостатність компенсації нанесеної для довкілля шкоди) свідчать доповіді про стан довкілля Уповноваженого з прав людини, де окремою тезою досліджується питання заподіяння збитків навколишньому природному середовищу та громадянам.

Посилення кліматичних загроз та глобальних екологічних викликів. Ще однією з причин виникнення надзвичайних ситуацій є зміна клімату. Наслідки зміни клімату (потепління, зростання кількості та інтенсивності екстремальних погодних явищ) одночасно з високим рівнем вразливості окремих верств населення призводять до соціальних та економічних втрат сьогодні та в майбутньому. Зокрема, слід відзначити зростання загрози катастрофічних повоєній у Карпатах, масштабних пожеж на торфовищах, підтоплення територій, розширення аридної зони південного регіону, підвищення частоти та тривалості посух, висихання річок та водойм Причорномор'я, Приазов'я, включно з лиманами, перетворення степів південного регіону на пустелі, затоплення прибережних територій та гостру нестачу питної води в центральних, південних і східних регіонах України.

Упродовж останнього десятиліття кількість техногенних аварій та екологічних катастроф неспинно зростає. Потенційно небезпечні виробництва в Україні становлять велику питому вагу в структурі виробництва. Тому сьогодні актуальною проблемою є створення належних умов і прийняття відповідних законів, які б сприяли ефективному функціонуванню системи екологічного страхування.

Страховання відповідальності юридичних осіб за забруднення навколишнього середовища повинне забезпечувати механізм матеріального відшкодування за завдання збитків, створювати умови для здійснення контролю за діяльністю на екологічно небезпечних об'єктах, інвестування у розвиток екологічно чистих і безпечних підприємств, а також відновлювати до нормативних показники довкілля, необхідні для забезпечення здорового існування людей.

У відповідності зі статтею 69 Закону України «Про охорону навколишнього середовища природного середовища» [5] шкоду в слідстві негативного впливу на навколишнє середовище діяльністю підприємств, установ, організацій та окремих громадян підлягає компенсації в повному обсязі. При цьому враховуються витрати на лікування і відновлення здоров'я, а також витрати, пов'язані зі зміною місця проживання, професії, недоотриманий прибуток за час, необхідний на відновлення здоров'я.

Таким чином, розвиток системи екологічного законодавства в Україні має передбачати і формування правового поля у галузі екологічного страхування, а також організаційно-екологічного механізму його становлення в Україні.

Однак сьогодні це положення проголошено досить декларативно, оскільки навіть Закон «Про страхування» не повною мірою дає пояснення з приводу ідеології самого поняття екологічного страхування, а також механізму здійснення блоку організаційно-економічних заходів у частині його розвитку.

Зважаючи на це, починаючи з 90-их років минулого століття на різних гілках влади здійснюються кроки по налагодженню цього механізму, однак поки що з нульовим результатом. Так, ще на початку 1998 р. парламентський комітет з питань екологічної політики підтримав проект змін до Закону «Про страхування» в частині внесення доповнень про впровадження обов'язкового екологічного страхування відповідальності підприємств, установ і організацій за шкоду, завдану навколишньому середовищу в результаті техногенних аварій і катастроф і при перевезенні екологонебезпечних вантажів. Незважаючи на такий «урізаний підхід» до самої постановки проблеми екологічного страхування, навіть ці доповнення до цього часу законодавчо не закріплені [6].

Таким чином, недостатня законодавча опрацюваність цього питання ускладнює поширення накопиченого передового досвіду в даній площині, який існує як в країнах колишнього Радянського Союзу, так і в країнах Центральної та Східної Європи. Запозичення міжнародного досвіду регулювання даного виду страхової діяльності з метою трансформації його позитивних моментів у вітчизняній практиці дозволить успішно вирішити цю правову проблему і в Україні.

Закон «Про екологічне страхування», який би встановлював єдині умови та порядок проведення екологічного страхування в Україні в обов'язковій формі та регулював би відносини у сфері екологічного страхування і був спрямований на відшкодування шкоди, заподіяної майновим інтересам юридичних та фізичних осіб внаслідок аварійного забруднення навколишнього природного середовища, сьогодні відсутній. Є лише його проекти. На сучасному етапі відповідний інститут розвивається надто повільно, незважаючи на наявність прямих посилань про необхідність його запровадження в актах екологічного законодавства. Це значною мірою зумовлене відсутністю достатнього досвіду проведення такого виду страхування на теренах України. Проте оскільки на рівні окремих державно-правових систем інститут екологічного страхування все-таки набув певного розвитку, врахування відповідного досвіду буде корисним у процесі запровадження цього інструментарію і в Україні.

Між тим можна стверджувати, що інститут екологічного страхування базується на положеннях

Конституції України щодо права громадян України на безпечне для життя і здоров'я довкілля та відшкодування завданої порушенням цього права шкоди, Законах України «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про страхування», інших актах законодавства з питань природокористування, на нормативно-правових актах Кабінету Міністрів України з питань екологічного страхування, а також актах органів виконавчої влади, до компетенції яких належать питання регулювання діяльності у сферах охорони навколишнього природного середовища та страхування.

Особлива увага до цього виду страхування і необхідність його розвитку були обумовлені різними чинниками, але, перш за все, величезний вплив на цей процес здійснили високі розміри екологічного збитку, які приблизно в 20-50 разів перевищують показники виплат по збитку, заподіяному в результаті пожеж і стихійних лих [6].

Разом із тим сьогодні аспекти екологічного страхування практично не досліджені. Таким чином, розвиток системи екологічного законодавства в Україні має передбачати і подальше формування правового поля у галузі екологічного страхування, а також організаційно-екологічного механізму його становлення з урахуванням кращої міжнародної практики.

Оцінка законотворчих ініціатив щодо запровадження системи екологічного страхування в Україні. Сьогодні до Верховної Ради України подано три законопроекти, які стосуються питання запровадження в Україні системи екологічного страхування:

1) Законопроект «Про екологічне страхування», внесений Кабінетом Міністрів України, зареєстрований у Верховній Раді України 09.09.2021 за № 6018 [10].

2) Законопроект «Про екологічне страхування», внесений народним депутатом України Штепою С.С. та іншими народними депутатами України, зареєстрований у Верховній Раді України 29.09.2021 за № 6018-1 [11].

3) Законопроект «Про екологічне страхування та гарантії відшкодування шкоди, завданої внаслідок діяльності, що становить підвищену екологічну небезпеку», внесений народним депутатом України Криворучкіною О.В. та іншими народними депутатами України, зареєстрований у Верховній Раді України 29.09.2021 за № 6018-2 [12].

Щоб оцінити практичну значимість кожного з цих законопроектів, проведемо стислий огляд їх основних постулатів.

Законопроект «Про екологічне страхування», внесений Кабінетом Міністрів України, зареєстрований у Верховній Раді України 09.09.2021 за № 6018 [10].

Проектом запроваджується обов'язковість страхування цивільної відповідальності за шкоду, заподіяну внаслідок порушення законодавства про охо-

рону навколишнього природного середовища для підприємств з високим ступенем ризику заподіяння збитків навколишньому природному середовищу.

Договір страхування цивільної відповідальності за шкоду, заподіяну в результаті порушення законодавства про охорону навколишнього природного середовища, підлягає обов'язковій реєстрації в Єдиному державному реєстрі договорів екологічного страхування у порядку, встановленому Кабінетом Міністрів України.

Страховим випадком при страхуванні цивільної відповідальності за шкоду, заподіяну в результаті порушення законодавства про охорону навколишнього природного середовища, є набрання законної сили рішенням суду про відшкодування такої шкоди.

Мінімальний розмір страхової суми буде встановлюватись у порядку, затвердженому Кабінетом Міністрів України, та відповідно до критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності та визначається періодичність проведення планових заходів державного нагляду (контролю) центральним органом виконавчої влади, який реалізує державну політику зі здійснення державного нагляду (контролю) у сфері охорони навколишнього природного середовища, раціонального використання, відтворення і охорони природних ресурсів.

Виплата страхового відшкодування буде здійснюватися:

1) за шкоду, заподіяну державі внаслідок порушення законодавства про охорону навколишнього природного середовища, не пізніше тридцяти календарних днів з дати настання страхового випадку;

2) за шкоду, заподіяну майну третіх осіб, не пізніше двадцяти календарних днів з дати настання страхового випадку;

3) за шкоду, заподіяну здоров'ю третіх осіб, не пізніше десяти календарних днів з дати настання страхового випадку;

4) за шкоду, заподіяну життю третіх осіб, не пізніше семи календарних днів з дати настання страхового випадку.

Законопроект «Про екологічне страхування», внесений народним депутатом України Штепою С.С. та іншими народними депутатами України, зареєстрований у Верховній Раді України 29.09.2021 за № 6018-1 [11].

Проектом акта запроваджується розподіл на добровільне та обов'язкове екологічне страхування. Проект акта, на відміну від основного законопроекту, враховує положення Директиви 2004/35/ЄС, якою бізнес стимулюють до добровільного екологічного страхування. Європейський досвід переконливо свідчить про необхідність запровадити розумне поєднання добровільного та обов'язкового екологічного страхування. Так, проектом встановлюється обов'язкове екологічне страхування для всіх суб'єктів господарювання, віднесених до високого ступеня

ризиків (більше 13 тисяч юридичних осіб), тобто для всієї промисловості.

Оскільки вказане безпосередньо впливає на права та обов'язки суб'єктів господарювання, законопроект встановлюються чіткі критерії, при досягненні яких укладення договору страхування є обов'язковим.

Договір страхування цивільної відповідальності за шкоду, заподіяну державі, життю, здоров'ю та майну фізичних осіб, юридичних осіб та фізичних осіб – підприємців в результаті порушення стану навколишнього природного середовища (екологічного благополуччя), та обов'язкового страхування цивільної відповідальності суб'єктів господарювання за шкоду, яку можуть завдати пожежі та аварії на об'єктах підвищеної небезпеки, у тому числі пожежо-вибухонебезпечні об'єкти та об'єкти, господарська діяльність на яких може призвести до аварій екологічного та санітарно-епідеміологічного характеру, підлягає обов'язковій реєстрації в Єдиному державному реєстрі договорів екологічного страхування у порядку, встановленому Кабінетом Міністрів України.

Мінімальний розмір страхової суми також буде встановлюватись у порядку, затвердженому Кабінетом Міністрів України.

Законопроект, як і основний, поширюватиметься в обов'язковому порядку на підприємства, які належать до високого ступеня ризику. Решта підприємств зможуть укласти договори екологічного страхування добровільно.

При цьому, на відміну від положень основного законопроекту, проектом передбачено, що держава стимулює укладення договорів екологічного страхування шляхом надання податкових пільг, відстрочення або розстрочення сплати податків, зборів чи інших обов'язкових платежів, а також надання гарантій, кредитів на пільгових умовах, обслуговування кредитів за пільговими тарифами відповідно до закону України «Про державну допомогу суб'єктам господарювання».

Однак законодавець не уточнює, за яких джерел буде здійснюватися таке стимулювання, чи закладаються відповідні фонди до державного бюджету, і за рахунок яких додаткових податків, внесків, акцизів чи інших платежів держава повинна акумулювати необхідні для такого стимулювання кошти до державного бюджету і за яким принципом в подальшому здійснювати таке стимулювання безпосередньо для суб'єктів господарювання. Відсутність пропозицій щодо врегулювання цих визначальних моментів ставить під сумнів можливість їх впровадження у якості «працюючої» норми закону.

Прийняття законопроекту створює умови для стимулювання добровільного страхування цивільної відповідальності за шкоду, заподіяну внаслідок за шкоду, заподіяну державі, життю, здоров'ю та майну фізичних осіб, юридичних осіб та фізичних осіб – підприємців в результаті порушення стану навколиш-

нього природного середовища (екологічного благополуччя), а також для врегулювання на законодавчому рівні обов'язкового страхування такої відповідальності, скорочення бюджетних витрат на ліквідацію аварійних та надзвичайних ситуацій, посилення контролю за потенційно небезпечними видами діяльності та покращення екологічної безпеки.

Законопроект «Про екологічне страхування та гарантії відшкодування шкоди, завданої внаслідок діяльності, що становить підвищену екологічну небезпеку», внесений народним депутатом України Криворучкіною О.В. та іншими народними депутатами України, зареєстрований у Верховній Раді України 29.09.2021 за № 6018-2 [12].

Законопроектом запроваджується обов'язок суб'єктів господарювання, діяльність яких становить підвищену екологічну небезпеку, мати фінансове забезпечення цивільної відповідальності за шкоду, яку може бути завдано життю, здоров'ю або майну фізичних осіб та фізичних осіб-підприємців, майну юридичних осіб всіх форм власності та територіальних громад, у формі договору екологічного страхування чи банківської гарантії.

Основною ознакою, яка є визначальною в цьому законопроекті, на відміну від попередніх двох раніше проаналізованих законопроектів, є введення базового принципу, що визначає необхідність віднесення певного виду господарської діяльності до необхідності мати договір фінансового забезпечення (або у формі договору екологічного страхування, або у формі банківської гарантії) – здійснення діяльності, яка становить підвищену екологічну небезпеку. Вказана норма чітко корелює з умовами статті 1187 Цивільного кодексу України.

Зареєстрована редакція законопроекту передбачає такі види діяльності, яка становить підвищену екологічну небезпеку:

1. Діяльність суб'єкта господарювання, що віднесена до високого ступеня ризику.
2. Діяльність у сфері управління хімічною безпекою.
3. Діяльність зі зберігання та застосування пестицидів та агрохімікатів.
4. Володіння об'єктами підвищеної небезпеки.
5. Перевезення небезпечних вантажів.
6. Розробка родовищ нафти, газу і вугільних родовищ.
7. Діяльність оператора ядерної установки.

Однак, розуміючи специфіку діяльності банківських гарантії, законодавець визначає види діяльності, яка становить підвищену екологічну небезпеку, які можуть мати банківську гарантію і які повинні мати лише договір екологічного страхування.

Для забезпечення узгодженості законопроекта із положеннями чинних законодавчих актів передбачено внесення змін до Цивільного кодексу України, Кодексу цивільного захисту України, Законів України «Про страхування», «Про охорону навколишнього

природного середовища», «Про відходи», «Про природно-заповідний фонд України», «Про нафту і газ», «Про перевезення небезпечних вантажів», «Про екологічний аудит» та «Про пестициди та агрохімікати».

Вказаний законопроект, як і основний законопроект, базується на принципах співстрахування страховиків, вводить систему публічного моніторингу наявності у кожного суб'єкта господарювання (який повинен мати договір фінансового забезпечення) такого договору кожною заінтересованою, передбачає порядок розрахунку та виплати коштів на екологічну модернізацію підприємств та захищає потерпілих осіб від збитків заподіяних суб'єктами господарювання, які повинні мати договори фінансового забезпечення (банківської гарантії або договору екологічного страхування), але не мали їх на дату заподіяння збитків. Тобто фактично цей законопроект не залишає потерпілу особу «один на один» із суб'єктом господарювання, з вини якого заподіяно збитки такій особі.

Прийняття законопроекту у вказаній редакції створює умови для запровадження механізму страхування (за принципом «обов'язкова наявність договору», а не «обов'язкове страхування») цивільної відповідальності за шкоду, заподіяну внаслідок порушення законодавства про охорону навколишнього природного середовища, скорочення бюджетних витрат на ліквідацію аварійних та надзвичайних ситуацій, посилення контролю за потенційно небезпечними видами діяльності та покращення екологічної безпеки. Однак відмічається перевантаження законопроекту надмірною деталізацією та другорядними тлумаченнями.

Що стосується спільних підходів, то в усіх без винятку законопроектах пропонується утворити Бюро екологічного страхування як неприбуткове об'єднання страховиків, що утримується за рахунок їх коштів. Водночас незважаючи на те, що законопроектом передбачено фінансування Бюро за рахунок коштів страховиків, фактично фінансування його буде здійснюватися за рахунок платежів страховальників (суб'єктів господарювання) за договорами екологічного страхування. **Цей постулат підтверджує стаття 10 Законопроекту № № 6018 [10] – цитата «Плановий норматив витрат та рентабельності членів Бюро при укладенні договорів екологічного страхування становить 15 відсотків», що свідчить про комерційний підхід до процесу збору страхових внесків. Підтвердженням цього є теза статті 10.2 того є Законопроекту – «У разі відсутності достатньої кількості коштів у фонді коригування рентабельності страховиків його поповнення здійснюється за рахунок фонду попереджувальних заходів». Між тим ні в одному з цьогогорічних законопроектів не розглядається можливість створення Екологічного фонду страхових гарантії з метою додаткового забезпечення страхових зобов'язань страховиків при здійсненні екологічного страхування. Наразі**

Таблиця 1

Хронологія законотвірчої практики, яка стосується запровадження в Україні системи екологічного страхування [4; 8–12]

№	Назва, № законопроекту, дата подання	Автор	Сутність законопроекту	Основні ключові поняття
1.	Про екологічне страхування № 85/96-ВР 7 березня 1996 року	Постанова ВРУ	Закон регулює відносини у сфері страхування і спрямований на створення ринку страхових послуг, посилення страхового захисту майнових інтересів підприємств, установ, організацій та фізичних осіб та відносини, пов'язані із страхуванням сільськогосподарської продукції з державною підтримкою	Страхування Страховики Страховальники
2.	Про екологічне страхування (№ 1046) 21.05.2002	Кінах Анатолій Кирилович, Кабінет Міністрів України	Закон регулює відносини у сфері екологічного страхування і спрямований на відшкодування шкоди, заподіяної юридичним і фізичним особам унаслідок аварійного забруднення навколишнього природного середовища	Екологічне страхування Аварійне забруднення навколишнього природного середовища Суб'єкти господарювання По тексту законопроекта: Об'єкти екологічного страхування Суб'єкти екологічного страхування Страхова діяльність Договір екологічного страхування Страховий ризик Страховий випадок Страхове відшкодування
3.	Про екологічне страхування (№ 1046-1) 03.12.2002	Руденко Геннадій Борисович	Закон встановлює єдині умови та порядок проведення екологічного страхування в Україні в обов'язковій формі та регулює відносини у сфері екологічного страхування і спрямований на відшкодування шкоди, заподіяної майновим інтересам юридичних та фізичних осіб, внаслідок аварійного забруднення навколишнього природного середовища	Екологічне страхування Аварійне забруднення навколишнього природного середовища Суб'єкти господарювання
4.	Про екологічне страхування (№ 6018) 09.09.2021	Д. Шмигаль Кабінет Міністрів України	Закон регулює відносини у сфері страхування цивільної відповідальності за шкоду, заподіяну державі, життю, здоров'ю та майну фізичних осіб, юридичних осіб та фізичних осіб – підприємців внаслідок порушення законодавства про охорону навколишнього природного середовища.	Бюро екологічного страхування Договір страхування цивільної відповідальності за шкоду, заподіяну в результаті порушення законодавства про охорону навколишнього природного середовища Екологічне страхування Єдиний державний реєстр договорів екологічного страхування

Продовження таблиці 1

5.	<p>(№ 6018-1) 29.09.2021</p> <p>Штепа Сергій Сергійович та ін</p>	<p>Закон регулює відносини у сфері страхування цивільної відповідальності за шкоду, заподіяну державі, життю, здоров'ю та майну фізичних осіб, юридичних осіб та фізичних осіб – підприємців, внаслідок порушення стану навколишнього природного середовища (екологічного благополуччя), включаючи шкоду, яку може бути заподіяно пожежами та аваріями на об'єктах підвищеної небезпеки, включаючи пожежовибухонебезпечні об'єкти та об'єкти, господарська діяльність на яких може призвести до аварій екологічного та санітарно-епідеміологічного характеру</p>	<p>аварія на об'єкті підвищеної небезпеки аварія санітарно-епідеміологічного характеру договір страхування цивільної відповідальності за шкоду, заподіяну в результаті порушення стану навколишнього природного середовища (екологічного благополуччя), включаючи шкоду, яку може бути заподіяно пожежами та аваріями на об'єктах підвищеної небезпеки, включаючи пожежовибухонебезпечні об'єкти та об'єкти, господарська діяльність на яких може призвести до аварій екологічного та санітарно-епідеміологічного характеру Добровільне екологічне страхування Єдиний державний реєстр договорів екологічного страхування обов'язкове екологічне страхування пожежовибухонебезпечний об'єкт порушення стану навколишнього природного середовища (екологічного благополуччя)*</p>
6.	<p>«Про екологічне страхування та гарантії відшкодування шкоди, завданої внаслідок діяльності, що становить підвищену екологічну небезпеку» (№ 6018-2 29.09.2021)</p>	<p>Криворучкіна О.В. та ін.</p>	<p>Бюро екологічних гарантій та страхування договір екологічного страхування екологічне страхування єдиний реєстр договорів фінансового забезпечення єдиний державний реєстр обліку пестицидів, агрохімікатів, інших небезпечних речовин та їх тари договір доручення з членами Бюро уповноважений страховик потерпіла особа гарантійний випадок гарантійна виплата незаконна діяльність**</p>

* У цьому Законі інші терміни вживаються у значенні, наведеному в Законах України «Про страхування», «Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності», «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про об'єкти підвищеної небезпеки».

** У цьому Законі інші терміни вживаються у значеннях, наведених в Цивільному кодексі України, Кодексі цивільного захисту України, Законах України «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про екологічний аудит», «Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності», «Про страхування», «Про фінансові послуги та державне регулювання ринків фінансових послуг», «Про пестициди та агрохімікати», «Про нафту і газ», «Про об'єкти підвищеної небезпеки», «Про перевезення небезпечних вантажів», «Про банки і банківську діяльність», Уніфікованих правилах для гарантій за вимогою, Постанові Правління НБУ «Про затвердження положення про порядок здійснення банками операцій за гарантіями в національній та іноземних валютах» та інших законах і підзаконних актах.

цей постулат, запозичений в практиці країн Європи та США, був ключовим в попередніх, не менш значимих, версіях цього Законопроекту (таблиця 1), які, на відміну від новостворених, базуються на класичних принципах правового забезпечення розвитку інституту екологічного страхування у світі.

До загальних зауважень щодо можна віднести таке:

1) не наведені чіткі ключові поняття екологічного страхування, перш за все це стосується таких дефініцій, як «школа», «страховий ризик», «страхові платежі тощо»;

2) не визначені в повному обсязі права та обов'язки страховиків та страхувальників;

3) відсутня мотивація щодо ранжування та поділу страхувальників за ступенем ризику з використанням інструментів екологічного аудиту.

4) відсутня стаття про міжнародний контент проблеми.

Таким чином, ні один з 3-х законопроектів не може бути визнаним в якості базового як завершений, оскільки потребує певних коригувань та доповнень. Однак, прийняття будь-якого зареєстрованого у Верховній Раді України законопроекту надасть можливість:

1) запровадити в Україні інститут обов'язкового страхування для підприємств з високим ступенем ризику;

2) надати компенсаційні виплати постраждалим особам внаслідок настання страхового випадку та визначення екологічної шкоди;

3) захистити інтереси держави у випадку, коли підприємство-забруднювач після прийняття судом рішення оголошує себе банкрутом для уникнення компенсації, не впливатиме на компенсацію збитків потерпілим особам або державі;

4) сприяти еко-модернізації підприємств за зеленим сценарієм. Розмір страхового платежу залежатиме від того, наскільки підприємство фактично відповідає вимогам природоохоронного законодавства. Від цього залежать і страхові внески за договором страхування. Тому кожен страхувальник буде зацікавлений зменшувати ризики від заподіяння шкоди довкіллю. Це стимулюватиме усіх дотримуватись норм законодавства та здійснювати превентивні заходи.

Безпосередньо зацікавленими у проведенні екологічного страхування повинні бути і новостворені територіальні громади, відповідальні за стан охорони навколишнього природного середовища на своїй території. Зараз прямої зацікавленості у них немає, оскільки не визначені критерії відповідальності цих органів державної влади за погіршення екологічної обстановки на відповідній адміністративній одиниці. Створення регіонального механізму санації територіальних об'єктів за допомогою розвитку системи екострахування є дієвим важелем акумулювання фінансових коштів для подальшого їх реінвестування в екологічні програми. Таким чином, існують реальні перспективи для налагодження ринку екологічного страхування не лише на національному, а й регіональному рівнях.

Висновки. Адаптація принципів та вимог ЄС, прийнятих в умовах сучасної України, має стати важливою складовою частиною програм гармонізації національного законодавства із законодавством ЄС. Суттєвим недоліком вже розроблених програмних документів є недооцінка важливості імплементації набутого досвіду та підхід до економічного реформування поза принципами концепції екологічно безпечного розвитку. Сьогодні законодавство України про екологічне страхування перебуває в стадії формування і складається, по-перше, з норм екологічного законодавства, які визначають цей вид страхування як елемент економіко-правового механізму природокористування і охорони довкілля, та, по-друге, з норм страхового законодавства, що застосовуються до страхування екологічних ризиків як до одного з напрямів підприємницької діяльності.

Процес запровадження екологічного страхування в нашій державі на основі імплементації зарубіжного досвіду та залучення вітчизняного фахового експертного потенціалу дасть змогу уникнути багатьох помилок. Однак разом із тим необхідно, насамперед, урахувати особливості вітчизняної системи права та законодавства.

Основа для регулювання відповідних відносин становлять конституційні норми, що встановлюють право на безпечне для життя і здоров'я довкілля та на відшкодування завданої порушенням цього права шкоди.

Література

1. Абалкіна І.Л. Страхування екологічних ризиків (з практики США). Москва : ИНФРА-М, 1998. 88 с.
2. Галушкіна Т.П. Економіка природокористування : навчальний посібник. Харків : Бурун Книга, 2009. 480 с.
3. Закон України «Про основи національної безпеки України» № 964-IV від 19 червня 2003 р. *Офіційний сайт Верховної Ради України*. URL : <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=964-15>.
4. Закон України «Про страхування». *Відомості Верховної Ради України*. 1996. № 18. Ст. 78 5. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища». *Відомості Верховної Ради України*. 1991. № 41. Ст. 546.
5. Клименко М.О. Метрологія, стандартизація і сертифікація в екології : підручник. Київ : ВЦ «Академія», 2006. 368 с.
6. Конституція України від 28 червня 1996 р. *Відомості Верховної Ради України*. 1996. № 30. Ст. 50.
7. Проект Закону України «Про екологічне страхування», Кінах А.К. 2002. № 1046. *Офіційний сайт Верховної Ради України*. URL : http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=12277.
8. Проект Закону України «Про екологічне страхування», Руденко Г.Б. 2002. №1 046-1 *Офіційний сайт Верховної Ради України*. URL : http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=13685.

9. Шмигаль Д. Проект Закону України «Про екологічне страхування». 2021. № 6018. *Офіційний сайт Верховної Ради України*. URL : http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=72713.
10. Штепа С.С. Проект Закону України «Про екологічне страхування». 2021. № 6018-1. *Офіційний сайт Верховної Ради України*. URL : http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=72892.
11. Криворучкіна О.В. Проект Закону України «Про екологічне страхування та гарантії відшкодування шкоди, завданої внаслідок діяльності, що становить підвищену екологічну небезпеку». 2021. № 6018-2. *Офіційний сайт Верховної Ради України*. URL : http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=72893.
12. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2021 р. № 1363 «Про схвалення стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року».
13. Степанов І.С. Екологічне страхування (правові проблеми та шляхи їх урегулювання). Одеса : ОНУ, 2003.
14. Указ Президента України від 04.02.2003 р. № 76/2003 «Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 11 листопада 2002 року «Про стан техногенної та природної безпеки в Україні».
15. Формування ринку екологічних послуг у форматі розвитку «зеленої економіки» за науковою редакцією Т.П. Галушкіної. Одеса : ІПРЕЕД НАН України, Саки, ПП Фенікс. 264 с.

ЕКОЛОГІЧНІ ВИКЛИКИ НА ШЛЯХУ РОЗВИТКУ ВОДНЕВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ

Закорчевна Н.Б.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ
dei2005@ukr.net

У 2021 році в Україні стартує розроблення Водневої стратегії. Водень – найперспективніший сталий енергоносіє для зеленої трансформації енергетики, який нині має вирішальне значення для перетворення Європи на клімат-нейтральний континент до 2050 року. Ключовою перевагою водню є те, що він може забезпечити інтеграцію всіх секторів: від балансування режимів енергосистеми до використання у металургійній та хімічній промисловості, транспорті та опаленні. Науковці інтенсивно працюють над здешевленням технологічних процесів великотоннажного виробництва водню за рахунок ефективного розкладання води, використовуючи високотемпературний електроліз водяної пари і застосовуючи каталізatori. Проте витрати значної кількості води та утилізація осадів, які утворюються під час виробництва водню, викликають багато запитань в екологів, особливо в умовах дефіциту водних ресурсів в Україні.

Зважаючи на обмеженість ресурсів для виробництва «зеленого водню», європейські країни, особливо Німеччина, розглядають Україну як пріоритетного партнера в частині імпорту водню. Така перевага буде використана для розвитку водневої економіки України. Наша країна має значний технічний потенціал для створення 500-700 ГВт потужностей на базі відновлювальної енергетики, який може забезпечити виробництво близько 500 млрд. куб. м (45 млн. тонн) водню. Однак нині не вивчено питання про кількість водних ресурсів для розвитку економіки України. Планування розвитку країни здійснюється без чіткого розуміння того, яким водним капіталом у кількісному та якісному вимірах володіє держава, які потреби у воді можна задовільнити, не завдавши шкоди водним екосистемам, не виснажуючи або забруднюючи наявні водні ресурси. Особливу увагу під час розроблення Водневої стратегії України потрібно зосередити на питаннях наявності та якості водних ресурсів для виробництва водню, визначити найефективніші для України способи виробництва водню і використання ресурсів, потрібних для виробництва, зокрема водних під час електролізу, а також масштабування невеликих проєктів до промислових обсягів. *Ключові слова:* водень, виробництво водню, воднева енергетика, відновлювальні джерела енергетики, водні ресурси.

Environmental challenges on the development of hydrogen energy in Ukraine. Zakorchevna N.

In 2021, the development of the Hydrogen Strategy will start in Ukraine. Hydrogen is the most promising sustainable energy source for green energy transformation and it is crucial today for transforming Europe into a climate-neutral continent by 2050. The key advantage of hydrogen is that it can ensure the integration of all sectors: from balancing power systems to use in the metallurgical and chemical industries, transport and heating etc. Scientists are working intensively to reduce the cost of technological processes of large-scale hydrogen production due to more efficient decomposition of water, using high-temperature electrolysis of water vapour, using catalysts and more. However, the consumption of significant amounts of water and the disposal of sludge generated during hydrogen production raise many questions from ecologists, especially in the question of water scarcity in Ukraine.

European countries, and especially Germany, consider Ukraine as a priority partner in terms of hydrogen imports given the limited resources for the production of "green hydrogen". This advantage will be used for the development of Ukraine's hydrogen economy. Ukraine has significant technical potential to create 500-700 GW of renewable energy capacity, which can produce about 500 billion cubic meters (45 million tons) of hydrogen. However, today, the issue of water resources for the development of Ukraine's economy has not been studied. The country's development planning is carried out without a clear understanding of what water capital of the our state has in quantitative and qualitative terms, and what water needs can be met without harming aquatic ecosystems, without depleting or polluting existing water resources. Particular attention during the development of the Hydrogen Strategy of Ukraine should focus on the availability and quality of water resources for hydrogen production, identify the most efficient for Ukraine methods of hydrogen production, use of resources needed for production, in particular water during electrolysis, and scaling small projects to industrial volumes. *Key words:* hydrogen, hydrogen production, hydrogen energy, renewable energy sources, water resources

Постановка проблеми. Нетрадиційні і відновлювальні джерела енергії останнім часом стали одним із важливих критеріїв сталого розвитку світової спільноти. Здійснюється пошук нових і вдосконалення наявних технологій із метою підвищення їх спроможності до економічно ефективного рівня і розширення сфер використання. Головні чинники такої уваги – очікуване зменшення запасів органічних видів палива і зростання їх ціни, недосконалість і низька ефективність технологій, шкідливі впливи на довкілля і можливі загрозливі наслідки, які викликають глибоке занепокоєння у світової спільноти.

Екологічна безпека змінилася із другорядної проблеми на актуальне питання геостратегії країн світу.

Нині науковці інтенсивно працюють над здешевленням технологічних процесів великотоннажного виробництва водню за рахунок ефективного розкладання води, використовуючи високотемпературний електроліз водяної пари і застосовуючи каталізatori. Проте витрати значної кількості води та утилізація осадів, які утворюються під час виробництва водню, викликають багато запитань в екологів, особливо в умовах дефіциту водних ресурсів в Україні.

Актуальність дослідження. Водень – найперспективніший сталий енергоносіє для зеленої трансформації енергетики. На думку науковців, розвиток водневої енергетики є оптимальним вирішенням питання про більш ефективне використання відновлювальних джерел енергії (ВДЕ).

Воднева енергетика – напрям вироблення енергії, який базується на використанні водню в якості засобу для накопичення, транспортування і споживання енергії населенням, транспортом і різними виробництвами. Водень – один із найпоширеніших елементів як на Землі, так і у космосі. Він має найбільшу енергоємність, а продуктом його згоряння є тільки вода, яка знову вводиться у кругообіг.

Згідно з прогнозами, до 2025 року світовий ринок виробництва водню досягне 201 млрд. дол. США порівняно з 130 млрд. дол. США у 2020 році із середньорічним темпом зростання 9,2% протягом прогнозованого періоду. У 2020 році обсяг світового ринку «зеленого» водню оцінювався у 0,3 млрд. дол. США і, за прогнозами, до 2028 року досягне 9,8 млрд. дол. США, а з 2021 по 2028 рік зростатиме із середньорічним темпом у 54,7%.

У 2021 році в Україні стартує розроблення Водневої стратегії. Водень нині має вирішальне значення для перетворення Європи на клімат-нейтральний континент до середини століття, тобто до 2050 року. Ключовою перевагою водню є те, що він може забезпечити інтеграцію всіх секторів: від балансування режимів енергосистеми до використання у металургійній та хімічній промисловості, транспорті та опаленні. Зважаючи на обмеженість ресурсів для виробництва «зеленого водню», європейські країни, особливо Німеччина, розглядають Україну як пріоритетного партнера у частині імпорту водню. Така перевага буде використана для розвитку водневої економіки України.

При міністерстві палива та енергетики створено робочу групу з підготовки проєкту Стратегії розвитку водневої енергетики в Україні на період до 2030 року. Позиція Міністерства енергетики України і Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України полягає у тому, що держава має посісти конкурентоспроможну позицію на майбутньому перспективному ринку водню. Отже, важливо детально вивчити можливості країни для максимізації масштабів виробництва водню, економічну рентабельність проєктів і найвигіднішу географію потенційного розміщення потужностей.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. У 2020 році в ЄС презентували водневу стратегію – довгостроковий план розвитку енергетичного сектору країн континенту із курсом на низьковуглецеву економіку. Це означає інвестиції у чисті джерела енергії, нову спроможність для експорту, наповнення бюджету, зменшення навантаження на природу, енергетичну і політичну незалежність. Оскільки йдеться про

«зелений» водень, то водневий потенціал України тісно пов'язаний із потужностями відновлювальних джерел енергії у країні. За інформацією ПрАТ «НЕК «Укренерго», встановлена потужність ВДЕ лише за рік зросла удвічі (з 2,9 ГВт у червні 2019 року до 5,8 ГВт у червні 2020 року), а наприкінці листопада 2020 року перевищила 6,3 ГВт.

За повідомленнями «Укренерго», енергетична система України може прийняти близько 3 ГВт енергії із відновлюваних джерел без негативних наслідків. Тому ще на початку року компанія неодноразово вдавалася до обмежень генерації ВДЕ. Водночас держава все одно зобов'язана платити виробникам за енергію з ВДЕ за «зеленим» тарифом, що створило дисбаланс між обсягом енергії ВДЕ та часткою грошей, які вона забирає з ринку. Усе це влітку 2020 року спричинило кризу неплатежів. Навіть після часткового врегулювання проблеми шляхом укладання меморандуму борги продовжують накопичуватися. 9 грудня 2020 року сума боргу становила майже 23 млрд. грн. У такій ситуації складно говорити про подальше збільшення частки ВДЕ, що є обов'язковою умовою для генерації «зеленого» водню.

Утім, якщо переорієнтувати потужності ВДЕ на генерацію водню, то це нівелює вплив нових потужностей на енергосистему України та за умови інвестиційної привабливості сектору дозволить збільшити обсяги чистої генерації у десятки разів. Наприклад, у деяких країнах ЄС створюють вітропарки та сонячні електростанції спеціально для генерації водню. В Україні поки що немає навіть у планах жодного об'єкта ВДЕ, який би генерував електроенергію спеціально для електролізних установок. На думку енергетиків, такі об'єкти можна будувати без шкоди для довкілля на узбережжі та в мілководному Азовському морі, на шельфі Чорного моря. Великий потенціал мають дахові сонячні електростанції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Термін «воднева енергетика» був запропонований Джоном Бокрісом під час лекції, яку він прочитав у 1970 році у Технічному центрі General Motors. У багатьох країнах світу дослідження з водневої енергетики є пріоритетними напрямками розвитку науки. Вони забезпечуються фінансовою підтримкою як держави, так і бізнесовими структурами. Основною метою розвитку водневих технологій є зменшення залежності від традиційних енергоносіїв: нафти, газу і вугілля. Перевагою використання відновлювальних джерел енергії є їхня невичерпність та екологічна безпечність, що сприяє поліпшенню екологічного стану навколишнього природного середовища і не призводить до зміни енергетичного балансу планети. Ключова умова переходу до водневої енергетики – пошук і створення надійних та економічно доцільних паливних елементів на основі водню.

Міністерством енергетики розроблено три важливих документи: проєкт Дорожньої карти з виробництва та використання водню в Україні; проєкт

Дорожньої карти використання водню в Україні в автомобільному транспорті; проєкт звіту про масштабну дію згідно з процедурою Стратегічної екологічної оцінки Дорожньої карти. На думку профільних спеціалістів Міненерго, вони стануть дієвим чинником для розробки Водневої стратегії України.

Розвиток водневих технологій в Україні передбачається у три етапи:

1) перший етап (2021-2023 роки) – оцінка української економіки щодо «зеленого переходу» і запуск водневої економіки;

2) другий етап (2024–2026 роки) – визначення пріоритетів у політиці, розвиток і демонстрація ринку водню та ланцюга поставок, зростання масштабів застосування водню;

3) третій етап (2027-2029 роки) – поєднання інтелектуального портфелю політик і стратегічних проєктів розвитку водню, регуляторної реформи і технологічного розвитку.

Нині в Україні вже здійснено окремі дослідження потенціалу розвитку водневої енергетики і використання водню на транспорті; здійснено екологічну оцінку – Звіт про обсяг CEO для проєкту «Дорожньої карти виробництва та використання водню в Україні» [1]. Цього року буде започатковано науково-технічне дослідження, необхідне, зокрема, для розроблення Водневої стратегії України.

У 2019 році науковці Інституту відновлюваної енергетики НАНУ спільно з Українською водневою радою та Українським інститутом майбутнього презентували «Атлас енергетичного потенціалу відновлювальних джерел енергії України 2019 року». У цьому дослідженні автори вперше розрахували можливі обсяги виробництва «зеленого» водню в Україні [2]. За їхніми оцінками, Україна має значний технічний потенціал для створення 500-700 ГВт потужностей на базі відновлювальної енергетики, що може забезпечити виробництво близько 500 млрд. куб. м (45 млн. тонн) водню.

Експерт Міжнародного агентства з відновлювальних джерел енергії (IRENA) Херіб Бланко [3] провів дослідження і з'ясував, скільки води необхідно для всіх електролітичних установок до 2050 року та якими будуть енергетичні витрати.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Одна із ключових проблем на шляху розвитку водневої енергетики – зменшення доступної чистої води. Отже, чи не перекреслять витрати на водоочищення всі переваги водню як енергоносія? Тому особливу увагу під час розроблення Водневої стратегії України потрібно зосередити на питаннях наявності та якості водних ресурсів для виробництва водню, визначити найефективніші для України способи виробництва водню і використання ресурсів, необхідних для виробництва, зокрема водних, під час електролізу, а також масштабування невеликих проєктів до промислових обсягів.

Новизна. Новизна запропонованого дослідження ґрунтується на фокусуванні проблеми наявності водних ресурсів, їхньої якості та доступності для виробництва водню в Україні, визначенні можливих впливів на водні екосистеми.

Виклад основного матеріалу. У земній корі міститься близько одного відсотка від загальної маси водню. Відносний вміст водню в атмосфері збільшується з висотою. Вільний водень міститься у горючих газах, які виділяються із землі. Також він виникає під час гниття і бродіння органічних речовин. Основна маса водню знаходиться у зв'язаному стані у вигляді різноманітних сполук. Найпоширенішою з них є вода, у складі якої міститься 11,19 відсотків водню. Відома значна кількість сполук водню із вуглецем (вуглеводні). Він входить до складу нафти, кам'яного вугілля, деяких мінералів. Нині водень отримують головним чином (90 відсотків) із викопних джерел.

Прийнято поділяти водень на «сірий» – із вугілля, нафти і газу; на «блакитний» – ПГУ ТЕС або АЕС за технологією CCS і на «зелений» – із води (ВДЕ). Відповідно до недавніх досліджень Wood Mackenzie нині 99 відсотків водню є «сірим» і «блакитним», що створює величезний вуглецевий слід, і тільки один відсоток водню вважається «зеленим».

Сучасні методи виробництва водню є такі:

1) паровий риформінг – це каталітична конверсія вуглеводнів (метану, пропан-бутану, бензину, гасу, дизпалива, вугілля) із присутністю водяної пари. Перевага: найдешевший спосіб виробництва водню, тому найпоширеніший. Недолік – висока емісія CO₂. Застосування технологій уловлювання і захоронення вуглекислого газу (CCS) розв'язує проблему емісії, але істотно підвищує вартість водню;

2) електроліз – процес розкладання води під дією постійного електричного струму на кисень і водень. Хімічна реакція триває за схемою: 2H₂O + енергія → 2H₂ + O₂.

Переваги:

а) доступна сировина – демінералізована вода та електроенергія;

б) під час виробництва відсутні забруднюючі викиди;

в) процес автоматизований;

г) на виході – досить чистий (99,99%) продукт.

Недоліки:

а) отримання водню дорожче в 1,5-3 рази, ніж під час риформінгу. Використовується у невеликих обсягах і вважається потенційною технологією майбутнього.

Електролізери, що використовуються для виробництва «зеленого» водню, можуть працювати динамічно – досить кількох секунд для виходу на максимальну потужність. Отже, вони легко поєднуються із відновлювальними джерелами, які працюють нестабільно. Крім того, водень може зберігатися протягом тривалого часу у великих резервуарах

Техніко-економічні показники різних процесів виробництва водню
(за даними Інституту відновлюваної енергетики НАН України)

Процес	Джерело енергії	Сировина	Капітальна вартість, млн. дол. США	Вартість водню, дол. США/кг
SMR з CCS	Викопне паливо	Природний газ	226.4	2.27
SMR без CCS	Викопне паливо	Природний газ	180.7	2.08
GC з CCS	Викопне паливо	Вугілля	545.6	1.63
GC без CCS	Викопне паливо	Вугілля	435.9	1.34
ATR метану з CCS	Викопне паливо	Природний газ	183.8 ^(a)	1.48
Метановий піроліз	Внутрішній згенерований пар	Природний газ	–	1.59–1.70
Піроліз біомаси	Внутрішній згенерований пар	Деревна біомаса	53.4–3.1 ^(b)	1.25–2.20
Газифікація біомаси	Внутрішній згенерований пар	Деревна біомаса	149.3–6.4 ^(c)	1.77–2.05
Прямий біофотоліз	Сонячна	Вода + водорості	50 \$/m ²	2.13
Непрямий біофотоліз	Сонячна	Вода + водорості	135 \$/m ²	1.42
Темне бродиння	–	Органічна біомаса	–	2.57
Фото-бродиння	Сонячна	Органічна біомаса	–	2.83
Сонячний електроліз	PV Сонячна	Вода	12.0–54.5	5.78–23.27
Сонячний тепловий електроліз	Сонячна	Вода	421.0–22.1 ^(d)	5.10–10.49
Вітровий електроліз	Вітер	Вода	504.8–499.6 ^(e)	5.89–6.03
Ядерний електроліз	Ядерна	Вода	–	4.15–7.00
Ядерний термоліз	Ядерна	Вода	39.6–2107.6 ^(ж)	2.17–2.63
Сонячний термоліз	Сонячна	Вода	5.7–16.0 ^(з)	7.98–8.40
Фотоелектроліз	Сонячна	Вода	–	10.36

для реалізації у промислових цілях, інтегруватися в газову мережу або застосовуватися для живлення паливних елементів.

Відновлювальна енергетика використовує екологічно чисте, невичерпне джерело енергії, яке не змінює функціональну структуру Землі, дозволяє пом'якшити навантаження на ресурсну базу і зменшити загальні ресурсні затрати, отже, сприяє подоланню бідності і відповідального споживання. Водень можна вважати паливом майбутнього. У багатьох країнах світу дослідження з водневої енергетики є пріоритетними напрямками розвитку науки. Вони забезпечуються фінансовою підтримкою як держави, так і бізнесових структур. Основною метою розвитку водневих технологій є зменшення залежності від традиційних енергоносіїв – нафти, газу і вугілля. Ключовою умовою переходу до водневої енергетики є пошук і створення надійних та економічно доцільних паливних елементів на основі водню.

Водень може бути використаний як паливо для будь-яких транспортних засобів (зокрема легкових автомобілів і катерів), а також для задоволення енергетичних потреб будівель (прилади для безперервного живлення) і в якості живлення побутової техніки.

Україна має декілька переваг із водневої енергетики. Це передусім розвинена генерація із відновлювальних джерел енергії як база для виробництва «зеленого» водню, а також атомні електростанції для виробництва «блакитного» водню. Нові технології, до яких відноситься «зелений» водень, використання або збільшення потужностей ГАЕС дозволяють поєднати впровадження менш стабільних ВДЕ (СЕС, ВЕС) із технологіями зберігання. Окрім того, до переваг можна віднести розвинену газотранспортну систему, яка може використовуватися для транспортування водню як в Україні, так і на експорт.

Однак існує інша проблема – чи вистачить на Землі чистої води для масштабного розгортання водневої енергетики і чи не перекреслять матеріальні витрати на водоочищення всі переваги водню як енергоносія?

Як зазначає Херіб Бланко [3], електроліз вимагає мінімум 9 кг води на кілограм водню, або якщо брати до уваги процес демінералізації (для електролізу потрібна лише демінералізована вода), від 18 до 24 кг води на 1 кг готового палива. За іншого популярного способу виробництва водню, так званого парового риформінгу метану (SRM), води витрачається менше – 4,5 кг, однак SRM-установки вимог-

ливі до охолодження, на що також потрібна вода (додатково від 6,4 до 32,2 кг на 1 кг водню).

Ще один компонент, який потрібно врахувати, – споживання води під час виробництва відновлювальної енергії або природного газу, необхідних для вироблення водню. Водоспоживання для фотоелектричних панелей може варіюватися між 50 і 400 літрами на 1 МВт за годину (2,4-19 кг води на 1 кг водню). Для вітрових установок показники є меншими – від 5 до 45 літрів на 1 МВт за годину (0,2-2,1 кг води на 1 кг водню). Водна ємність виробництва природного газу становить 1,14 кг. Загальне споживання води для виробництва водню за допомогою сонячних панелей і вітрових установок у середньому може становити відповідно 32 кг і 22 кг води на кілограм водню.

Якщо взяти за точку відліку споживання води на душу населення і прийняти за середнє значення 400 куб. м води на людину за рік, то для виробництва водню до 2050 року буде необхідно стільки ж води, скільки потрібно населенню середньої європейської країни із 62 мільйонами жителів [4].

Згідно з даними доповіді «Перспективи світового енергетичного переходу» (World Energy Transitions Outlook), підготовленої експертами IRENA, попит на водень до 2050 року становитиме близько 74 Ексаджоулей (10^{15} Дж), дві третини з яких припадуть на водень, вироблений за допомогою ВДЕ. Нині ця цифра не перевищує 8,4 Ексаджоулей [5].

Якщо всі потреби у водні до 2050 року будуть задоволені за допомогою електролізу, кількість споживання води становитиме близько 25 млрд. куб. м. Для порівняння: в агросекторі поточне водоспоживання становить 2 800 млрд. куб. м, у промисловості – 800 млрд.; у міському господарстві – 470 млрд. куб. м. Поточний обсяг виробництва водню методом риформінгу природного газу та газифікації вугілля вимагає 1,5 млрд. куб. м води.

Апарати для електролізу потребують спеціально підготовленої води високої якості, в іншому випадку вони швидко вийдуть із ладу. Багато елементів електролітичної установки, зокрема мембрана, діафрагма і каталізатори для лугу, чутливі до негативного впливу домішок – заліза, хрому, міді та інших, які містяться у воді.

На підготовку води припадає порівняно невелика частка витрат енергії і вартості. Найдорожча та енергоємна процедура – опріснення. Найпоширеніша технологія – зворотний осмос, на який припадає 70% усіх опріснювальних установок у світі. Вартість опріснювальної установки потужністю 1 куб. м на добу становить близько 2 тис. дол. США, водночас вартість підготовки води методом зворотного осмосу становить приблизно 1 дол. США на куб. м і менше залежно від ціни на електрику в тому чи іншому регіоні. Транспортування може додати до цієї суми ще 1-2 дол. США на куб. м води. Навіть за таких умов частка на підготовку води у вартості виробництва

водню не перевищить 0,05 дол. США на 1 кг водню. Для порівняння: вартість поновлюваного водню нині може становити 2-3 дол. США на 1 кг за використання ВДЕ і 4-5 дол. США – традиційних енергосурсів. Отже, для підготовки води використовується менше двох відсотків загальної вартості електролізу. Використання морської води для таких потреб збільшує частку вартості водопідготовки у 2,5-5,0 разів.

Кількість енергії, необхідної для електролізу, також порівняно невелика у загальному обсязі енергії, яку споживає електролітична установка. Сучасні установки зворотного осмосу потребують близько 3 кВт*год. на 1 куб. м. Дистиляційні установки витрачають більше – від 40 до 80 кВт*год. на 1 куб. м. Навіть за найконсервативнішого (енергоємного) сценарію із використанням дистиляторів кількість енергії, потрібної для підготовки води, становитиме близько 0,7 кВт*год. на 1 кг водню. У відносних кількостях частка водопідготовки у загальних енерговитратах під час електролізу не перевищить один відсоток.

Певну проблему представляє утилізація розсолів, які залишаються після опріснення морської води. Безумовно, для мінімізації можливих впливів на екосистеми їх необхідно додатково переробляти, що може підвищити вартість опріснення води ще на 0,6-2,4 дол. США на 1 куб. м. Окрім того, більш суворі вимоги до якості води для електролізу порівняно із питною водою можуть призвести до подорожчання очищення, проте її частка все одно буде порівняно невеликою.

Щорічні середні потенційні ресурси річкового стоку України оцінюються у 209,8 куб. км, з яких місцевий стік на території України становить 52,4 куб. км. Завдяки нерівномірному розподілу водних ресурсів територією країни значна частина України відноситься до регіонів (переважно південні і східні) з низьким рівнем водозабезпеченості. Для поліпшення розподілу поверхневих прісноводних ресурсів територією країни споруджено 1103 водосховища (їхній загальний об'єм становить 53,5 куб. км), створено 49500 ставків, 7 великих каналів і споруджено 17 зрошувальних систем.

В Україні виділено 3 артезіанські басейни підземних вод і 4 гідрогеологічні провінції складчастих областей. Розрахункові запаси прісних підземних вод дорівнюють 27,4 куб. км, із яких 8,9 куб. км не пов'язані із поверхневим стоком.

Дефіцит прісної води належної якості спостерігається у 13 областях України. Зазначена ситуація загострюється наслідками зміни клімату, який суттєво впливає на сезонний розподіл водних ресурсів і призводить до затяжних посушливих періодів. За даними експертів Інституту місцевого розвитку, нині лише 30,1% сільського населення, 89,9% населення селищ міського типу і 99,2% міського населення мають доступ до централізованого водопостачання. Решта сільського населення використовує воду із вуличних водозабірних колонок (близько

20 відсотків) та користується водою із колодязів та інших джерел (більше 60 відсотків). Нині привізною водою забезпечуються 824 населені пункти у 9 областях, в яких мешкає майже 267 тис. населення [6]. Ці цифри свідчать, що без належного структурного переоснащення систем водопостачання, зменшення споживання води населенням і галузями економіки дефіцит водних ресурсів і їхня якість не зміняться, а можуть істотно загостритися.

Україна поставила собі амбітну ціль – відновити зрошення сільськогосподарських угідь, про що йдеться у розпорядженні Кабінету Міністрів України № 688-р від 14 серпня 2019 року «Про схвалення стратегії зрошення і дренажу в Україні на період до 2030 року». У ній зазначається, що у сучасних умовах відновлення зрошення і дренажу є ключовим інструментом розвитку аграрного сектору економіки та нарощування експортного потенціалу України, мінімізації впливу клімату на процеси соціально-економічного розвитку регіонів. Справді, за оцінками Продовольчої і сільськогосподарської організації ООН агресурсний потенціал України дає змогу виробляти сільськогосподарську продукцію в обсягах, які забезпечать продуктами харчування не менш як 450-500 млн. осіб. Застосування зрошення і дренажу дозволить незалежно від погодних умов підвищити врожайність сільськогосподарських культур у два-три рази порівняно із богарними умовами.

У 2017 році в Україні фактично зрошувалося менше 500 тис. гектарів, двобічне водорегулювання здійснювалося на площі понад 250 тис. гектарів, що становить менше 20 відсотків наявних площ зрошення та 10 відсотків наявних площ дренажу. Наявні водогосподарська і меліоративна інфраструктури (забезпеченість водними ресурсами, пропускна здатність магістральних та розподільних каналів, кількість і продуктивність різних за призначенням насосних станцій тощо) є достатніми для забору та подачі води для поливу не менш як 1,5-1,8 млн. гектарів, відведення надлишкових вод у весняний період із території площею понад 3 млн. гектарів і водорегулювання на площі понад 1 млн. гектарів. Виникає питання: скільки наявних водних ресурсів, доступних для використання, не потребують складних технологічних і фінансових витрат для підготовки і постачання їх споживачу, зокрема на зрошення, без завдання шкоди довкіллю? Такі цифри на офіційному рівні є відсутніми, і ми оперуємо лише наявним місцевим річковим стоком, не маючи достовірних даних за кожним окремим джерелом водопостачання.

У «Звіті про обсяг СЕО для проєкту «Дорожньої карти виробництва та використання водню в Україні» висновок щодо впливу на водні ресурси зроблено такий: «Швидше за все стабілізація водокористування та відповідна стабілізація скидів стічних вод триватиме і надалі. Беручи до уваги дефіцит водних ресурсів, можна припустити, що споживання води буде зменшено. Це важливо для

південних регіонів України, де проблема дефіциту водних ресурсів є найбільш гострою і де розвиватиметься виробництво зеленого водню за допомогою електролізу». Хоча у рекомендаціях до цього звіту є пропозиція про те, що у проєкті Дорожньої карти все ж таки має бути врахований вплив життєвого циклу виробництва водню (наприклад, утилізація матеріалів) на довкілля, включаючи водопостачання і землекористування.

Інтегрований підхід до управління водними ресурсами, визначений на законодавчому рівні як базовий у водній політиці, так і не став дороговказом під час розробки галузевих стратегій і програм.

Наразі експерти пропонують декілька потенційних місць розташування виробництв водню в Україні. Проте майже усі варіанти мають ознаки нездійснених навіть без відповідних розрахунків. Це ставки-охолоджувачі АЕС, зокрема і в Чорнобильській зоні, гирла річок (Дунай, Дніпро), шахтні води Донбасу і Криворізького залізничного басейну. Енергетики працюють над пошуком найефективнішої технології електролізу з метою зменшення споживання води за отримання більшої кількості водню.

Вітровий проєкт із виробництва «зеленого» водню в Україні, потужності якого побудують на півночі Рівненської області, анонсували у квітні 2021 року. Під час конференції «Перехід від «зеленого» тарифу до ринкових умов» проєкт представила компанія MCL, яка розробляє об'єкти генерації електричної енергії з ВДЕ. Майбутній вітропарк «Володимирець» складатиметься з 12 інноваційних вітротурбін по 6 МВт кожна, із загальною потужністю 72 МВт. Генератори розташовуватимуться біля села Довговоля Вараського району Рівненської області. Спеціалісти MCL інформують, що прогнозоване виробництво електроенергії складатиме біля 230 ГВт-год. на рік.

За допомогою електричної енергії, яку вироблятимуть вітрогенератори, воду у промислових електролізерах розподілятимуть на кисень і водень. Далі отриманий «зелений» водень планують зріджувати і транспортувати споживачеві.

Наразі менеджери проєкту проводять техніко-економічні розрахунки дільниці з виробництва «зеленого» водню, а саме обирають тип і потужність основного (електролізера) та інфраструктурного технологічного обладнання (зокрема системи накопичення і зберігання електроенергії), триває вибір земельної ділянки з урахуванням оптимальної логістики. Оскільки процес електролізу потребує значних обсягів води, наразі у двох потенційних локаціях, де планується розміщення майбутнього заводу, проводять гідрогеологічні дослідження запасів підземних вод.

Представлений проєкт викликає низку питань. По-перше, необхідно нагадати, що підземні води – стратегічний запас питної води України. По-друге, північ України вже потерпає від дефіциту водних

ресурсів унаслідок проведеної за радянських часів масштабної осушувальної меліорації на Поліссі, неконтрольованої вирубки лісу, зміни рельєфу внаслідок варварського видобутку бурштину. Ці процеси, а також зміна клімату спричиняють зниження рівня підземних вод, порушення їх гідравлічного зв'язку із поверхневими водоймами, про що свідчать зникаючі на наших очах озера Полісся. Тому, на нашу думку, для виробництва водню потрібно використовувати не чисті підземні води, а забруднені внаслідок економічної діяльності, наприклад, високомінералізовані та не придатні для використання без належного і вартісного очищення. На жаль, наведений приклад свідчить, що виробники, орієнтуючись на видобуток «зеленого водню» з використанням вітрової енергії, не мають стратегічного мислення і підходів до такого життєво важливого ресурсу, як водний [7].

Головні висновки. На наш погляд, нині питання кількості водних ресурсів для розвитку економіки України не вивчено. Планування розвитку країни здійснюється без чіткого розуміння, яким водним капіталом у кількісному та якісному вимірах володіє держава, які потреби у воді можна задовільнити, не завдавши шкоди водним екосистемам, не виснажуючи або забруднюючи наявні водні ресурси. Ще не

зникла ілюзія, що водних ресурсів у країні вистачить на всі потреби. І хоча фахівці давно вже говорять про те, що Україна не досить забезпечена водними ресурсами, до цього часу немає адекватної оцінки цієї ситуації і стратегічного бачення шляхів збереження і примноження водного багатства країни.

Серед основних економічних принципів управління водними ресурсами, які впроваджують країни ЄС і світу, відомі такі: забруднювач платить за забруднення, споживач платить за спожиту воду, вода платить за воду, а ціна за воду формується на основі собівартості. Які з таких принципів, а також економічні інструменти ефективно працюють в Україні? Здається, що вода у системі економічних цінностей поки що не знайшла своє відповідне місце і не «дотягує» до вартості енергоносіїв.

Будь-які амбітні плани розвитку галузей економіки мають враховувати наявні природні ресурси і вплив на них новітніх технологічних рішень, а саме розвиток виробництва водню. Якщо Україна таки обрала шлях розбудови і впровадження новітніх технологій в енергетиці, то потрібно невідкладно визначитися із можливостями водних екосистем і ретельно обрахувати наявні водні ресурси для всіх напрямків економічного розвитку.

Література

1. Звіт про обсяг CEO для проекту «Дорожньої карти виробництва та використання водню в Україні» URL: https://unece.org/sites/default/files/2021-06/SEA%20scoping%20report_final%20version_UKR_rev_clean.pdf.
2. Атлас енергетичного потенціалу ВДЕ України. Український інститут майбутнього. URL: <https://drive.google.com/file/d/1Ay1otLjiiQelPKxSqfir2rYwGIKxSg/view>.
3. Hydrogen production in 2050: how much water will 74EJ need? *ENERGYPOST.EU* URL: <https://energypost.eu/hydrogen-production-in-2050-how-much-water-will-74ej-need>.
4. Water withdrawals per capita worldwide as of 2019, by select country (in cubic meters per inhabitant) *ENERGYPOST.EU* URL: <https://www.statista.com/statistics/263156/water-consumption-in-selected-countries>.
5. World Energy Transitions Outlook: 1.5°C Pathway *IRENA.ORG* URL: <https://www.irena.org/publications/2021/jun/world-energy-transitions-outlook>.
6. Стратегія розвитку водної політики України – Водна Стратегія *Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України* URL: https://mepr.gov.ua/files/KMU_Water%20Strategy_new.pdf.
7. Українські розробники вже готові пропонувати водневі проекти інвесторам. *UA-ENERGY.ORG* URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/ukrainski-rozrobnyky-vzhe-hotovi-proponuvaty-vodnevi-proekty-investoram>.

ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ ПІДТОПЛЕННЯ ТЕРИТОРІЙ, ПРИЛЕГЛИХ ДО ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД ВОДОГОСПОДАРСЬКОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ У СІЛЬСЬКІЙ МІСЦЕВОСТІ

Максимова Н.М.¹, Чушкіна І.В.², Орлінська О.В.²

¹Технічний університет «Метінвест Політехніка»

вул. Сеченова, 71А, 87524, м. Маріуполь, Донецька область

²Дніпровський державний аграрно-економічний університет

вул. Сергія Єфремова, 25, 49000, м. Дніпро

natalya.maksimova@mipolytech.education, zalomiy80@gmail.com, nippel@rambler.ru

У статті відмічено таку екологічну проблему, як активізація екзогенних геологічних процесів, зокрема підтоплення, на території України. У сільській місцевості в якості техногенного чинника підвищення рівня ґрунтових вод на значних територіях виступають гідротехнічні споруди водогосподарського комплексу, які переважно характеризуються незадовільним технічним станом унаслідок тривалої експлуатації та відсутності капітальних ремонтних і ремонтно-відновлювальних робіт. Тривала експлуатація каналів і регулюючих басейнів зрошувальних систем і відсутність належного догляду призвели до погіршення показників їх технічного стану, що насамперед проявляється у значних втратах води на фільтрацію. На сучасному рівні експлуатації ці втрати можуть перевищувати 35% і більше, а світовий і вітчизняний досвід свідчать, що фільтраційний потік впливає на міцність і стійкість ґрунтів таких споруд і призводить до аварій у понад 30% випадків. За результатами аналітичних досліджень визначено малий ризик розвитку процесів підтоплення територій, прилеглих до регулюючого басейну РБ-1 Калинівської зрошувальної системи поблизу с. Суха Калина (0,0584) і поблизу магістрального каналу МК-1 Солоняно-Томаківської зрошувальної системи на ділянці біля с. Григорівка (0,065). Виконані розрахунки свідчать про подальші можливості удосконалення і впровадження методичних рекомендацій із районування ризиків підтоплення міст і селищ. Упровадження районування ризиків підтоплення територій на віддалені від населених пунктів із урахуванням галузевого призначення та класу надійності (відповідності) споруд дозволить картографувати території, що є запорукою короткострокового та оперативного прогнозування динаміки рівня ґрунтових вод. Картографування територій різного цільового призначення за ризиком розвитку процесів підтоплення вирішить низку нагальних проблем: надійну експлуатацію гідротехнічних споруд, вибір ділянок для ведення планованої господарської діяльності та забудови, проведення меліоративних заходів, наприклад, попередження вторинного засолення родючих земель. *Ключові слова:* ризики, підтоплення, гідротехнічні споруди, клас наслідків (відповідальність), техногенні чинники, екзогенні геологічні процеси, коефіцієнт небезпеки підтоплення, коефіцієнт уразливості території підтоплення.

Assessment of ecological risk of the flooding of territories adjacent to hydrotechnical structures, water management in rural of territories adjacent to hydrotechnical. Maksimova N., Chushkina I., Orlynskaya O.

There is such an environmental problem as the intensification of exogenous geological processes, including flooding, in Ukraine. In rural areas as a man-made factor in raising groundwater levels in large areas are hydraulic structures of the water complex, which are mostly characterized by unsatisfactory technical condition due to prolonged operation and lack of major repairs, repair and restoration works. Prolonged operation of canals and control basins of irrigation systems and lack of proper care have led to a deterioration of their technical condition, which is primarily manifested in significant losses of water for filtration. At the current level of operation, these losses can exceed 35% or more, and world and domestic experience shows that the filtration flow affects the strength and stability of the soils of such structures and leads to accidents in more than 30% of cases. According to the results of analytical studies, a small risk of flooding of the areas adjacent to the regulatory basin RB-1 of the Kalinovka irrigation system near the village of Sukha Kalyna – 0,0584 and near the main canal MK-1 of Solonyano-Tomakivka irrigation system near the village of Hryhorivka – 0,065. The performed calculations testify to further possibilities of improvement and implementation of methodical recommendations on zoning of risks of flooding of cities and settlements. The introduction of zoning risks of flooding areas remote from settlements, taking into account the sectoral purpose and reliability class (responsibility) of structures will allow mapping areas, which is the key to short-term and rapid forecasting of groundwater level dynamics. Mapping areas for different purposes at the risk of flooding will solve a number of urgent problems: reliable operation of hydraulic structures, selection of sites for planned economic activities and development, reclamation measures, such as prevention of secondary salinization of fertile lands. *Key words:* risks, flooding, hydraulic structures, class of consequences (responsibility), technogenic factors, exogenous geological processes, coefficient of danger of flooding, coefficient of vulnerability of the territory of flooding.

Постановка проблеми. Постійне зростання техногенного навантаження зазвичай призводить до активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів (ЕГП). На території України підтопленими вважаються близько 70 тис. км², або 12% території держави. За даними [1], площа підтоплених земель сільськогосподарського призначення становить близько 118 тис. га. Окрім того, прояви

природного і техногенного підтоплення відмічаються в Екологічному паспорті Дніпропетровської області [2]. Слід відзначити, що підтоплення техногенного походження суттєво відрізняється від природного відсутністю циклічності, носить постійний характер, але водночас різну інтенсивність, тому не завжди може здійснюватися короткострокове та оперативне прогнозування. Одним із чинників погіршення ситуації у сільській місцевості є незадовільний технічний стан гідротехнічних споруд (ГТС) водогосподарської інфраструктури, зумовлений їхнім фізичним старінням і тривалою відсутністю капітальних ремонтних і ремонтно-відновлювальних робіт.

Актуальність дослідження. У діючій Державній програмі запобігання і боротьби із підтопленням земель передбачені [2] такі заходи: організація систематичного вивчення, проведення моніторингу і прогнозування підтоплення, інвентаризації, паспортизації та оцінки стану потенційно небезпечних територій та інші заходи протягом 2005-2009 рр.; розроблення проєктно-технічної документації, спрямованої на інженерний захист земель і територій населених пунктів від підтоплення, на реконструкцію і технічне переоснащення меліоративних систем; проведення ремонтно-експлуатаційних робіт на міжгосподарській та внутрішньогосподарській меліоративній мережі; впровадження нормованого водокористування; розроблення еколого-економічного обґрунтування функціонування основних водогосподарських меліоративних комплексів упродовж 2005-2030 рр. тощо. Незважаючи на поступове виконання запланованих природоохоронних заходів, підтопленнями вважаються значні території, зокрема на Дніпропетровщині впродовж 2016-2020 рр. – на площі 7,26 тис. км², або на 22,74% від площі регіону [2]. Це зумовлює науково-практичну значущість розроблення методів прогнозування ризику розвитку підтоплення, інтенсифікація якого частково або повністю обумовлена техногенними чинниками.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Виконано аналітичні дослідження екологічної безпеки земель поблизу гідротехнічних споруд, які ґрунтуються на проведенні аналогії до рекомендацій, призначених для оцінки ризику розвитку підтоплення територій населених пунктів і прилеглих сільськогосподарських угідь.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Про необхідність оцінки впливу водогосподарської інфраструктури на довкілля зазначається і у національних стандартах. Розділ «Оцінка впливу на навколишнє середовище (ОВНС)» є обов'язковим у проєктній документації на нове будівництво, розширення, реконструкцію і технічне переоснащення об'єктів промислового і цивільного призначення згідно з положеннями діючого ДБН А.2.2-3-2014 «Склад і зміст

проєктної документації на будівництво» (додатки В, Г та Д). Згідно із ДБН А.2.2-1-2003 «Склад і зміст матеріалів оцінки впливу на навколишнє середовище (ОВНС) під час проєктування і будівництва підприємств, будівель і споруд» у разі оцінки впливів планованої діяльності на геологічне середовище передбачається «... аналіз наявних і прогнозованих негативних ендегенних та екзогенних процесів і явищ природного і техногенного походження...» (див. підпункт 2.17), а також «обґрунтовуються заходи щодо запобігання або зменшення розвитку небезпечних геологічних процесів і явищ» (див. підпункт 1.14). Відповідно до Закону України «Про оцінку впливу на довкілля» до другої категорії видів планованої діяльності та об'єктів, які можуть мати значний вплив на довкілля і підлягають оцінці впливу на довкілля, відносяться «сільськогосподарське освоєння та меліорація земель на територіях площею 20 га і більше або будівництво меліоративних систем та окремих об'єктів інженерної інфраструктури».

Екологічна небезпека розвитку процесів підтоплення відзначається багатьма дослідниками, зокрема [3-8], однак єдиної узагальненої методики оцінки ризику розвитку підтоплення територій різного цільового призначення нині немає, що насамперед зумовлено багатофакторним впливом на перебіг екзогенного геологічного процесу.

Відзначимо, що в роботах Д.В. Чуносова та інших дослідників [9-10] розглянуто алгоритм оцінки ризику розвитку підтоплення на територіях різного цільового призначення, подібний до методичних рекомендацій із районування ризиків підтоплення міст і селищ, прийнятих в Україні [11].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Раніше не розглядався ризик розвитку процесів підтоплення територій, прилеглих до регулюючого басейну РБ-1 Калинівської зрошувальної системи (КЗС) біля с. Суха Калина і магістрального каналу МК-4 Солоняно-Томаківської зрошувальної системи (СТЗС) на ділянці поблизу с. Григорівка, за методичними рекомендаціями, затвердженими Міністерством із питань житлово-комунального господарства України у 2010 році [11], що насамперед зумовлено їх віддаленістю від населених пунктів. Це є характерною рисою більшості гідротехнічних споруд меліоративного призначення. По-друге, не досить уваги приділено оцінці стійкості ГТС класу наслідків СС-1 у ДБН В.2.4-3:2010 «Гідротехнічні, енергетичні та меліоративні системи і споруди, підземні гірничі виробки. Гідротехнічні споруди. Основні положення».

Новизна. Уперше виконано районування територій, прилеглих до регулюючого басейну РБ-1 КЗС біля с. Суха Калина і магістрального каналу МК-4 СТЗС на ділянці поблизу с. Григорівка, за ризиками розвитку підтоплення відповідно до алгоритму, представленого у [11].

Викладення основного матеріалу. Оцінка ризику підтоплення вимагає послідовного розгляду формування небезпеки та уразливості об'єкта, тобто здатності протистояти процесу, який наносить йому певної шкоди. У методичних рекомендаціях [11] в якості показників небезпеки підтоплення території обираються такі: 1) рівень ґрунтових вод (РГВ); 2) зміна якості ґрунтових вод, яка призводить до забруднення підземних вод, зміни їх агресивності до залізобетонних і металевих конструкцій, засолення ґрунтів зони аерації; 3) зміна фізико-механічних властивостей ґрунтів, що приводить до додаткових осадок або просадок, зниження несучої здатності ґрунтів. Ступінь небезпеки за умовно прийнятою градацією від «відсутній» до «великий» за кожним із трьох вищезазначених показників обирається окремо. На підставі отриманих показників визначається кількісна характеристика небезпеки підтоплення у вигляді частки (вірогідності) від найбільш несприятливих умов, тобто обирається коефіцієнт небезпеки λ_0 . Інтегральна небезпека підтоплення забудованих територій може бути різною залежно від показників і ступеню їх прояву.

Слід відзначити, що у рекомендаціях [9-10] пропонується виконувати перевірку – уточнення інтегральної небезпеки підтоплення забудованих територій за такими показниками небезпеки: глибина залягання ґрунтових вод, за якої показник підтоплення не діє; підвищення сейсмічності; інтенсифікація інших небезпечних геологічних процесів (зсуви, карст, суфозія тощо). Наявність зазначених показників різко збільшує небезпеку розвитку процесів підтоплення, що може враховуватися введенням поправки до коефіцієнта небезпеки таким чином [9-10]:

$$\lambda_c = \alpha_c + \lambda_0, \quad (1)$$

де λ_c – коефіцієнт небезпеки підтоплення під час зміни сейсмічності території; α_c – поправочний коефіцієнт.

На наступному етапі визначення ризику розвитку процесів підтоплення виконують оцінку уразливості підтопленої території із урахуванням різного ступеня небезпеки підтоплення [11]. Водночас ураховується сприйнятливості території до небезпечного впливу процесів підтоплення, що залежить від факторів, пов'язаних із функціональним призначенням території, стійкістю об'єктів, ступенем і часом освоєння території. Кількісну оцінку рекомендується здійснювати експертно-аналітичним методом, який ґрунтується на узагальненні доступних показників за збитком, нанесеним територіям підтопленням, на аналізі процесів, що відбуваються в разі впливу ґрунтових вод на підземні конструкції, та на оцінці екологічних наслідків підтоплення територій.

Вид уразливості рекомендується визначати п'ятизначним кодом [11]: перша цифра – ступінь уразливості за поверховості забудови; друга цифра – за типом підземної споруди (підвалу); третя

цифра – за ступенем амортизації (зношення) об'єкта; четверта цифра – за типом фундаменту; п'ята цифра – за функціональним призначенням території.

У рекомендаціях [9-10] за одиницю обрана теж уразливість житлової забудови у населених пунктах. Слід відмітити те, що всередині кожного з виділених видів функціонального призначення території також потрібно виконати градацію, пов'язану із багатомірністю процесів уразливості території підтопленню. Зокрема, уразливість території із промисловою забудовою внаслідок підтоплення значною мірою залежить від галузі.

Під час районування території за ступенем уразливості підтопленню у рекомендаціях [9-10] виділяють чотири ступені уразливості: мала ($v \leq 0,1$), помірна ($0,1 < v \leq 0,3$), велика ($0,3 < v \leq 0,6$), критична ($v > 0,6$). Цей принцип дозволяє виконати районування за ступенем уразливості території для різних стадій дослідження і проєктування, для співставлення відповідних карт різного складу залежно від детальної вихідної інформації, цілей і задач досліджень.

В основі оцінки ризику підтоплення територій лежать результати визначення ступенів небезпеки підтоплення і уразливості території підтопленню ґрунтовими водами [11]. Ступінь ризику підтоплення території оцінюється за принципом перехресту ступенів небезпеки та уразливості [9-11].

Коефіцієнт ризику підтоплення території R визначають за формулою:

$$R = \lambda \cdot v, \quad (2)$$

де λ – коефіцієнт небезпеки підтоплення; v – коефіцієнт уразливості до підтоплення.

Ураховуючи, що показники небезпеки можуть бути відсутніми, а показники уразливості існують у будь-якому випадку, систему слід уважати уразливою більшою чи меншою мірою.

У рекомендаціях [11] пропонується враховувати, що показники, які визначають остаточний результат, не є рівнозначними, тому:

1) рекомендується особливу увагу звертати на показник «функціональне призначення території», який визначає масштабність збитків за перерахунку на економічні одиниці;

2) менш впливовим є показник «поверховість забудови», який визначає кількість утрачених фондів залежно від кількості поверхів;

3) далі рекомендується розглядати показник «ступінь амортизації – зношення об'єкта», який визначає фактичну стійкість споруди до руйнівних процесів;

4) ще менш вагомим є показник «тип підземної споруди – підвалу». Він не визначає таких масштабних збитків, як попередні показники, але все одно є досить вагомим фактором впливу;

5) найменш вагомим серед відповідних п'яти показників є показник «тип фундаменту». Він не створює загальної картини, але може послаблювати чи посилювати деякі процеси.

Усереднений коефіцієнт ризику підтоплення території R визначається за формулою [9-10]:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^k v_i \lambda_i S_i}{S_0}, \quad (3)$$

де S_0 – площа території, для якої визначається коефіцієнт ризику підтоплення R :

$$S_0 = \sum_{i=1}^k S_i, \quad (4)$$

k – кількість фрагментів розбиття площі S_0 на неперехресні між собою площі S_i , для яких визначені коефіцієнти небезпеки підтоплення λ_i і уразливості підтопленню v_i .

За методикою [11] та з урахуванням рекомендацій [9-10] ми виконаємо оцінку ризику розвитку процесів підтоплення територій, прилеглих до регулюючого басейну РБ-1 КЗС поблизу с. Суха Калина і магістрального каналу МК-4 СТЗС на ділянці поблизу с. Григорівка, фільтраційні втрати із яких зумовлюють ризик стійкого підняття рівня ґрунтових вод на прилеглих до споруд територіях (рис. 1). Вищезазначені сільські населені пункти мають чисельність населення до 50 тис. чоловік у кожному, отже відносяться до малих відповідно до ДБН Б-2.2-12:19 «Планування і забудова територій». Зауважимо, що під час оцінки ризику розвитку про-

цесів підтоплення за рекомендаціями [11] ми умовно приймаємо територію розташування насосної станції підкачки за селітебну.

За результатами польових досліджень, сільськогосподарські угіддя біля регулюючого басейну РБ-1 КЗС та вдовж траси каналу МК-4 СТЗС не є підтопленими з урахуванням вимог ВНД 33-5.5-07-99 «Організація робіт із обстеження та оцінки підтоплення сільськогосподарських угідь і сільських населених пунктів» (табл. 1). Результати польових досліджень розглядалися раніше в [12], під час проведення яких було визначено, що РГВ становить 12,5 м поблизу регулюючого басейну та 4,5 м поблизу магістрального каналу. Відзначимо, що у табл.1 в якості зон рекреаційного призначення представлені зелені насадження загального користування, парки, санітарно-захисні зони, а для промислових зон і підприємств переробної промисловості, розташованих у межах сільських населених пунктів, мінімальна глибина залягання рівня ґрунтових вод визначається відповідними технічними умовами.

Оцінка ризиків підтоплення територій визначається за таким алгоритмом [11]:

1) для територій, прилеглих до регулюючого басейну РБ-1 КЗС біля с. Суха Калина:

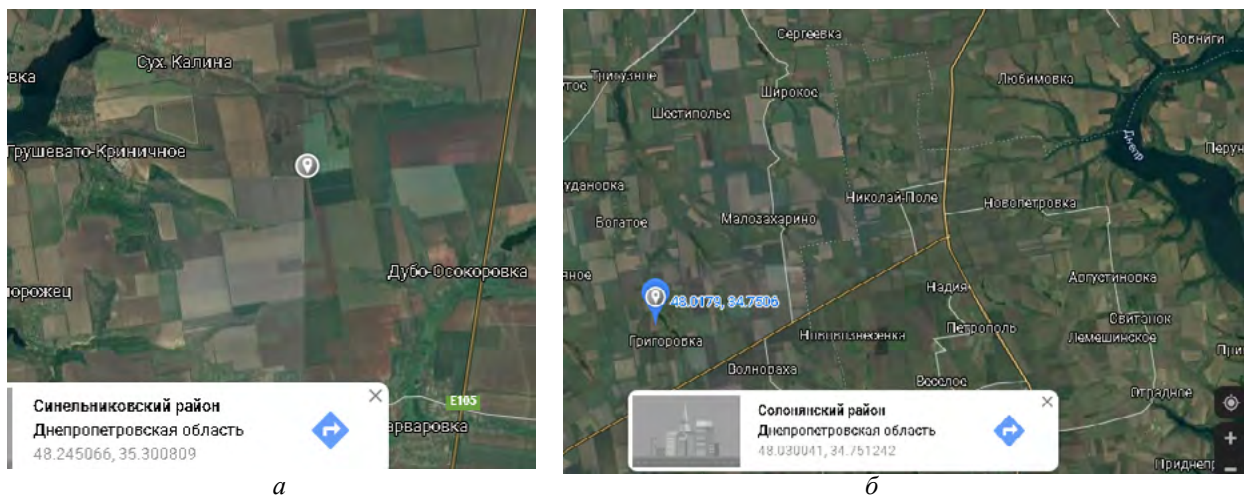


Рис. 1. Місцезорташування регулюючого басейну РБ-1 КЗС біля с. Суха Калина (а) і магістрального каналу МК-4 СТЗС (б) на ділянці поблизу с. Григорівка

Таблиця 1

Мінімальна глибина залягання рівня ґрунтових вод для сільськогосподарських угідь, селітебних територій, зон рекреаційного і захисного призначення у сільських населених пунктах згідно із ВНД 33-5.5-07-99

Техногенний об'єкт	Мінералізація ґрунтових вод, г/дм ³	Глибина залягання рівня ґрунтових вод, м		
		для зрошуваних сільськогосподарських угідь	для богарних сільськогосподарських угідь	для селітебних територій і зон рекреаційного та захисного призначення сільських населених пунктів
Регулюючий басейн РБ-1	< 5,0	1,5 < 12,5	2,0 < 12,5	2,0 < 12,5
Канал МК-4	< 5,0	1,5 < 4,5	2,0 < 4,5	2,0 < 4,5

а) інтегральна оцінка коефіцієнта небезпеки підтоплення території становить $\lambda = 0,1$, оскільки отримано:

- ступінь небезпеки за положенням рівня ґрунтових вод за умови обрання категорії «селітебні території сільських населених пунктів» ($4,5 > 3$ м) – відсутній, вид небезпеки «0»;

- ступінь небезпеки за зміною якості ґрунтових вод унаслідок мінералізації – «відсутній», вид небезпеки «0»;

- ступінь небезпеки за зміною фізико-механічних властивостей ґрунтів (замочені лесовидні породи, схильні до нерівномірних деформацій; наявні слабконабухаючі глинисті ґрунти) – «малий», вид небезпеки «1»;

б) коефіцієнт уразливості об'єктів за підтоплення територій з урахуванням п'ятизначного коду «12222» становить $v = 0,0584$, що отримано на підставі таких ступенів:

- ступінь уразливості за поверховістю забудови – вид уразливості «1»;

- ступінь уразливості за типом підземної споруди – вид уразливості «2»;

- ступінь уразливості за ступенем амортизації (зношення) об'єкта (15-50%) – вид уразливості «2»;

- ступінь уразливості за типом фундаменту – вид уразливості «2»;

- ступінь уразливості за функціональним призначенням території – вид уразливості «2» (промислові і виробничі);

в) коефіцієнт ризику підтоплення території R визначається за формулою (2):

$$R = \lambda \cdot \eta = 0,1 \cdot 0,584 = 0,0584.$$

Згідно з методикою [9-10] ризик підтоплення території $0,06 < 0,1$ класифікуємо як малий.

2) Для територій, прилеглих до магістрального каналу МК-4 СТЗС біля с. Григорівка:

а) інтегральна оцінка коефіцієнта небезпеки підтоплення території становить $\lambda = 0,1$, оскільки отримано:

- ступінь небезпеки за положенням рівня ґрунтових вод за умови обрання категорії «селітебні території сільських населених пунктів» ($12,5 > 3$ м) – відсутній, вид небезпеки «0»;

- ступінь небезпеки за зміною якості ґрунтових вод унаслідок мінералізації – «відсутній», вид небезпеки «0»;

- ступінь небезпеки за зміною фізико-механічних властивостей ґрунтів (замочені лесовидні породи, схильні до нерівномірних деформацій, і наявні слабконабухаючі глинисті ґрунти) – «малий», вид небезпеки «1»;

б) коефіцієнт уразливості об'єктів під час підтоплення територій з урахуванням п'ятизначного коду «12322» становить $v = 0,065$, що отримано на підставі таких ступенів:

- ступінь уразливості за поверховістю забудови – вид уразливості «1»;

- ступінь уразливості за типом підземної споруди – вид уразливості «2»;

- ступінь уразливості за ступенем амортизації (зношення) об'єкта ($> 50\%$) – вид уразливості «3»;

- ступінь уразливості за типом фундаменту – вид уразливості «2»;

- ступінь уразливості за функціональним призначенням території – вид уразливості «2» (промислові і виробничі).

в) коефіцієнт ризику підтоплення території R визначається за формулою (2):

$$R = \lambda \cdot \eta = 0,1 \cdot 0,65 = 0,065.$$

Згідно з [9-10] ризик підтоплення території $0,065 < 0,1$ оцінюється як малий.

Ступінь ризику підтоплення на територіях, прилеглих до регулюючого басейну РБ-1 КЗС і магістрального каналу МК-4 СТЗС, становить $0,0584$ і $0,065$ відповідно до Методичних рекомендацій із районування ризиків підтоплення міст і селищ [11], що класифікується як малий ризик за аналогічною методикою оцінки ризику підтоплення територій [9-10].

Головні висновки. За результатами аналітичних досліджень виявлено, що ризик розвитку процесів підтоплення на територіях, прилеглих до гідротехнічних споруд класу наслідків СС-1, є малим. Загалом методичні рекомендації, затвержені Міністерством із питань житлово-комунального господарства України у 2010 році [11], можна застосовувати для оцінки екологічної небезпеки сільськогосподарських угідь і меліоративних систем поблизу населених пунктів, оскільки експлуатація насосно-силового обладнання на насосних станціях передбачає постійне перебування персоналу протягом поливного сезону. Однак виявлено потребу удосконалення методичних рекомендацій за рахунок введення поправочних коефіцієнтів, які враховують віддаленість територій від населених пунктів, галузевий контекст, клас наслідків (відповідності) споруд, що дасть можливість розширити межі запровадження розглянутого алгоритму.

Перспективи використання результатів дослідження. Подальші аналітичні дослідження можуть призвести до районування і картографування малонаселених територій за ризиком розвитку процесів підтоплення.

Література

1. Екологічний паспорт Дніпропетровської області за 2020 р. Дніпро: Департамент екології та природних ресурсів ДОДА, 2021. 240 с. URL: <https://adm.dp.gov.ua/storage/app/uploads/public/60e/d38/c15/60ed38c15a69f512978009.pdf> (дата звернення 10.09.2021).
2. Державна програма запобігання і боротьби з підтопленням земель. Затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 29 квітня 2004 р. № 545. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npras/6251282> (дата звернення 10.09.2021)
3. ДБН В.1.1-25-2009. Інженерний захист територій та споруд від підтоплення та затоплення. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 52 с.
4. Strategic Flood Risk Assessment Ipswich Borough Council. Project number: 60612179. January 2020. URL: https://www.ipswich.gov.uk/sites/default/files/draft_ipswich_sfra-for_issue.pdf (дата звернення 10.09.2021).
5. McKenzie A.A., Rutler H.K., Hulbert A.G. The use of elevation models to predict areas at risk of groundwater flooding. *Geological Society*. 2010. Vol. 345. P. 75-79.
6. Cobby D., Morris S., Parkes A., Robinson V. Groundwater flood risk management: advances towards meeting the requirements of the EU floods directive. *J. Flood Risk Management*. 2009. No2. P.111–119. <https://doi.org/10.1111/j.1753-318X.2009.01025.x>.
7. Díez-Herrero A., Garrote J. Flood Risk Analysis and Assessment, Applications and Uncertainties: A Bibliometric Review. *Water*. 2020. No 12(7). P. 2050. URL: <https://doi.org/10.3390/w12072050>.
8. Naughton O., Johnston P.M., T. McCormack, Gill L.W. Groundwater flood risk mapping and management: examples from a lowland karst catchment in Ireland. *Journal of Flood Risk Management*. 2017. No 10. P. 53-64. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12145>.
9. Чуносков Д.В. Обоснование мероприятий по защите от подтопления урбанизированных территорий на основе теории риска / автореферат дисс...кандидата технических наук (05.23.07 – гидротехническое строительство); ОАО «НИИ ВОДГЕО». Москва, 2008. 25 с.
10. Методические рекомендации по оценке риска и ущерба при подтоплении территорий. Научн. ред. В.С. Алексеев, Э.М. Хохлатов. Москва : ФГУП НИИ ВОДГЕО, 2001. 58 с.
11. Наказ Міністерства з питань житлово-комунального господарства України від 23.12.2010 № 468 «Про затвердження методичних рекомендацій з районування ризиків підтоплення міст і селищ». 11 с.
12. Чушкіна І.В., Орлінська О.В., Стрепетова Х.В. Вплив фільтраційних втрат води з регулюючих басейнів на прилеглих території. *Наук. журнал «Молодий вчений»*. 2019. № 6 (70). С. 19-22.

ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

УДК 061.2:504

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.5-38.12>

ДІЯЛЬНІСТЬ ЕКОЛОГІЧНИХ ГРОМАДСЬКИХ ОРГАНІЗАЦІЙ У МІСТІ КАМ'ЯНЕЦЬ-ПОДІЛЬСЬКОМУ

Гордій Н.М., Тютюнник О.С., Рубановська Н.В.

Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка
вул. Огієнка, 61, 32300, м. Кам'янець-Подільський, Хмельницька область
nataliagordiy3103@gmail.com, guslyanka@gmail.com, natalkarubanovska@gmail.com

Основним завданням громадських організацій є здійснення громадського контролю за дотриманням природоохоронного законодавства, а також природоохоронна робота із розв'язання проблем екологічної спрямованості, поширення інформації, здійснення освітньої і виховної роботи з метою формування екологічної свідомості населення. Питання забезпечення екологічної безпеки вирішуються спеціальними органами в галузі природокористування та охорони довкілля, представниками виконавчих органів, громадськими організаціями і населенням країни загалом. Створення і діяльність громадських природоохоронних формувань мають стати пріоритетним напрямком діяльності країни в екологічному напрямі. Громадяни будь-якої країни можуть розв'язувати екологічні проблеми індивідуально, але все ж таки передумовою успіху громадськості є чітка організація і співпраця. Об'єднання в так звані громадські екологічні організації відкриває перед людьми кращі можливості для реалізації своїх прав в екологічному відношенні, а також для впливу на екологічну політику своєї держави. В Україні нараховується понад 500 громадських екологічних організацій, із них найбільшими є Українське товариство охорони природи, Всеукраїнська екологічна ліга, Українська екологічна асоціація "Зелений світ", Всеукраїнська дитяча спілка "Екологічна варта", Національний екологічний центр України, Українське ботанічне товариство. Громадські екологічні організації діють у всіх регіонах України. Діяльність урядових, приватних і громадських неурядових організацій у сфері збереження природи – це один із головних компонентів становлення екологічно свідомого суспільства та захисту навколишнього природного середовища. Дослідження відповідних цільових груп м. Кам'янець-Подільського дало змогу зробити деякі узагальнюючі висновки та надати рекомендації щодо вдосконалення їх подальшої співпраці.

Ключові слова: громадські організації, екологічне виховання, патріотичне виховання, проекти, Кам'янець-Подільський.

Activities of environmental public organizations in Kamianets-Podilskiy. Hordii N., Rubanovska N., Tiutiunnik O.

The main task of public organizations is to exercise public control over compliance with environmental legislation, as well as environmental work to address environmental issues, dissemination of information, educational and educational work to form environmental awareness. Issues of environmental safety are addressed by special bodies in the field of nature management and environmental protection, representatives of executive bodies, public organizations and the population in general. Creation and activity of public nature protection formations should become a priority direction of the country's activity in the ecological direction. Citizens of any country, of course, can solve environmental problems individually. But, nevertheless, the precondition for public success is clear organization and cooperation. Joining so-called public environmental organizations opens up better opportunities for people to exercise their rights in the environmental field, as well as to influence the environmental policy of their country. There are more than 500 public environmental organizations in Ukraine, the largest of which are: Ukrainian Society for Nature Protection, All-Ukrainian Ecological League, Ukrainian Ecological Association "Green World", All-Ukrainian Children's Union "Ecological Guard", National Ecological Center of Ukraine, Ukrainian Botanical Society. Public environmental organizations operate in all regions of Ukraine. The activities of governmental, private and public non-governmental organizations in the field of nature conservation are one of the main components of the formation of an environmentally conscious society and protection of the natural environment. The study of the relevant target groups of Kamianets-Podilskiy provided an opportunity to draw some general conclusions and provide recommendations for improving their further cooperation. *Key words:* non-governmental organizations, environmental education, patriotic education, project, Kamianets-Podilskiy.

Актуальність дослідження. В Україні представлені глобальні міжнародні екологічні організації, завданням яких є активізація прийняття рішень щодо розв'язання глобальних екологічних проблем, зокрема шляхом привернення до них уваги громадськості і влади. Одними із найпотужніших міжнародних організацій є такі: ПРООН (Програма ООН із розвитку) – United Nations Development Programme (UNDP); ВООЗ (Всесвітня організація

охорони здоров'я) – Health Organization (WHO); Світовий союз охорони природи – International Union for Nature Conservation (IUCN); Європейська мережа для інформації та спостереження за навколишнім середовищем – European Environment Information and Observation Network; Міжнародна інформаційна система із навколишнього середовища (ІНФОТЕРРА); Європейська науково-дослідна організація із навколишнього середовища – European

Environmental Research Organization (EERO) та інші. Роль таких масштабних організацій є надзвичайно вагомою, особливо у питаннях впливу на виробників, продавців і вимагання дотримання екологічних норм і стандартів.

В Україні налічується понад 500 громадських екологічних організацій, із них найбільшими є такі: Українське товариство охорони природи, Всеукраїнська екологічна ліга, Українська екологічна асоціація «Зелений світ», Всеукраїнська дитяча спілка «Екологічна варт», Національний екологічний центр України, Українське ботанічне товариство. Громадські екологічні організації діють у всіх регіонах України [2].

Новизна. За результатами опрацювання наявних офіційно доступних джерел визначено основні організації міста, які прямо або опосередковано вирішують питання охорони навколишнього природного середовища.

Викладення основного матеріалу. Серед 277 громадських організацій, представлених на офіційному веб-сайті Кам'янець-Подільської ради, зареєстровано лише три громадські організації екологічного спрямування [1]:

1. Товариство Подільських дослідників природи і природолюбів (директор – Любінська Людмила Григорівна). Мета діяльності: організація є недержавною, добровільною, незалежною, аполітичною, неприбутковою громадською природничо-краєзнавчою, мистецько-культурною, освітньою, виховною організацією, яка об'єднує на добровільній основі громадян задля здійснення природоохоронної і краєзнавчої діяльності усіх напрямів освіти і виховання; наукової, рекреаційно-туристичної, мистецько-культурної діяльності; здійснення громадських екологічних експертиз стану довкілля, природних ресурсів, продуктів харчування і води.

Товариство створено з метою задоволення духовних (культурно-мистецьких) потреб, наукових, освітніх теоретичних і практичних інтересів, екологічних і рекреаційних інтересів громадян, природних і соціально обумовлених потреб осіб у галузі використання природних ресурсів; охорони навколишнього природного середовища і забезпечення екологічної безпеки; проведення екологічного моніторингу, поширення екологічних знань.

Основними завданнями товариства є такі: проведення науково-дослідної роботи; організація та участь у всіх видах освіти, виховання; організація, участь і проведення краєзнавчої, пропагандистської, видавничої діяльності; організація, проведення рекреаційної і туристської діяльності; організація і проведення громадської екологічної експертизи; організація, проведення та участь у культурно-масових, мистецьких заходах; участь в обговоренні проєктів законодавчих актів, матеріалів про розміщення, будівництво і реконструкцію об'єктів, здатних негативно вплинути на стан навколишнього природного середовища, і внесення пропозицій до

державних і господарських органів, установ, організацій із цих питань; надання допомоги громадянам у захисті їх екологічних, соціальних та інших прав; представництво і захист законних інтересів створених Товариством підприємств, організацій, членів Товариства в органах державної законодавчої і виконавчої влади, місцевого самоврядування, у прокуратурі, суді, громадських організаціях, у міжнародних, міжурядових і неурядових організаціях; здійснення громадського контролю у галузі охорони навколишнього середовища; розроблення пропозицій щодо вдосконалення правової бази.

Основними напрямками діяльності товариства є:

1) організація навчання керівників підприємств, установ, організацій усіх форм власності, інших посадових осіб, учнівської і студентської молоді, а також громадян основам еколого-правових знань у вигляді підвищення кваліфікації і перепідготовки кадрів;

2) організація позашкільної та на базі громади освіти і виховання;

3) здійснення видавничої і рекламної діяльності, проведення масових заходів (табори, мітинги, марші, експедиції, екскурсії тощо) з метою формування у населення бережливого ставлення до природи і підвищення екологічної, правової та загальної культури громадян;

4) дослідження і проведення заходів з охорони та збереження природних і краєзнавчих історико-архітектурних об'єктів і комплексів Подільського краю, культурної спадщини;

5) організація туризму, проведення спортивних заходів, створення рекреаційних територій для духовного і фізичного розвитку громадян; оздоровлення, проведення змістовного дозвілля задля розвитку і пропаганди туристично-екскурсійної роботи як важливого виховного напрямку активного і змістовного розвитку підлітків, молоді та інших вікових груп населення із метою реалізації права громадян на загальне і спеціальне природокористування;

6) проведення учбово-методичної роботи;

7) організація підготовки і підвищення кваліфікації туристських кадрів у школах туризму, на курсах, семінарах, зборах;

8) підготовка та атестація кваліфікованих туристичних кадрів і фахівців, спортсменів-розрядників, суддів, тренерів та інструкторів з туризму;

9) організація і проведення спортивних туристських заходів: чемпіонатів, спартакіад, змагань, експедицій, навчально-тренувальних зборів тощо;

10) розроблення і впровадження поточних та перспективних програм розвитку масового, оздоровчого і спортивного туризму, екскурсійної і краєзнавчої роботи;

11) організація міжнародного та міжрегіонального співробітництва, інтеграції із питань розвитку масового, оздоровчого і спортивного туризму; організація міжнародного туристичного обміну, масових, оздоровчих, спортивних заходів, змагань;

12) проведення роботи із попередження і профілактики аварійності, травматизму та нещасних випадків у туризмі;

13) організація проведення громадської екологічної експертизи;

14) участь у міжнародному співробітництві із вивчення та охорони природних об'єктів і комплексів, ефективного та раціонального використання природних ресурсів, культурної спадщини.

2. Молодіжна громадська організація - туристично-екологічна асоціація «Магнолія» (директор Вашук Дмитро Петрович).

3. Кам'янець-Подільська міська молодіжна громадська організація «Зелені Товтри» (директор Татаріна Наталя Миколаївна).

На інших інтернет-ресурсах ми знаходимо інформацію про ще три громадські організації екологічного спрямування, не представлені на веб-сайті Кам'янець-Подільської ради (можливо це сталося через те, що інформація на сайті датується ще 25 квітня 2016 року або через легалізацію організації лише шляхом повідомлення):

Громадська організація «Центр ресурсоефективного і чистого виробництва» (директор Володимир Грицанчук). Головна мета діяльності організації спрямована на розроблення і впровадження заходів щодо захисту навколишнього середовища; впровадження альтернативних джерел виробництва енергії та енергозберігаючих технологій; розвиток екотуризму та екопоселень; розвиток ресурсоефективного і чистого виробництва; перехід із нафтового громадського транспорту на екологічний транспорт.

Громадська організація увійшла до складу Експертної групи з питань розвитку легкового і громадського електротранспорту при Мінінфраструктури України, а також Експертної ради Міненерго України; є учасником Української Асоціації ринку електромобілей в Україні, Європейської Електромобільної Асоціації України (AVERE UKRAINE), Федерації роботодавців автотранспорту України.



Рис. 1. Статус громадських організацій м. Кам'янець-Подільського на сайті youcontrol.com.ua станом на 10.06.2021 р.

Завдяки громадській організації місто Кам'янець-Подільський бере участь у:

1) проєкті Європейського Інвестбанку «Міський громадський транспорт України-2» 2020 року;

2) розробленні стратегії соціально-економічного розвитку обласної, міської, сільської і міжселищної інфраструктур;

3) розробленні Стимулів, Програм і Законів України із використання електроенергії для розвитку громадського електротранспорту в Україні.

5. Благодійна організація «Надія» (директор Магілат Валентина Володимирівна). Благодійна організація «Надія» створена з метою сприяння здійсненню програм і заходів, спрямованих на розвиток українського суспільства у сферах освіти, науки, медицини, культури, мистецтва, спорту, здоров'я, туризму, прав людини і громадянина та основоположні свободи; на розвиток територіальних громад, міжнародної співпраці, екології, охорони навколишнього середовища і тварин; стимулювання економічного росту й розвитку економіки України та її окремих регіонів і підвищення конкурентоспроможності України; сприяння обороноздатності та мобілізаційній готовності країни, захисту населення у надзвичайних ситуаціях мирного і воєнного стану; сприяння здійсненню державних, регіональних, місцевих і міжнародних програм, спрямованих на поліпшення соціально-економічного становища в Україні.

6. Громадська організація «Чисті схили» (директор Желіховська Вікторія). Організація створена з метою об'єднання ініціативних громадян, які не бажають стояти осторонь екологічних проблем міста, прагнуть жити у чистому, красивому, комфортному середовищі та готові самі змінювати на краще свій життєвий простір.

Громадська організація легалізована шляхом повідомлення, тобто без створення юридичної особи. Керівники нещодавно почали про це замислюватись, оскільки для залучення коштів і пошуку грантодавців зазвичай потрібно мати рахунок. До цього часу організатори обмежувались залученням локальних ресурсів. Від акції до акції учасники організації складають список підприємців, представників партій, релігійних організацій міста, які могли би посприяти у проведенні заходів. Наприклад, останнє фінансування надходило від Патріаршої комісії у справах молоді Української Греко-Католицької Церкви, яка регулярно проводить конкурси міні-грантів.

Окрім проведення акцій із прибирання, ГО «Чисті схили» є учасниками районних і міських комісій з екологічних питань при міській раді, а також беруть участь в екологічних конкурсах. Проєкт, який наразі є актуальним, – це сімейний клуб «Прочитай мені казку». Екологія – це не лише вирішення конкретних проблем навколишнього середовища, але і робота із дітьми, виховання екологічної свідомості, розуміння того, що потрібно берегти природу. Спілкуючись із дітьми та читаючи

**Забезпеченість офіційно доступних джерел інформації відомостями
про діяльність екологічно-орієнтованих громадських організацій**

№ з/п	Назва громадської організації	Наявність юридичної адреси	Наявність контактних даних	Наявність даних про керівника	Наявність даних щодо завдання організації в сфері охорони навколишнього природного середовища*	Наявність загальної мети діяльності та ефективності установи щодо охорони навколишнього природного середовища*	Статус (на сайті youcontrol.com.ua станом на 10.06.2021 р.)
1.	Товариство Подільських дослідників природи і природолюбів	+	+	+	+	+	Не перебуває в процесі припинення
2.	Молодіжна громадська організація Туристично-екологічна асоціація «Магнолія»	-	-	-	-	-	Припинено
3.	Кам'янець-Подільська міська молодіжна громадська організація «Зелені Товтри»	-	-	-	-	-	Немає даних
4.	Громадська організація «Центр ресурсо-ефективного і чистого виробництва»	-	-	+	+	+	Немає даних
5.	Благодійна організація «Надія»	+	+	+	+	+	Не перебуває в процесі припинення
6.	Громадська організація «Чисті схили»	-	-	+	+	+	Немає даних

Примітка: * – інформація із соціальних мереж або інших інтернет-ресурсів.

кращі зразки української літератури під час таких зустрічей, організатори мають на меті виховувати свідоме ставлення до навколишнього середовища.

Окрім того, організатори планують створити у місті «Екологічну Раду», тоді питання екології більш серйозно розглядатимуться, оскільки про екологічні проблеми говорять в останню чергу внаслідок знаходження актуальніших проблем.

Серед усіх громадських екологічних організацій міста про 50% із них відсутні відомості у системі онлайн-сервісу перевірки компаній YouControl, 33% – не перебувають у процесі припинення, ще 17% – припинили свою діяльність (рис. 1).

Важливим аспектом співпраці та координації організацій є доступність відомостей про завдання, компетенції, діяльність, ефективність установи у сфері охорони навколишнього природного середовища, що свідчить про мінімізацію можливостей цільової співпраці з ними.

Результати пошуку наявних відомостей про участь цільових груп у міжнародних проектах, науково-дослідній діяльності, екологічно-орієнтованих заходах свідчать про незначний рівень забезпеченості ними (табл. 1), що говорить про відсутність можливості аналізу та оцінки такої співпраці і діяльності установ та організацій.

Головні висновки. Унаслідок структуризації та опрацювання наявної офіційно доступної інформації за основними характеристиками, станом, завданням і діяльністю установ у сфері охорони довкілля було визначено, що доступною є найменша кількість інформації про громадські екологічні організації. Лише 33% громадських організацій мають усі перелічені у таблиці відомості (Товариство Подільських дослідників природи і природолюбів та Благодійна організація «Надія»), не перебуваючи у процесі припинення, що дуже важливо.

Література

1. Громадські організації міста : веб-сайт. URL: <https://kam-pod.gov.ua/suspilstvo/rozvitok-gromadian-suspilstva/gromadski-organizatsiji-mista> (дата звернення 10.06.2021).
2. Стегній О. Г. Екологічний рух в Україні : соціологічний аналіз. Київ : Видавничий дім «КМ Академія», 2001. 234 с.

ІНТЕГРАЦІЯ АЕРОКОСМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СИСТЕМУ УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ: РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИКОРИСТАННЯ АЕРОКОСМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ ПЛАНОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРУ

Машков О.А., Іващенко Т.Г., Печений В.Л.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, м. Київ
mashkov_oleg_52@ukr.net, tvn.prof@gmail.com

Здійснено аналіз наявних систем підтримки прийняття рішень в інтегрованих автоматизованих системах управління екологічною безпекою. Зазначено, що формування інтегрованих автоматизованих систем управління екологічною безпекою доцільно здійснювати на основі ризик-орієнтованої підтримки прийняття екологічних рішень. Запропоновано класифікацію процесів руйнівного характеру в екосистемах для застосування в інтегрованих автоматизованих системах управління екологічною безпекою планової діяльності. Обґрунтовано, що інтегровані автоматизовані системи управління екологічною безпекою варто будувати із використанням моделей та методів ризик-орієнтованої підтримки прийняття рішень в умовах виявлення екологічних загроз та ризиків. Інтегровані автоматизовані системи є відкритими складними динамічними системами, які містять сукупність природних і штучних картографічних об'єктів, серед яких виділяються певні екологічні об'єкти, що представляють цінність для людини. Окреслено необхідність прийняття рішень під час планової діяльності за короткий проміжок часу, зважаючи на динаміку ситуацій. Установлено, що застосування наявних методик оцінки екологічних загроз та ризиків, заснованих на статистичних методах із використанням імітаційних моделей, пов'язано із неприйнятною обчислювальною складністю, яка є неприпустимою у системах підтримки прийняття рішень реального часу. Визначено, що для підвищення своєчасності, обґрунтованості та ефективності рішень в інтегрованих автоматизованих системах під час здійснення підтримки прийняття рішень у реальному часі доцільно використовувати динамічні моделі екологічних загроз та ризиків на основі просторово розподіленої моделі територіальної системи та моделі процесів руйнівного характеру, що розвивається в її межах, які враховують вплив навколишнього середовища та рішення уповноваженої особи, а також забезпечують достатню деталізацію у просторі та часі. *Ключові слова:* екологічний об'єкт, екологічні збитки, екосистема, захист довкілля, інтегрована система управління екологічною безпекою, надзвичайна екологічна ситуація, планова діяльність, ризик-орієнтований підхід, система підтримки прийняття управлінських інформаційних рішень.

Integration aerospace technology in the control system of ecological safety, development of technology use of space technology for management ecological safety of planned activities support decision making in emergency situations of natural character. Mashkov O.A., Ivashchenko T.G.

The paper analyzes the existing decision support systems in integrated automated environmental safety management systems. It is determined that the formation of integrated automated environmental safety management systems should be carried out on the basis of risk-oriented support for environmental decision-making. The classification of processes of destructive character in ecosystems for application in the integrated automated control systems of ecological safety of planned activity is offered. It is substantiated that integrated automated environmental safety management systems should be built using models and methods of risk-oriented decision support in terms of identifying environmental threats and risks. Integrated automated systems are open complex dynamic systems that contain a set of natural and artificial cartographic objects, among which certain ecological objects of human value stand out. Necessity of decision-making at planned activity for the minimum time owing to high dynamics of situations is substantiated. It is established that the application of existing methods of assessment of environmental threats and risks, based on statistical methods using simulation models, is associated with unacceptable computational complexity, which is unacceptable in real-time decision support systems. It is determined that to increase the timeliness, validity and efficiency of decisions in integrated automated systems in real-time decision support, it is advisable to use dynamic models of environmental threats and risks based on the spatially distributed model of the territorial system and destructive processes. boundaries that take into account the impact of the environment and the decisions of the decision-maker, and provide sufficient detail in space and time. *Key words:* ecological object, ecological damages, ecosystem, environmental protection, integrated ecological safety management system, ecological emergency situation, planned activity, risk-oriented approach, management information decision support system.

Постановка проблеми. Проблема забезпечення безпеки життєдіяльності людини стає нині все більш актуальною. Попередження та ліквідація надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру з метою збереження життя та здоров'я людей, забезпечення сталого розвитку країни є одними зі склад-

ників національної безпеки держави, яку неможливо забезпечити без детального аналізу наявного стану техногенної і природної безпеки, спостереження за ним у довгостроковій динаміці та розроблення заходів, спрямованих на мінімізацію ризиків виникнення надзвичайних ситуацій (НС) [1; 2]. В основу управління екологічною безпекою планової діяльності покладено системний підхід, який оперує поняттями «екосистема», «екологічний об'єкт», «екологічний стан», «екологічний процес», «екологічна ситуація».

Проведений аналіз засвідчує, що нині створені умови для практичного вирішення задач ризик-орієнтованої системи підтримки прийняття екологічних рішень в умовах процесів руйнівного характеру у просторово-часовому масштабі. Цьому сприяє розвиток комп'ютерної техніки та інформаційних технологій, таких як геоінформаційні системи (ГІС), а також доступність геопросторових і статистичних даних за допомогою мережі Інтернет. Геопросторові відомості, що описують місцевість, онлайн-відомості про погодні умови нині є доступними для багатьох регіонів світу, а наявні моделі динаміки процесів руйнівного характеру дозволяють ефективно використовувати такі відомості.

Нині створені та експлуатуються багато систем, призначених як для вирішення задач автоматизації окремих робочих місць спеціалістів, що забезпечують управління в умовах надзвичайних екологічних ситуацій, так і для забезпечення державного, міждержавного та міжнародного управління і контролю за надзвичайними ситуаціями. Такі системи мають різні функціональні задачі: від виконання розрахункових та інформаційно-довідкових функцій до прямої підтримки прийняття управлінських рішень [3-9].

Серед процесів, які виникають у природно-техногенних системах, ми визначимо особливий клас процесів – процеси руйнівного характеру (ПРХ), за якими у контексті дослідження беруться до уваги просторово-розподілені небезпечні природні явища, які відбуваються в екологічній системі та за своєю інтенсивністю, масштабом розповсюдження і тривалістю можуть становити негативні наслідки для самої системи та її зовнішнього середовища у вигляді матеріальних збитків та порушення умов життєдіяльності людей. Тож процеси руйнівного характеру є проявом збурюючих впливів, які порушують стабільне функціонування системи.

Надзвичайна екологічна ситуація виникає за умови наявності вразливих екологічних об'єктів, що потрапляють під вплив процесу руйнівного характеру та вимагають прийняття рішень з боку особи, яка приймає рішення. Водночас надзвичайна екологічна ситуація потребує прийняття таких рішень: попередження (запобігання виникненню), запобігання розвитку, ліквідації наслідків. Для прийняття рішень потрібно вирішити такі завдання: моделювання, моніторинг, діагностика ситуації, підтримка прийняття рішень.

Тому актуальною науковою проблемою є розроблення технології використання аерокосмічних технологій для управління екологічною безпекою планової діяльності, для підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій природного характеру.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Необхідність удосконалення системи управління екологічною безпекою планової діяльності та підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій природного характеру зумовлена зовнішньополітичним курсом України на європейську інтеграцію і визнається цілою низкою документів стратегічного характеру. Стратегія національної безпеки України передбачає створення ефективної системи моніторингу довкілля. Задля ефективного виконання функцій державна система моніторингу довкілля має спиратися на визначені регуляторні вимоги до відповідальності визначених суб'єктів, обґрунтування програм і регламентів моніторингу, а також критерії безпеки навколишнього середовища. Система управління екологічною безпекою має забезпечувати об'єктивний аналіз впливів за результатами об'єктових програм моніторингу і контролю, а також надавати результати аналізу динаміки зміни основних складників довкілля у просторі та часі з урахуванням фонових показників забруднення.

Розроблення ефективної системи управління екологічною безпекою планової діяльності відповідає європейським і світовим підходам до екологічного управління, зокрема вимогам і директивам Угоди про асоціацію України з Європейським Союзом. Створення такої системи значно розширить можливості міжнародної співпраці України у галузі охорони навколишнього природного середовища і сприятиме приведенню стану довкілля у відповідність до європейських і світових вимог.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За результатами аналізу літературних джерел можна зробити висновок про те, що необхідність технологій для управління екологічною безпекою планової діяльності і підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій природного характеру може бути досягнута за допомогою певного огрубіння (розмивання) моделі, зокрема за допомогою розроблення правдоподібної формальної моделі процесу руйнівного характеру, яка має носити наближений характер, що дозволить значно знизити вимоги до точності моделі поширення процесу руйнівного характеру без істотного її (моделі) спрощення і без втрати наочності та, відповідно, обґрунтованості оцінок для особи, яка приймає рішення.

Аналіз наукових джерел свідчить, що у переважній більшості робіт використовуються головним чином статистичні та математичні методи. Водночас побудова наближеної моделі надзвичайної екологічної ситуації вимагає застосування інтелектуальних методів, що диктується неструктурованістю про-

блемної області. Причому традиційні підходи на основі формалізму нечітких множин (fuzzy set), що характеризуються високою обчислювальною складністю, не можуть забезпечити необхідні показники швидкодії системи управління екологічною безпекою планової діяльності [4-6].

За висновками досліджень, більшість підходів до онлайн-моніторингу надзвичайної екологічної ситуації мають суттєві недоліки. Наприклад, наземні системи, що використовують статичні камери, мають неприйнятно високу вартість. Системи, засновані на використанні супутників, характеризуються низькою часовою та просторовою роздільною здатністю [8]. Пілотовані літальні апарати великі за розмірами та коштовні, вони залежать від погодних умов і потребують наявності аеродромів [7,8].

Останнім часом спостерігається прогрес у сфері використання дистанційно пілотованих літальних апаратів (ДПЛА) для моніторингу, виявлення і навіть локалізації надзвичайної екологічної ситуації [7; 8], що є можливим без участі людини. Проте спотворення отримуваних зображень унаслідок вібрацій і турбулентності, а також неможливість прямо виміряти параметри, необхідні для особи, яка приймає рішення, є недоліками цього підходу. Отже, інтеграція ДПЛА з технологіями дистанційного зондування є швидкодіючим, мобільним, дешевим та потужним вирішенням задачі управління екологічною безпекою в умовах надзвичайних екологічних ситуацій. Використання комплексу безпілотних апаратів із високотехнологічними сенсорами досліджувалося в Європейських проєктах FiRE та COMETS [9]. Незважаючи на позитивні результати, пов'язані з використанням ДПЛА, нині багато питань залишилися не досить дослідженими. Такі питання, як архітектура систем моніторингу надзвичайних екологічних ситуацій, заснованих на комплексному застосуванні аерокосмічних технологій, і відповідні системи спостереження, сенсори, алгоритми дистанційного зондування та обробки зображень потребують подальшого дослідження. Водночас такі системи управління екологічною безпекою потребують використання гібридних моделей, які поєднують наближені моделі надзвичайних екологічних ситуацій, засновані на методах штучного інтелекту і онлайн-моніторингу з використанням аерокосмічних технологій.

У статті розроблені наукові основи технології використання аерокосмічних технологій для управління екологічною безпекою планової діяльності і підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій природного характеру.

Невирішена раніше частина загальної проблеми. Незважаючи на наявність певної кількості нинішніх інформаційних систем для попередження і ліквідації НС, які забезпечують інформацією про прийняття необхідних рішень, проблема розроблення систем підтримки прийняття рішень, засно-

ваних на концепції динамічної оцінки узагальненого ризику у реальному часі, не прив'язаному до конкретної території та конкретного виду надзвичайної екологічної ситуації, не отримала належної уваги і все ще залишається відкритою. Тому для вирішення цієї проблеми у статті розглянуто такі питання:

- формалізація розроблення технології використання аерокосмічних технологій для управління екологічною безпекою планової діяльності і підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій природного характеру;

- аналіз наявних підходів до побудови інтегрованих автоматизованих систем під час управління екологічною безпекою;

- технологія використання аерокосмічних технологій для управління екологічною безпекою планової діяльності та підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій природного характеру.

Мета дослідження полягає у викладенні методики розроблення технології використання аерокосмічних технологій для управління екологічною безпекою планової діяльності і підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій природного характеру.

Результати досліджень.

1. Формалізація розроблення технології використання аерокосмічних технологій для управління екологічною безпекою планової діяльності і підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій природного характеру.

Складна екосистема виконує певні функції і містить численні взаємодіючі елементи (об'єкти), унаслідок чого набуває нових властивостей. У ній виділяють структуру, зовнішню і внутрішню середовище (рис. 1). Множина взаємопов'язаних елементів, що еволюціонують у часі, трактується як динамічна система, яка у кожний момент часу має певний стан і в якій динаміка описується переходами з одного стану в інший.

За формалізації екосистеми ми робимо припущення, що елементом складної екологічної системи є динамічний екологічний об'єкт, який має власну внутрішню структуру, входи (точки прикладання зовнішніх впливів) і виходи (які характеризують його стан) (рис. 1).

Екологічним станом об'єкта у певний момент часу є сукупність значень його параметрів. Об'єкт може реагувати на зовнішні впливи зміною свого внутрішнього стану і вихідних величин або виконанням певних процесів. Екологічний процес розглядається як послідовність змін станів складної екологічної системи. Водночас будь-який вплив переводить екологічну систему з одного стану в інший.

Потрібно розрізнати зовнішні впливи, зумовлені впливом на екологічну систему зовнішнього середовища (ЗС), і впливи рішень із боку особи, яка приймає рішення (ОПР). У стабільному стані екологічна система знаходиться завдяки процесам самооргані-

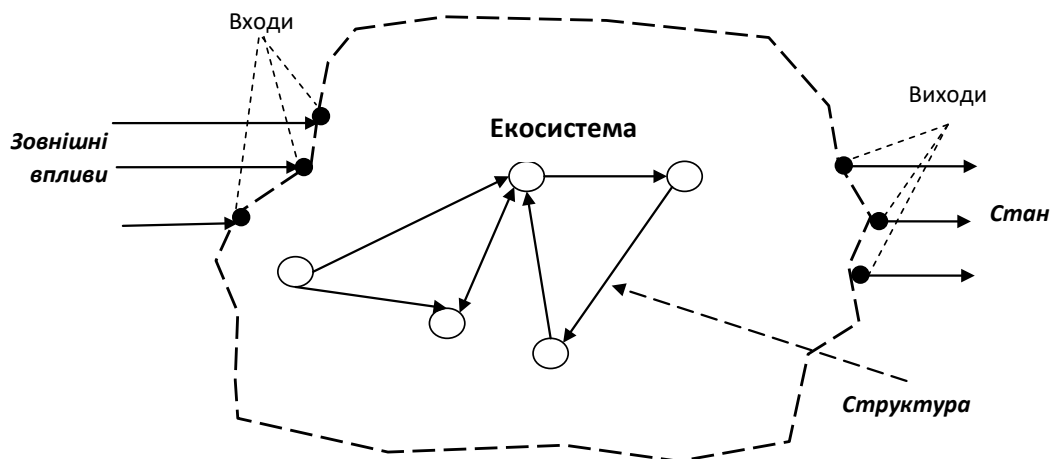


Рис. 1. Формалізація екосистеми

зації, які виявляються у самоузгодженому функціонуванні системи за рахунок внутрішніх зв'язків із зовнішнім середовищем.

У збуреному стані екологічна система потребує прийняття рішень із боку ОПР, метою яких є компенсація дії збурюючих впливів.

Прийняття управлінських екологічних рішень має спрямовуватись на зменшення руйнівного ефекту від збурюючих впливів.

Під час прийняття управлінських рішень слід ураховувати, що кожен екологічний об'єкт має певну цінність, яка динамічно змінюється в умовах надзвичайної екологічної ситуації. Тому рішення щодо захисту екологічного об'єкта засновані на оцінці ризику (потенціал здійснення небажаних і несприятливих наслідків для екологічного об'єкта в умовах надзвичайних екологічних ситуацій, які можуть виражатися зменшенням його цінності).

Для оцінки ризику екологічного об'єкта потрібно оцінити такі його складники:

- небезпека – можливість (або імовірність) виникнення надзвичайної ситуації певного типу, певної інтенсивності на певній ділянці території;
- загроза – прогностичний складник ризику на стадії матеріалізації небезпеки в умовах надзвичайної ситуації, що характеризує певний час, із плином якого цей об'єкт можливо буде охоплений процесом руйнівного характеру;
- потенційний збиток, який залежить від вразливості і функціональної стійкості екологічного об'єкта.

Рішення щодо захисту екологічного об'єкта мають бути засновані на оцінці ризику, тобто метою процесу управління екологічною безпекою є переведення природно-техногенної системи у цільовий стан із мінімальним ризиком для екологічного об'єкта.

Під час управління екологічною безпекою планової діяльності і підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій природного характеру ми враховуємо, що процеси руйнівного характеру в умовах надзвичайних екологічних ситуацій харак-

теризуються значною невизначеністю. Водночас на динаміку надзвичайної екологічної ситуації впливають різні чинники, зв'язки і параметри, ступінь впливу і взаємодії яких не можуть бути чітко визначеними і врахованими із достатньою повнотою [4]. Вхідні параметри надходять із різних джерел. Більшість параметрів неможливо або дуже складно точно виміряти. Зазвичай уявлення ОПР про причини і можливі способи зміни ситуації є розмитими, нечіткими і суперечливими. Окрім того, ПРХ є швидкоплинним процесом, який характеризується мінливістю характеру свого перебігу, що вимагає врахування його динаміки і формування прогностів щодо розвитку надзвичайної екологічної ситуації. Неможливість багаторазового спостереження ПРХ в однакових умовах ускладнює застосування для нього відомих статистичних методів.

Особливостями надзвичайної екологічної ситуації є руйнівний характер, просторове поширення, невизначеність; швидкоплинність, що потребує прийняття рішень в умовах ліміту часу; неможливість багаторазового спостереження в однакових умовах.

Ураховуючи особливості надзвичайної екологічної ситуації, використання методів математичного моделювання (зокрема статистичних методів) для його опису не представляється можливим. Унаслідок зазначених вище особливостей процес поширення ПРХ складно моделювати і прогнозувати. Окрім того, важким для формалізації є процес підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайної екологічної ситуації, від швидкодії якого залежать не тільки розміри економічних та екологічних збитків, але і життя та здоров'я людей.

ОПР доводиться приймати рішення в умовах невизначеності, мінливого середовища та обмежених часових ресурсів. Водночас доцільно враховувати, що динаміка розвитку надзвичайної екологічної ситуації часто характеризується не тільки кількісними, але і якісними показниками. Тому ОПР доводиться маніпулювати якісною інформацією

у вигляді гіпотез (припущень), інтуїтивних понять тощо. Застосування якісних показників потребує залучення відповідних інструментів, таких як експертні методи, методи теорії нечітких множин та інші, які характеризуються певним рівнем суб'єктивізму [3-6].

Ураховуючи вищезазначене, можна визначити такі особливості управління екологічною безпекою планової діяльності:

- невизначеність (неповнота, неточність, суперечливість і помилковість) вихідних даних і знань;
- нестационарність, суттєва нелінійність і значна розмірність моделей надзвичайних екологічних ситуацій;
- динамічна зміна вхідних даних для прийняття рішень під час виконання завдання;
- територіальна прив'язка;
- неможливість спостереження багаторазового повторення подій в однакових умовах;
- істотний вплив суб'єктивності (людського фактору) на прийняття рішень;
- значна розмірність простору можливих рішень;
- ліміт часу на прийняття рішень.

Перераховані особливості проблемної області, що відображають складність прийняття рішень в умовах управління екологічною безпекою, вимагають розроблення і впровадження нових моделей, методів та геоінформаційної технології, що дозволить обробляти не тільки кількісні, але і якісні параметри.

Завдання управління екологічною безпекою планової діяльності має такі особливості:

- основним джерелом знань є досвід, а не моделі;
- результати вирішення завдання підтримки прийняття рішень не є унікальними для кожної ситуації, тобто можуть використовуватися в інших (подібних) ситуаціях;
- мета вирішення завдання полягає не в отриманні гарантовано точного рішення (результату), а в отриманні найкращого із можливих рішень.

Перераховані властивості і чинники невизначеності або суб'єктивності дозволяють віднести природно-техногенні системи в умовах надзвичайних екологічних ситуацій до класу слабо структурованих систем, а проблему підтримки прийняття рішень – до класу складних і важко формалізованих проблем [3]. Отже, для вирішення завдання підтримки прийняття рішень у складних екологічних системах в умовах надзвичайних ситуацій потрібно застосовувати інтелектуальні методи (експертні оцінки).

2. Аналіз наявних підходів до побудови інтегрованих автоматизованих систем під час управління екологічною безпекою

Прикладом міждержавної інформаційної системи є Глобальна інформаційна мережа GDIN, створена урядом США у 1997 році, яка надає інформацію про стихійні лиха і здійснює підтримку прийняття рішень. Система поєднує низку міжнародних, державних, недержавних і комерційних організацій

у царині реагування на надзвичайні ситуації. У США розроблено комплекс програм HAZUS, який дозволяє оцінювати ризик від деяких НСПХ, таких як повені, землетруси, урагани тощо з метою побудови плану дій щодо ліквідації наслідків таких НС [9]. Обмеженням цього комплексу програм є те, що він не враховує ризик від декількох НС, які поширюються одночасно.

У Новій Зеландії розроблено систему програмного забезпечення RiskScape для аналізу ризиків від декількох надзвичайних ситуацій, таких як повені, землетруси, цунамі, ураганні вітри. Методологія RiskScape дозволяє порівнювати різні джерела небезпеки за допомогою функції нестійкості, яка визначає відношення між НС, характеристиками ресурсів, що знаходяться в умовах ризику, і потенційним збитком.

За підтримки координаційного центру із попередження стихійних лих у Центральній Америці (CEPREDENAC) розроблено ГІС-орієнтовану систему CAPRA, засновану на аналізі статистичних даних, що дозволяє оцінювати імовірність ризику землетрусів, ураганів, вивержень вулканів, повеней, цунамі та пов'язаних із ними збитків [9].

У Німеччині функціонує розподілена система збору та пошуку інформації IMIS, яка здійснює постійний моніторинг навколишнього середовища з метою надання інформації і прогнозування радіаційної обстановки [9].

Нині діє низка проєктів, які фінансуються Європейським Союзом, спрямованих на розроблення методології оцінки ризиків від природних НС (посухи, землетруси, повені) і техногенних НС (аварії об'єктів ядерної енергетики та інших). Це такі проєкти, як NaRAs, MATRIX, CLUVA, ByMur, EPSON HAZARD. Зазначені проєкти базуються на різних підходах: від якісного (найпростішого у використанні) до кількісного, який забезпечує більш точну оцінку елементів ризику.

На якісній оцінці ризику базуються проєкти ESPON-HAZARD 1.3.1 і MATRIX [8; 9], особливістю яких є використання методу Дельфі, що передбачає складання анкет із питаннями для групи експертів, де їм пропонується висловити свої суб'єктивні оцінки ризику від певних НС. У проєкті ESPON анкети, запропоновані експертам, дозволяють ранжувати НС, що аналізуються, на основі набору вагових значень, які подають значущість кожної НС на узагальненій мапі. У проєкті MATRIX якісний метод дозволяє інтегрувати знання кінцевих користувачів для ідентифікації НС і вразливих об'єктів. Загалом метод Дельфі характеризується суб'єктивністю і вимагає багато часу та організаційних зусиль. Кількісні методи оцінки ризику, такі як зважені суми, байєсовські мережі, ймовірнісні підходи були використані у проєктах NaRAs, CLUVA, ByMur.

Прикладом автоматизованих систем підтримки прийняття рішень у НС є європейська комплексна система RODOS, яка є розробкою більш ніж

20 європейських інститутів і призначена для підтримки прийняття рішень у реальному масштабі часу в умовах НС, пов'язаних із радіаційною ситуацією в Європі. Система містить підсистеми аналізу та оцінки ситуації, а також вибору ефективних контрзаходів. Система RODOS у межах проекту TACIS TA REG 02/3 була впроваджена в Україні. Система РОДОС-Україна забезпечує раннє попередження і радіаційний моніторинг на основі показників мережі метеорологічних станцій України, оброблених УкрГідрометцентром [7; 8].

Традиційне отримання інформації для ППР в умовах НСПХ здійснюється за допомогою експертів прямо на місцевості або шляхом аналізу показників, які надходять від супутників, протипожежних вишок тощо. Проте останні досягнення у галузі аерокосмічних технологій призвели до створення нових можливостей для застосування космічних і безпілотних літальних апаратів у системі управління екологічною безпекою планової діяльності.

Моніторинг ПРХ зазвичай здійснюється експертами, які оцінюють візуально або за допомогою камер швидкість поширення, інтенсивність та інші характеристики. Окрім того, використовуються ДПЛА, що дозволяють спостерігати за розповсюдженням ПРХ, але вони коштують дорого, а їхнє використання пов'язане з ризиком для людини, яка здійснює керування.

Моніторинг за допомогою мобільних екологічних систем спостереження дозволяє автоматично отримувати актуальну своєчасну інформацію, що забезпечує володіння ситуацією та інформованість ОПР під час прийняття рішень в умовах надзвичайних екологічних ситуацій, і дозволяє знизити ризик для людей, залучених до моніторингу. Космічні та безпілотні літальні апарати (БПЛА) дозволяють спостерігати за територією, передавати зображення і відеоінформацію. Аерофотознімки, особливо накладення зображень у декількох проєкціях, і матеріали відеозйомки ПРХ дозволяють діагностувати ситуацію під час надзвичайної екологічної ситуації і визначати об'єкти, що знаходяться в умовах максимального ризику. ДПЛА можуть відігравати важливу роль також і в ліквідації надзвичайної екологічної ситуації.

Отже, інтеграція аерокосмічних систем екологічного спостереження і методів оброблення екологічної інформації забезпечує швидке та порівняно дешево вирішення багатьох завдань екологічного управління.

ДПЛА можуть виконувати тривалі та багаторазово повторювані місії, однак невизначеність і спотворення зображень через вібрації і турбулентність, а також неможливість точного вимірювання параметрів, потрібних для прийняття рішень, є істотними недоліками цього підходу. Істотним є також той факт, що використання ДПЛА для моніторингу дає змогу діагностувати екологічну ситуацію тільки під час спостереження, але не надає можливості прогнозу-

вання ПРХ для оцінки майбутньої екологічної ситуації. Тому перспективним напрямком є комбінація моніторингу і моделі поширення ПРХ, яка дозволяє прогнозувати динаміку ПРХ для оцінки майбутнього ризику. Це, у свою чергу, надає також можливість уточнення моделі, якщо результати моніторингу розбігаються із її вихідними показниками.

Огляд наявних досліджень практичного і прикладного характеру, спрямованих на управління екологічною безпекою в умовах надзвичайних ситуацій, показує, що більшість нинішніх підходів орієнтована на вирішення задач у межах певної території та обмежена розглядом певних видів надзвичайних ситуацій. Винятком є проєкт MATRIX, присвячений розробці узагальненої методології оцінки ризику, що застосовується для різних надзвичайних ситуацій [9].

Аналіз методологій оцінки ризику, покладених в основу розглянутих проєктів, показав, що більшість із них прив'язана до певної території та використовує для оцінки ризику імовірнісний підхід, заснований на накопиченні статистичних показників про події, що відбувалися в минулому, а також пов'язана зі значною обчислювальною складністю, внаслідок чого ці методології не можуть застосовуватись у системах реального часу. Не досить уваги приділено оцінці динаміки компонентів ризику в умовах надзвичайних екологічних ситуацій, необхідної у системах реального часу, яку доцільно здійснювати із використанням комбінації моніторингу надзвичайної екологічної ситуації та моделі розповсюдження ПРХ.

3. Технологія використання аерокосмічних технологій для управління екологічною безпекою планової діяльності підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій природного характеру.

Під час моделювання надзвичайних екологічних ситуацій у разі управління екологічною безпекою слід урахувати, що надзвичайні ситуації відрізняються за природою виникнення, інтенсивністю, масштабом поширення, швидкістю розповсюдження, а також за своїм впливом на вразливі об'єкти. Процеси руйнівного характеру і надзвичайні ситуації, які виникають унаслідок цих процесів, можуть мати різні джерела виникнення: природні (геологічні, гідрометеорологічні, біологічні) або антропогенні (деградація природного середовища, технологічні). Кожний ПРХ характеризується місцем виникнення і площею поширення, інтенсивністю, частотою, тривалістю, швидкістю поширення.

Пропонується така класифікація надзвичайних екологічних ситуацій за природою виникнення:

1) надзвичайні ситуації – природні процеси, які можуть створювати руйнівний ефект (деградація ґрунтів, природні пожежі, інфекційна захворюваність людей і сільськогосподарських тварин, землетруси, урагани тощо);

2) надзвичайні ситуації техногенного характеру – ситуації, походження яких пов'язане із технічними об'єктами (вибухи, пожежі, аварії на хімічно небезпечних об'єктах, викиди на радіаційно небезпечних об'єктах, аварії із викидом екологічно небезпечних речовин, обвалення будівель і споруд, аварії на системах життєзабезпечення, транспортні катастрофи тощо);

3) антропогенні надзвичайні ситуації – порушення природних процесів, що виникають унаслідок помилкової або навмисної діяльності людини та мають руйнівний ефект (забруднення атмосфери, збройні конфлікти).

За джерелом виникнення надзвичайні екологічні ситуації поділяють на метеорологічні, геоморфологічні та геологічні (унаслідок аномалій на поверхні Землі), екологічні (відносяться до флори і фауни), технологічні, глобальні (відносяться до навколишнього середовища у глобальному масштабі) та позаземні (таблиця 1).

За масштабом поширення надзвичайні екологічні ситуації можуть охоплювати локальні ділянки місцевості (такі як паводки, зсуви) або цілі регіони і навіть континенти, такі як посухи або процеси, пов'язані зі зміною клімату.

Комп'ютерні моделі надзвичайних екологічних ситуацій є обов'язковою компонентою систем підтримки прийняття управлінських екологічних рішень в умовах управління екологічною безпекою.

Існує підхід до вирішення цієї задачі із застосуванням методів статистичного аналізу для ретроспективних баз даних. Для побудови таких моделей потрібен великий обсяг статистичних показників, які описують спостережувані в минулому реальні надзвичайні екологічні ситуації. Однак нерепрезентативність і неточність статистичних параметрів, пов'язаних із виникненням і розповсюдженням процесів руйнівного характеру, а також недостатня точність вимірювання екологічних параметрів зовнішнього середовища перешкоджають отриманню достовірних прогнозів, що знижує цінність самостійного застосування статистичних підходів. Показники, які описують площі та периметри райо-

нів надзвичайних екологічних ситуацій, мають дуже грубе наближення, а великі часові інтервали між спостереженнями можуть спотворювати важливі деталі того, як надзвичайна ситуація змінюється протягом певного періоду. Особливо це стосується надзвичайних ситуацій, які швидко поширюються.

Нині є певні успіхи у побудові теоретичних моделей надзвичайних екологічних ситуацій, але водночас залишається низка проблем: неповноцінне аналітичне вивчення відповідних крайових задач та обмежена кількість еталонних рішень, отриманих для гранично спрощених умов; відсутність загального обґрунтування прийнятих у моделях математичних описів; необхідність розроблення нових чисельних методів вирішення крайових задач, що виникають, і підвищення швидкодії алгоритмів розрахунку за теоретичними моделями.

Технологія управління екологічною безпекою планової діяльності і підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій природного характеру повинна ґрунтуватися на визначенні екологічних загроз та ризиків. Водночас ризик прийнято визначати у вигляді комбінації імовірності виникнення і наслідків невизначених майбутніх подій [3-6].

Незважаючи на те, що термінологія, пов'язана з ризиком, пройшла довгий шлях еволюції і має свої традиції, вона донині є спірною. Зокрема, до теперішнього часу немає однозначного визначення терміну «ризик» і пов'язаних із ним понять, таких як «небезпека», «загроза». Більшість дослідників під час оцінки ризику основну увагу приділяють збиткам, описуючи ризик переважно як взаємозв'язок фізичної імовірності виникнення руйнівного процесу або явища і потенційного збитку, який вони наносять людям і навколишньому середовищу.

Іноді ризик представлено як комбінацію невідзначеності, пов'язану із виникненням надзвичайної ситуації, та збитків. Ризик також може визначатись як кількісна міра наслідків виникнення небезпеки, яка встановлюється за допомогою умовної імовірності виникнення збитків. Відомий підхід, коли ризик визначається як імовірність того, що певне несприятливе явище виникне протягом певного періоду часу [3]

Таблиця 1

Класифікація надзвичайних екологічних ситуацій за джерелом виникнення

Метеорологічні	Геоморфологічні та геологічні	Екологічні	Технологічні	Глобальні	Позаземні
Посуха Пилова буря Повінь Ураганний вітер Гроза Град Торнадо Циклон Аномальна спека Холодний атмосферний фронт	Землетрус Цунамі Виверження вулкану Зсув Сніговий обвал Просідання порід Берегова ерозія	Хвороба сільськогосподарських культур Хвороба тварин Зараження комахами Лісова пожежа Зникнення коралових рифів Пестициди	Збройний конфлікт Наземні міни Автомобільна катастрофа Хімічна аварія Витік нафти Забруднення води, ґрунту, повітря	Кислотний дощ Забруднення атмосфери Глобальне потепління Підвищення рівня моря Виснаження озонового шару	Падіння астероїду

Міжнародне товариство з аналізу ризику (Society for Risk Analysis) дає такі визначення терміну «ризик» [9]:

1) ризик – це потенціал здійснення небажаних і несприятливих наслідків для людського життя, здоров'я, майна або навколишнього середовища;

2) оцінка ризику заснована на очікуваному значенні умовної імовірності виникнення події, помноженої на наслідки події за умови, що ця подія сталася.

Виходячи із зазначених вище визначень, будь-який ризик пов'язаний із потенційними наслідками впливу небажаного явища. У всіх перерахованих вище роботах збитку приділяється головна увага, проте питання його теоретичного опису не отримало належної уваги. Такі поняття, як збиток і несприятливі наслідки явно чи неявно припускають певну цінність, яка приписується об'єктам, що знаходяться під впливом небезпечного явища.

Схему врахування екологічного ризику у системі управління екологічною безпекою планової діяльності представлено на рис. 2.

Треба відзначити певні обмеження робіт із оцінки ризику, заснованих на вразливості. Вразливістю є здатність об'єкта руйнуватися в умовах надзвичайної екологічної ситуації. Однак існує ще одна характеристика об'єкта, протилежна вразливості, яку можна

назвати функціональною стійкістю. Функціональна стійкість дозволяє екологічному об'єкту зберігати цінність в умовах надзвичайних екологічних ситуацій. Сукупний вплив вразливості і функціональної стійкості виражається у зміні цінності об'єкта у відповідь на вплив надзвичайної ситуації.

Для оцінки екологічних ризиків можуть застосовуватися такі підходи [3-8]: кількісна оцінка ризику; підхід на основі дерев подій; підхід на основі матриці ризиків; підхід на основі індикаторів.

Перші два методи є кількісними, останні два – якісними. Кількісний підхід до оцінки екологічного ризику заснований на статистичній обробці показників і вимагає знання ймовірностей виникнення надзвичайної екологічної ситуації та охоплення певної ділянки цим процесом. Унаслідок складності отримання значущої статистичної вибірки вона відбирається на великій ділянці місцевості (часто у масштабі країни) і за великий проміжок часу (10-100 років), компенсуючи непрезентативність.

Недостатню кількість статистичних показників зазвичай компенсують використанням методів імітаційного моделювання, пов'язаних із високою обчислювальною складністю.

Оцінка ризику, отримана за допомогою такого підходу, є статичною величиною. Сумарний ризик оцінюється за допомогою виразу [3]:

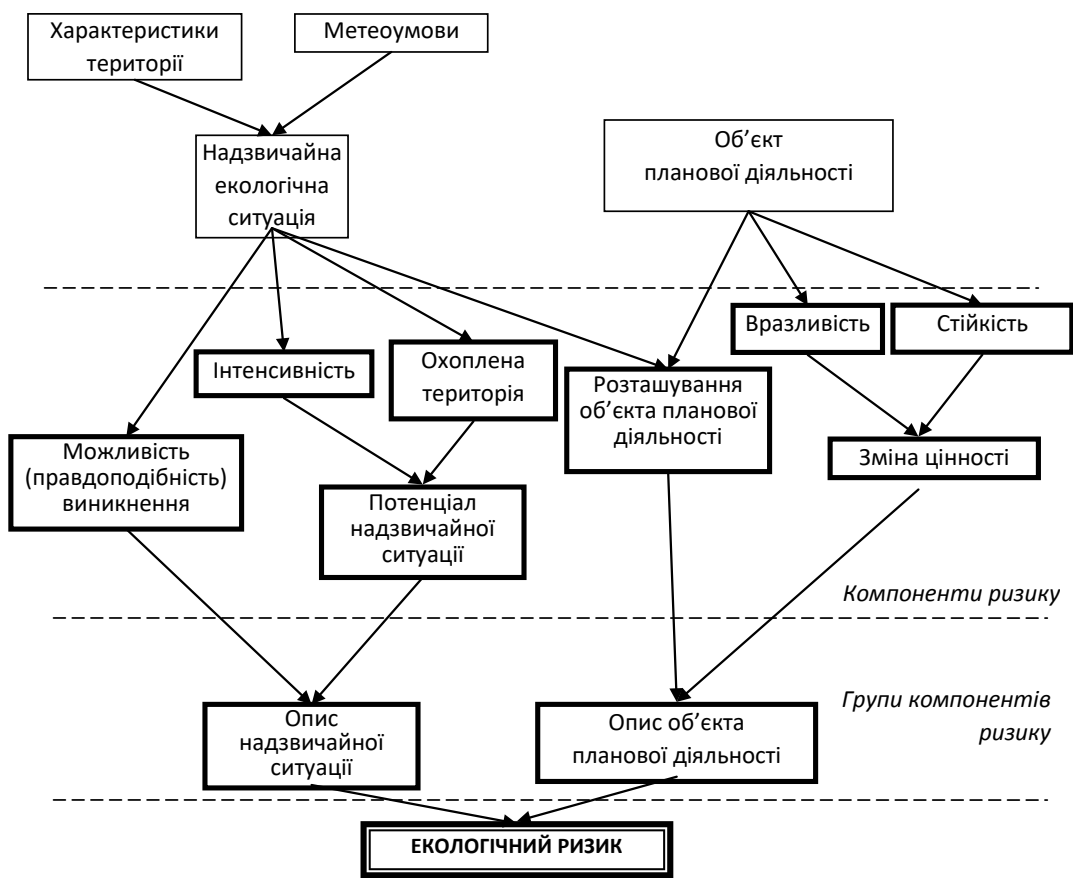


Рис. 2. Структура екологічного ризику

$$Risk = \sum_{\text{всі сценарії}} \left(\int_{P_T=0}^{P_T=1} P_{(T|HS)} * \left(\sum_{\text{всі ЦО}} \left(P_{(s|HS)} * \left(A_{(ЦО|HS)} * V_{(ЦО|HS)} \right) \right) \right) \right),$$

де $P_{(T|HS)}$ – часова ймовірність певного сценарію надзвичайної ситуації (HS), під яким розуміють надзвичайну екологічну ситуацію певного типу (наприклад, пожежа, повінь тощо) певної частоти;

$P_{(s|HS)}$ – просторова ймовірність того, що певна територія буде охоплена певним сценарієм надзвичайної екологічної ситуації;

$A_{(ЦО|HS)}$ – цінність об'єктів, схильних до негативного впливу певного сценарію надзвичайної ситуації;

$V_{(ЦО|HS)}$ – вразливість об'єктів, які знаходяться в зоні ризику, для певного сценарію надзвичайної ситуації (значення від 0 до 1).

Кількісний метод може успішно використовуватися для попередження надзвичайних екологічних ситуацій, але для підтримки прийняття рішень у системах реального часу, де рішення приймаються в умовах ліміту часу, такий метод не може бути застосований.

Одним із поширених методів оцінки ризику є дерева подій, які дозволяють моделювати послідовність останніх, формуючи структури будь-якого рівня складності. Аналіз із використанням дерев подій може використовуватися для оцінки мультиризик у умовах декількох надзвичайних ситуацій, які слідує один за одним («ефект доміно»). Недоліком дерев подій є те, що події не прив'язані до місцевості. Водночас метод є доволі гнучким і має великий потенціал для розвитку. Прив'язка подій до місцевості дозволила б моделювати динаміку просторово розподілених надзвичайних екологічних ситуацій. Такі моделі можуть доповнюватися з урахуванням різних способів оцінки невизначеності (імовірнісних, нечітких, наближених тощо).

Підхід на основі матриці екологічного ризику дозволяє оцінювати ризик із використанням певних класів замість точних значень, тим самим дозволяючи подолати проблему кількісного підходу в умовах недостатньої репрезентативності вибірки. Матриці ризику будують на основі експертних знань, вони дозволяють класифікувати ділянки місцевості за ступенем ризику на основі інформації про частоту надзвичайних екологічних ситуацій та очікувані збитки. Слід зазначити, що оцінка такої частоти не завжди є однозначною, оскільки на тій самій ділянці можуть бути зіставлені різні комбінації частоти надзвичайних ситуацій та очікуваних збитків. Ефективність застосування методу залежить від компетентності експертів, які формують сценарії надзвичайної екологічної ситуації, а також ранжирують їх за частотою і можливим збитком. Цей метод також не дозволяє отримувати кількісні значення оцінки ризику.

Підхід на основі індикаторів використовується у випадках, коли кількісні методи не можуть застосовуватися за відсутності вхідних показників. Такий

підхід дозволяє здійснювати всебічну оцінку ризику, враховуючи додаткові компоненти, такі як соціальний, економічний чинники, а також уразливість об'єктів, що знаходяться в зоні ризику. Із множини компонентів формується дерево, кожному вузлу якого присвоюється вага. Недоліком підходу є те, що підсумкова оцінка ризику є відносною і не відображає інформацію про очікувані збитки [6].

Наведений огляд методів оцінки ризику у СППР дозволяє зробити висновок про те, що наявні підходи дозволяють отримувати статичну оцінку ризику лише на етапі, який є попереднім для надзвичайних екологічних ситуацій, і практично не придані до застосування у системах реального часу. Більшість методів, що використовуються нині для оцінки ризику, є кількісними, заснованими на статистичному аналізі показників. Унаслідок того, що достатню кількість статистичних параметрів, які описують реальні надзвичайні екологічні ситуації, складно зібрати, вибірка береться на великій ділянці місцевості та за великий проміжок часу. Нерепрезентативність вибірки компенсується методами імітаційного моделювання, пов'язаними із проведенням численних обчислювальних експериментів. Зокрема, для обчислення ймовірності виникнення надзвичайної екологічної ситуації часто використовується метод Монте-Карло. Методи кількісної оцінки ризику мають істотний недолік – велику обчислювальну складність.

Оцінка ризику вимагає великої кількості кроків обробки географічної інформації, на кожному з яких потрібно обчислити характеристики ПРХ і вразливість складних екологічних об'єктів. Великий обсяг обчислень створює потенціал для помилок, а час, який витрачається на обчислення, ускладнює використання таких оцінок у СППР реального часу. Внаслідок цього оцінка ризику є статичною величиною, яка розраховується заздалегідь, до початку надзвичайної екологічної ситуації, і може бути використана для попередження надзвичайної ситуації. Але для підтримки прийняття рішень у системах реального часу, де про ймовірності не йдеться, а рішення приймаються в умовах ліміту часу, такий метод застосувати неможливо.

Тому перспективним науковим напрямом є розроблення ефективних ризик-орієнтованих геоінформаційних систем підтримки прийняття управлінських екологічних рішень в умовах процесів руйнівного характеру, діючих в реальному часі. Перспективні системи управління екологічною безпекою планової діяльності будуть здатними:

- приймати рішення за мінімальний проміжок часу, обмеженого внаслідок високої динаміки ситуації, а також значного обсягу різнобічної вхідної інформації, частина якої є невизначеною, висуває завдання, вирішення яких перевищує фізіологічні можливості ОПР;



Рис. 3. Актуальність управління екологічною безпекою планової діяльності за допомогою інтегрованих автоматизованих систем

- забезпечувати достатню деталізацію розподіленої у просторі оцінки ризику, що потрібно для прийняття обґрунтованих рішень у СППР реального часу;
 - забезпечувати динамічну реакцію ОПР в умовах швидкоплинних надзвичайних екологічних ситуацій.

Отже, актуальність управління екологічною безпекою планової діяльності за допомогою інтегрованих автоматизованих систем визначається необхідністю усунення протиріч між недоліками наявних методів оцінки екологічного ризику та вимогами до систем підтримки прийняття управлінських екологічних рішень у реальному часі (рис. 3).

Висновки. Здійснено аналіз наявних систем підтримки прийняття рішень в інтегрованих автоматизованих системах управління екологічною безпекою. Визначено, що формування інтегрованих автоматизованих систем управління екологічною безпекою доцільно здійснювати на основі ризик-орієнтованої підтримки прийняття екологічних рішень. Запропоновано класифікацію процесів руйнівного характеру в екосистемах для застосування в інтегрованих автоматизованих системах управління екологічною безпекою планової діяльності. Обґрунтовано, що інтегровані автоматизовані системи управління екологічною безпекою доцільно будувати із використанням моделей і методів ризик-орієнтованої підтримки прийняття рішень в умовах виявлення екологічних загроз і ризиків. Інтегровані автоматизовані системи є відкритими складними динамічними сис-

темами, які містять сукупність природних і штучних картографічних об'єктів і серед яких виділяються певні екологічні об'єкти, що представляють цінність для людини.

Для прийняття рішень у природно-техногенних системах в умовах виявлення екологічних загроз та ризиків доцільно аналізувати значні обсяги неповної і неточної інформації, яка швидко змінюється в часі, за істотних обмежень часу на оцінку обстановки і прийняття рішення, що дозволяє віднести природно-техногенні системи до класу слабо структурованих складних динамічних систем, а проблему підтримки прийняття рішень – до класу складних і важко формалізованих проблем. Необхідність прийняття рішень під час планової діяльності за короткий проміжок часу, зумовлена високою динамікою розвитку ситуацій і значним обсягом різнобічної вхідної інформації, частина якої є невизначеною, визначає завдання, для вирішення яких потрібні значні фізіологічні можливості особи, що приймає рішення. Застосування наявних методик оцінки екологічних загроз та ризиків, заснованих на статистичних методах із використанням імітаційних моделей, пов'язано із неприйнятною обчислювальною складністю, що є неприпустимою у системах підтримки прийняття рішень реального часу.

Визначено, що для підвищення своєчасності, обґрунтованості та ефективності рішень в інтегрованих автоматизованих системах під час здійснення

підтримки прийняття рішень у реальному часі варто використовувати динамічні моделі екологічних загроз та ризиків на основі просторово розподіленої моделі територіальної системи та моделі процесів

руйнівного характеру, що розвивається у її межах, які враховують вплив навколишнього середовища та рішення особи, уповноваженої приймати їх, а також забезпечують достатню деталізацію у просторі і часі.

Література

1. Закон України «Про оцінку впливу на довкілля». Відомості Верховної Ради (ВВР). 2017. № 29, ст.315. Із змінами, внесеними згідно із Законами № 199-IX від 17.10.2019, ВВР, 2019, № 51, ст. 377, № 733-IX від 18.06.2020 р.
2. Закон України «Про стратегічну екологічну оцінку», який вступив у дію 20 жовтня 2018 року за № 2354-VIII.
3. Машков О. А., Іващенко Т.Г., Денисенко І. Ю. Застосування системного підходу до проведення оцінки та вивчення еколого-техногенного стану зони відчуження та розроблення рекомендацій щодо природно-ресурсного відновлення на екологічних засадах. Монографія. Київ : Основа, 2021. 80 с.
4. Іващенко Т.Г. Стратегічна екологічна оцінка документів державного планування: Монографія. Під загальною науковою редакцією д.б.н. Г. Г. Шматкова. Київ : Основа. 2021. 60 с.
5. Бондар О.І., Машков О.А., Міхєєв В.С. Системний підхід щодо створення системи підтримки екологічних рішень для забезпечення екологічної безпеки держави. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. 2020. № 3(30). С. 30-38.
6. Машков О.А., Іващенко Т.Г. Проблеми управління екологічною безпекою планованої діяльності за допомогою систем підтримки прийняття управлінських інформаційних екологічних рішень. *Науковий часопис Академії національної безпеки*. 2020. №3-4 (27-28). С. 7-34.
7. Машков О.А., Іващенко Т.Г., Мухіна К.Є. Застосування аерокосмічних технологій при управлінні екологічною безпекою планованої діяльності за допомогою інтегрованих автоматизованих систем. *Науковий часопис Академії національної безпеки*. 2021. №1-2 (29-30). С. 4-27.
8. Mashkov O., Zhukauskas S., Nigorodova S., Kosenko V. Innovative approaches of using the methods for remote sensing of the earth for monitoring the ecological-technical condition of water ecosystems. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. 2019. № 3(26). С.115-125.
9. Экологический аудит. Не только для имиджа. *INVESTGAZETA.DELO.UA* URL: <http://www.investgazeta.net/praktika/ekologicheskij-audit.-ne-tolko-imidzha-161171>.

ВПЛИВ ТРАНСПОРТНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ЕЛЕМЕНТНИЙ СКЛАД ҐРУНТУ У ПРИМІСЬКІЙ ЗОНІ М. ЛЬВОВА

Поліщук О.І., Антоняк Г.Л.

Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Сакаганського, 1, 79005, м. Львів
oleksandr.polishchuk@lnu.edu.ua; halyna.antonnyak@lnu.edu.ua

Мета дослідження – з'ясування рівня транспортного навантаження та елементного складу ґрунту на приміській території м. Львова, прилеглої до європейського маршруту E40, та аналіз накопичення потенційно токсичних елементів (As, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Rb, Sr, V, Zn, Zr) у ґрунті залежно від відстані до автотраси. Дослідження проведено на території с. Сокильники Львівського району, де вибрано три ділянки (Д1, Д2 і Д3) на відстані відповідно 100, 50 і 10 м від автотраси E40. Елементний склад ґрунту досліджено методом рентгенофлуоресцентного аналізу за допомогою аналізатора Expert 3L (Україна). Обчислено коефіцієнти забруднення ґрунту окремими елементами і показник поліелементного забруднення; під час оцінки екологічного стану ґрунту враховано значення гранично допустимих концентрацій (ГДК) металів та орієнтовно допустимої концентрації (ОДК) арсену. Результати опрацьовано методами варіаційної статистики. Згідно з результатами досліджень аналізований відрізок автошляху E40 зазнає значного транспортного навантаження (978±91 транспортних засобів за 1 годину), а рівень акумуляції металів у ґрунті залежить від відстані до автотраси. У ґрунті з ділянки Д3 вміст більшості досліджуваних металів досягає вірогідно вищих значень порівняно з ділянкою Д1, водночас найбільші відмінності виявлені за концентрацією Cu, Zn і Sr. Встановлено, що ступінь поліелементного забруднення ґрунту на ділянці Д1 слабкий до помірного, на ділянці Д2 – помірний, а на ділянці Д3 – помірний до сильного. У зразках ґрунту з ділянки Д3 концентрація Cr, Cu, Pb, і Zn перевищувала значення ГДК відповідно у 1,2, 1,9, 4,1 і 2,1 рази, а вміст As – значення ОДК у 1,7 разів. На ділянках Д1 і Д2 концентрація Pb у ґрунті була більшою від значення ГДК відповідно в 1,4 і 1,9 рази. У зразках ґрунту із ділянки Д2 концентрація Cu і Zn досягала значень ГДК, а вміст As перевищував значення ОДК у 1,2 рази. Отримані результати свідчать, що поряд із високим рівнем акумуляції металів у придорожній смузі ґрунту шириною 10 м концентрація низки потенційно токсичних елементів перевищує її безпечний рівень на ділянках, розміщених на відстані 50 і 100 м від автотраси E40, що створює ризик перевищення допустимого вмісту металів у рослинній продукції, вирощеній на прилеглої до автотраси приміській території. *Ключові слова:* метали, ґрунт, екологічна оцінка, автотранспорт.

Influence of transport load on the elemental composition of soil in the suburban area of the city of Lviv. Polishchuk A., Antonyak H.

The aim of the study was to assess the transport load and the elemental composition of the soil in suburban area of the city of Lviv adjacent to the European route E40, and to analyze the accumulation of potentially toxic elements (As, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Rb, Sr, V, Zn, Zr) in the soil depending on the distance from the highway. The study was conducted on the territory of the village of Sokilnyky, where three experimental sites (S1, S2 and S3) were selected at a distance of 100, 50 and 10 m from the E40 highway, respectively. Elemental composition of the soil was investigated by X-ray fluorescence analysis using an Expert 3L analyzer (Ukraine). The coefficients of soil contamination with individual elements and the index of multi-element pollution were calculated. When assessing the ecological state of the soil, the maximum allowable concentrations (MAC) of metals and the approximate permissible concentration (APC) of arsenic were taken into account. The results were processed by methods of variation statistics. According to the results obtained, the analyzed section of the route E40 is subject to a significant traffic load (978±91 vehicles per hour), and the levels of metal accumulation in the soil depend on the distance to the highway. In the soil from site S3, the content of most of the studied metals reached significantly higher values compared to site S1, with the greatest differences found in the concentrations of Cu, Zn, and Sr. The degree of multi-element soil contamination at site S1 was weak to moderate, the S2 site was characterized by a moderate level of contamination, and at site S3, the pollution level was moderate to high. In soil samples from site S3, the concentration of Cr, Cu, Pb, and Zn exceeded the MAC values by 1.2, 1.9, 4.1 and 2.1 times, respectively, and the As content exceeded the APC value by 1.7 times. At sites S1 and S2, the concentration of Pb in the soil was 1.4 and 1.9 times higher than the MAC value, respectively. In soil samples from site S2, the concentrations of Cu and Zn reached the MAC values, while the content of As exceeded the APC value by 1.2 times. Consequently, along with a high level of metal accumulation in the 10 m wide roadside soil strip, the content of several potentially toxic elements exceeds the safe level in soil areas located at a distance of 50 and 100 m from the highway E40. This creates a risk of exceeding the permissible content of metals in plant products grown in suburban area adjacent to highway. *Key words:* metals, soil, environmental assessment, motor transport

Постановка проблеми. Автомобільний транспорт – одне із головних антропогенних джерел забруднення навколишнього середовища у містах і приміських районах [1–4]. На території України на автотранспорт припадає у середньому 34 % від загального об'єму викидів забруднювальних речовин в атмосферу, однак у багатьох містах рівень надходження у повітря шкідливих речовин від тран-

спортних засобів більший, ніж викиди зі стаціонарних джерел [5–7]. Значна частина поллютантів накопичується у педосфері.

Актуальність дослідження. До найпоширеніших груп забруднювачів, пов'язаних із діяльністю автотранспорту, належать метали і металоїди. Потрапляючи в атмосферу з вихлопними газами автомобілів, сажею та пилом, ці поллютанти у складі

аерозолів переміщуються з потоками повітря на поверхню ґрунту, рослинний покрив і водні об'єкти насамперед на територіях, прилеглих до автомобільних доріг [7–10]. З огляду на це актуальними є дослідження екологічного стану ґрунту на приміських ділянках, розташованих поблизу автотрас із інтенсивним транспортним навантаженням.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Виконане наукове дослідження є фрагментом науково-дослідної роботи кафедри екології Львівського національного університету імені Івана Франка «Екологічний моніторинг абіотичних і біотичних компонентів середовища в умовах антропогенно-техногенного впливу на довкілля» (№ державної реєстрації 0119U002396).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Збільшення кількості приватних автомобілів та інтенсивності вантажних і пасажирських автоперевезень, яке спостерігають упродовж останнього десятиріччя, зумовлює зростання рівня забруднення компонентів довкілля в урбанізованих районах України і світу [3; 6; 7; 10]. Забруднення металами призводить до погіршення екологічного стану педосфери, спричинює зміни видового складу ґрунтової біоти і наземних фітоценозів. Техногенне забруднення ґрунту призводить до його деградації, зменшення родючості і біологічної активності, пригнічення процесів нітрифікації, зниження рівня гумусу та вологи [11]. За умов вирощування рослин на забруднених ґрунтах метали можуть накопичуватися в аграрній продукції, що становить загрозу здоров'ю людей [12–14].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. У низці наукових праць встановлено високий рівень техногенного забруднення ґрунтів та інших компонентів довкілля на території промислових міст [1; 3; 4; 7; 15; 16]. Значно менш дослідженим є екологічний стан педосфери на приміських територіях, прилеглих до автомобільних доріг, однак наявні відомості про забруднення металами сільськогосподарської продукції, яку вирощують у приміських населених пунктах [17–19].

У попередніх дослідженнях встановлено значний рівень акумуляції металів у дикорослих рослинах, зібраних поблизу автомобільних шляхів у м. Львові та на приміській території, прилеглий до європейського маршруту E40 [20]. Метою цієї роботи є оцінка рівня транспортного навантаження і вивчення елементного складу ґрунту приміських ділянок, розташованих у зоні впливу автомобільного руху на автотрасі E40.

Новизна. Під час дослідження вперше з'ясовано елементний склад ґрунту на приміській території м. Львова, прилеглий до європейського маршруту E40, проаналізовано та доведено особливості накопичення потенційно токсичних елементів (As, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Rb, Sr, V, Zn, Zr) у ґрунті залежно від відстані до автотраси.

Методологічне та загальнонаукове значення. Результати досліджень акумуляції металів і металоїдів у ґрунті мають важливе значення під час комплексної екологічної оцінки стану компонентів довкілля у зоні впливу транспортного руху як джерела забруднення педосфери. Особливості забруднення ґрунту металічними елементами на різній відстані від автотрас із високим рівнем транспортного навантаження потрібно враховувати під час вирощування аграрної продукції на приміських територіях.

Викладення основного матеріалу. Дослідження здійснювали на території с. Сокільники Львівського району, яке межує із південно-західною частиною м. Львова. У фізико-географічному аспекті територія розташована в межах Опільського горбогір'я (Львівське плато) Західного лісостепу. На території дослідження переважають ясно-сірі та сірі опідзолені ґрунти.

Із метою аналізу елементного складу ґрунту ми вибрали три ділянки відбору зразків (Д1, Д2 і Д3), розміщені відповідно на відстані 100, 50 і 10 м від Європейського маршруту E40 (кільцева дорога м. Львова). Проби ґрунту на зазначених ділянках відбирали методом конверта 1 × 1 м, глибина відбору зразків становила 0–20 см. Відбір ґрунту і підготовку зразків до аналізу здійснювали, використовуючи загальноприйняті методи [21]. Елементний склад ґрунту досліджували методом рентгенофлуоресцентного аналізу [22] за допомогою аналізатора Expert 3L (Україна). У зразках аналізували концентрацію арсену (As), хрому (Cr), купруму (Cu), феруму (Fe), мангану (Mn), ніобію (Nb), нікелю (Ni), плюмбуму (Pb), рубідію (Rb), стануму (Sn), стронцію (Sr), титану (Ti), ванадію (V), ітрію (Y), цинку (Zn) і цирконію (Zr).

Коефіцієнти забруднення ґрунту потенційно токсичними елементами на ділянках, прилеглих до автотраси E40, обчислювали за формулою: $K_s = C_a / C_\phi$, де C_a – концентрація окремого елемента у досліджуваних зразках ґрунту (мг/кг), C_ϕ – фонові концентрації цього елемента у незабруднених ґрунтах (мг/кг) [12]. В якості фонових концентрацій As, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Rb, Sr, V, Zn і Zr використовували еталонні значення, наведені у праці [23]. Рівень забруднення ґрунту кожним із цих елементів оцінювали за значеннями K_s , а саме: $K_s < 1$ – низький рівень забруднення; $1 \leq K_s < 3$ – помірний рівень забруднення; $3 \leq K_s < 6$ – високий рівень забруднення; $K_s \geq 6$ – дуже високий рівень забруднення [24].

Показник забруднення (ПЗ), що характеризує загальний рівень акумуляції у ґрунті досліджуваних елементів (n), розраховували за формулою: $ПЗ = (K_{s1} \times K_{s2} \times \dots \times K_{sn})^{1/n}$, де K_{s1} , K_{s2} і т.д. – коефіцієнти забруднення, обчислені за кожним із елементів, n – загальна кількість аналізованих елементів [12]. Ступінь поліелементного забруднення ґрунту на ділянках Д1–Д3 визначали за категоріями: відсутність забруднення (ПЗ = 0); слабе до помірного забруднення ($0 < ПЗ \leq 1$); помірне забруднення

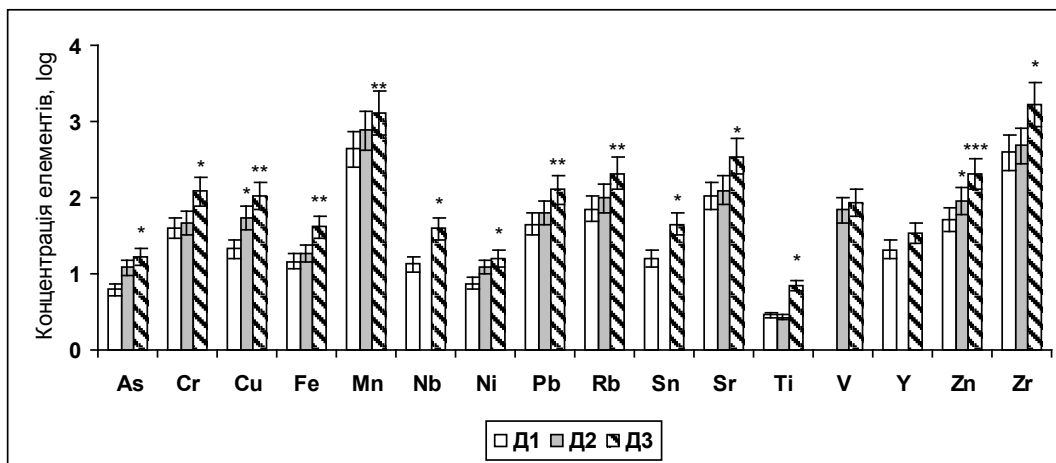


Рис. 1. Концентрація аналізованих елементів у зразках ґрунту із ділянок Д1–Д3, вибраних на різній відстані від автотраси Е40

Примітки: 1) для зручності результати виражені у логарифмах значень, обчислених для Fe і Ti у г/кг сухої маси зразків, а для інших елементів – у мг/кг сухої маси; 2) *, **, *** – вірогідні різниці між умістом елементів на ділянках Д2 і Д3 порівняно із ділянкою Д1 (* – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$).

($1 < ПЗ \leq 2$); помірне до сильного забруднення ($2 < ПЗ \leq 3$); сильне забруднення ($3 < ПЗ$) [25].

Окрім того, під час оцінки рівня забруднення ґрунту враховували значення гранично допустимих концентрацій (ГДК) валових форм Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V і Zn та орієнтовно допустиму концентрацію (ОДК) валової форми As [26§ 27].

Інтенсивність автотранспортного навантаження на відрізку автотраси, суміжному з аналізованими ділянками ґрунту, досліджували методом підрахунку транспортних засобів різного типу за методикою [28].

Результати опрацьовували методами варіаційної статистики [29].

Згідно з отриманими результатами, відрізок автотраси Е40, який пролягає на приміській території м. Львова, характеризується високим рівнем транспортного навантаження. Показник інтенсивності транспортного руху тут становить 978 ± 91 транспортних засобів за 1 годину і загалом співпадає з таким на інших автошляхах у межах м. Львова

[3, 20]. Інтенсивне транспортне навантаження спричинює забруднення суміжних із автотрасою ґрунтів металічними елементами, на що вказують результати аналізу елементного складу ґрунту на ділянках Д1–Д3, прилеглих до автотраси Е40 (рис. 1).

За середніми значеннями концентрації у ґрунті із трьох ділянок проаналізовані у цій роботі елементи можна розмістити в такому порядку: $Fe > Ti > Mn > Zr > Sr > Zn > Rb > Pb > V > Cr > Cu > Sn > Y > Nb > Ni > As$. Однак ґрунт із ділянки Д3, розташований на відстані 10 м від автотраси, характеризується більшим вмістом металів порівняно з іншими ділянками. Насамперед це стосується купруму, цинку і стронцію, концентрація яких у ґрунті з ділянки Д3 перевищує показники, характерні для ґрунту з ділянки Д1 (100 м від автотраси), відповідно у 4,85 ($p < 0,01$), 3,86 ($p < 0,001$) і 3,32 разів ($p < 0,05$). Концентрація таких елементів, як As, Cr, Fe, Mn, Nb, Pb, Rb, Sn, Ti і Zr у ґрунті з ділянки Д3 є більшою, ніж із ділянки Д1, у 1,8–3,0 рази ($p < 0,05–0,01$). Під час аналізу кон-

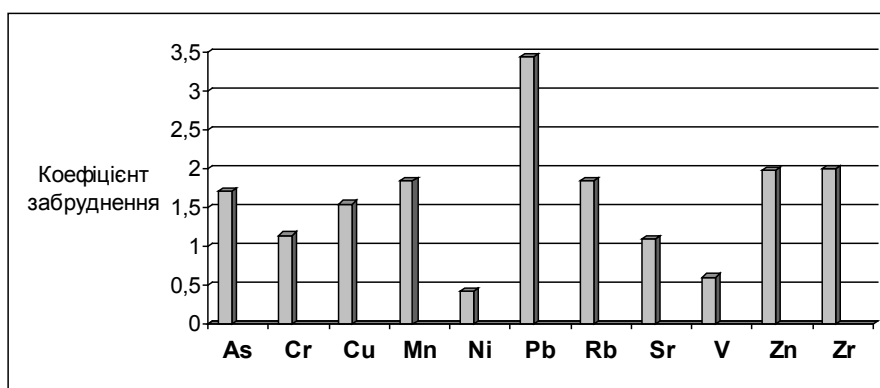


Рис. 2. Середні значення коефіцієнтів забруднення (K_z) ґрунту потенційно токсичними елементами на ділянках, прилеглих до автотраси Е40

Таблиця 1

Показник і ступінь поліелементного забруднення ґрунту на ділянках, розташованих на різній відстані від автоtrasи E40

Аналізований показник	Д1 (100 м від автоtrasи)	Д2 (50 м від автоtrasи)	Д3 (10 м від автоtrasи)	Середнє значення
Показник забруднення ґрунту	0,789	1,127	2,079	1,390
Ступінь забруднення ґрунту	забруднення слабке до помірного ($0 < ПЗ \leq 1$)	помірне забруднення ($1 < ПЗ \leq 2$)	забруднення помірне до сильного ($2 < ПЗ \leq 3$)	помірне забруднення ($1 < ПЗ \leq 2$)

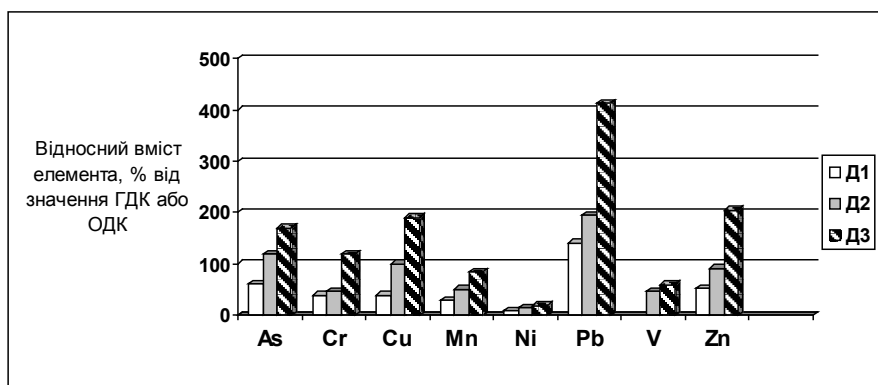


Рис. 3. Вміст металів у ґрунті у відсотках від значень гранично допустимих концентрацій (ГДК), та арсену – у відсотках від значення орієнтовно допустимої концентрації (ОДК) (показники ГДК і ОДК приймали за 100 %)

центрації елементів у ґрунті з ділянки Д2 виявлено, що вміст більшості металів у зразках із цієї ділянки виявляє динаміку до підвищення порівняно з ділянкою Д1, а вірогідні різниці виявлені щодо концентрації Cu і Zn (відповідно у 2,6 і 1,7 разів, $p < 0,05$).

Із метою аналізу інтенсивності концентрування As, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Rb, Sr, V, Zn і Zr у ґрунті на ділянках Д1–Д3 проведено обчислення коефіцієнтів забруднення (K_z). Середні значення K_z для цих елементів представлені на рис. 2. Із урахуванням показників K_z оцінювали рівень забруднення ґрунту кожним із указаних елементів за відповідними категоріями [24]. Згідно з отриманими результатами значний рівень забруднення ґрунту на території, прилеглої до автоtrasи E40, характерний для Pb ($K_z = 3,44$); помірний рівень забруднення ґрунту виявлено для As, Cr, Cu, Mn, Rb, Sr, Zn і Zr ($1 \leq K_z < 3$), а для Ni і V – низький рівень забруднення (значення K_z становлять відповідно 0,417 і 0,603).

Результати обчислення показника поліелементного забруднення (ПЗ) ґрунту на ділянках Д1–Д3 свідчать, що ступінь забруднення ґрунту на ділянці Д1 слабкий до помірного, на ділянці Д2 – помірний, а на ділянці Д3 – помірний до сильного (табл. 1). За середнім значенням показника ПЗ на ділянках Д1–Д3 ґрунт на території шириною 100 м, прилеглої до автоtrasи E40, характеризується помірним ступенем забруднення.

Із метою детальнішої характеристики екологічного стану ґрунту і ризику накопичення у ньому потенційно токсичних елементів концентрацію Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V і Zn у досліджуваних зразках ми порівнювали зі значеннями ГДК валових форм цих елементів, а концентрацію As – зі значенням ОДК (рис. 3).

Згідно з отриманими результатами у зразках ґрунту із ділянки Д3 концентрація Cr, Cu, Pb, і Zn перевищувала значення ГДК відповідно у 1,2, 1,9, 4,1 і 2,1 рази, а вміст As – значення ОДК у 1,7 разів. На ділянках Д1 і Д2 концентрація більшості металів не перевищувала значень ГДК. Однак вміст Pb на цих ділянках був більшим від значень ГДК відповідно в 1,4 і 1,9 разів, а вміст As на ділянці Д2 перевищував значення ОДК в 1,2 разів. Водночас концентрація Cu і Zn у ґрунті ділянки Д2 була майже рівною зі значеннями ГДК цих елементів. Такі результати зумовлені атмосферним розповсюдженням As, Cu, Pb і Zn на більшу відстань від автоtrasи порівняно з іншими аналізованими елементами. Відомо, що ці елементи входять до складу дрібнодисперсних аерозольних частинок, здатних мігрувати з повітряними потоками на значну відстань від джерела емісії [30; 31]. Водночас результати дослідження вказують на ризик забруднення металами і металоїдами рослинних продуктів за умови їх вирощування на приміських територіях, прилеглих до автоtras.

Головні висновки. Отримані результати свідчать, що інтенсивний транспортний рух на відрізку європейського шляху Е40, який проходить приміською територією м. Львова, є істотним джерелом забруднення ґрунту металами та металоїдом арсеном. Найбільший рівень акумуляції поллютантів у ґрунті виявлено на ділянці, розташованій на відстані 10 м від автотраси. На ділянках, вибраних на відстані 50 і 100 м від автошляху Е40, виявлено перевищення допустимих рівнів забруднення ґрунту арсеном і плумбумом; водночас вміст Cu і Zn у ґрунті на

відстані 50 м від автотраси досягає значень показників ГДК. Такі результати свідчать про ризик для організму людини за умови вирощування рослинної продукції на приміських територіях, розташованих на відстані 50 і 100 м від автотрас.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження можуть служити основою для екологічної оцінки стану ґрунтів приміських територій і з'ясування рівня накопичення металів у рослинних продуктах, вирощених на суміжних з автомобільними шляхами територіях.

Література

- Liu E., Yan T., Birch G., Zhu Y. Pollution and health risk of potentially toxic metals in urban road dust in Nanjing, a mega-city of China. *Sci. Total Environ.* 2014. Vol. 476–477. P. 522–531.
- Chen R.H., Wang B.Q., Wang Z.B., Yao S. The pollution character analysis and risk assessment for metals in dust and PM10 around road from China. *Biomed. Environ. Sci.* 2015. Vol. 28 (1). P. 44–56.
- Polishchuk A., Lesiv M., Antonyak H. Road transport in Ukraine: the impact of heavy traffic loads on the environment. *Acta Carpathica.* 2019. Vol. 31–32. P. 16–24.
- Adimalla N. Heavy metals pollution assessment and its associated human health risk evaluation of urban soils from Indian cities: a review. *Environ Geochem. Health.* 2020. Vol. 42 (1). P. 173–190.
- Васькін Р.А., Васькіна І.В. Аналіз динаміки забруднення атмосферного повітря України викидами автотранспорту. *Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського.* 2009. Вип. 5 (58), Ч. 1. С. 109–112.
- Першаков В.М., Белятинський А.О., Степанчук О.В., Кротов Р.В. Дослідження транспортних потоків в аспектах заторових станів дорожнього руху : монографія. Київ : НАУ, 2015. 177 с.
- Antonyak H., Mamchur Z., Polishchuk A., Lesiv M., Hoivanovych N. Environmental impact of road transport. *Sustainable Development and Human Health / A. Krynski, G.K. Tebug, S. Voloshanska. Czestochowa: Publishing House of Polonia University "Educator",* 2020. P. 61–74.
- Awofolu O.R. Impact of automobile exhaust on levels of lead in a commercial food from bus terminals. *J. Appl. Sci. Environ. Manag.* 2004. Vol. 8. P. 23–27.
- Adamiec E., Jarosz-Krzemińska E., Wieszała R. Heavy metals from non-exhaust vehicle emissions in urban and motorway road dusts. *Environ. Monit. Assess.* 2016. Vol. 188. P. 369.
- Yaylali-Abanuz G. Application of multivariate statistics in the source identification of heavy-metal pollution in roadside soils of Bursa, Turkey. *Arabian Journal of Geosciences.* 2019. Vol. 12. P. 382.
- Mishra R.K., Mohammad N., Roychoudhury N. Soil pollution: Causes, effects and control. *Van Sangyan.* 2016. No 3 (1). P. 1–14.
- Antoniadis V., Shaheen S.M., Boersch J., Frohne T., Du Laing G., Rinklebe J. Bioavailability and risk assessment of potentially toxic elements in garden edible vegetables and soils around a highly contaminated former mining area in Germany. *J. Environ. Manag.* 2017. Vol. 186 (2). P. 192–200.
- Onakpa M.M., Njan A.A., Kalu O.C. A review of heavy metal contamination of food crops in Nigeria. *Ann. Glob. Health.* 2018. Vol. 84 (3). P. 488–494.
- Zhao X., Li Z., Wang D., Li J., Zou B., Tao Y., Lei L., Qiao F., Huang J. Assessment of residents' total environmental exposure to heavy metals in China. *Sci. Rep.* 2019. Vol. 9 (1). 16386. DOI: 10.1038/s41598-019-52649-w
- Wei B., Yang L. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. *Microchem. J.* 2010. Vol. 94. P. 99–107.
- Hong N., Guan Y., Yang B., Zhong J., Zhu P., Ok Y.S., Hou D., Tsang D.C.W., Guan Y., Liu A. Quantitative source tracking of heavy metals contained in urban road deposited sediments. *J. Hazard Mater.* 2020. Vol. 393. 122362. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.122362.
- Hu X., Ding Z. Lead/cadmium contamination and lead isotopic ratios in vegetables grown in peri-urban and mining/smelting contaminated sites in Nanjing, China. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 2009. Vol. 82 (1). P. 80–84.
- Li F.L., Liu C.Q., Yang Y.G., Bi X.Y., Liu T.Z., Zhao, Z.Q. Natural and anthropogenic lead in soils and vegetables around Guiyang city, southwest China: Pb isotopic approach. *Sci. Total Environ.* 2012. Vol. 431. P. 339–347.
- Bing H., Xiang Z., Zhu H., Wu Y. Spatiotemporal variation and exposure risk to human health of potential toxic elements in suburban vegetable soils of a megacity, SW China, 2012–2016. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2018. Vol. 25 (5). P. 4223–4237.
- Поліщук О., Лесів М., Антоняк Г. Вплив транспортного навантаження на акумуляцію металів у рослинах на території міста Львова. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна.* 2020. Вип. 82. С. 101–109.
- ДСТУ ISO 10381-1:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. Ч. 1. Настанови щодо складання програм відбирання проб (ISO 10381-1:2002, IDT).
- Weindorf D.C., Bakr N., Zhu Y. Advances in portable X-ray fluorescence (pXRF) for environmental, pedological, and agronomic applications. *Advances in Agronomy.* 2014. Vol. 128. P. 1–45.
- Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants, 4th edition. CRC Press, Boca Raton. 2011.
- Islam M.S., Ahmed M.K., Al-Mamun M.H. Metal speciation in soil and health risk due to vegetables consumption in Bangladesh. *Environ. Monit. Assess.* 2015. Vol. 187. P. 288–303.

25. Mirzaei M., Marofi S., Solgi E., Abbasi M., Karimi R., Riyahi Bakhtyari H.R. Ecological and health risks of soil and grape heavy metals in long-term fertilized vineyards (Chaharmahal and Bakhtiari province of Iran). *Environ. Geochem. Health*. 2020. Vol. 42 (1). P. 27–43.
26. Методика агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення / За ред. С.М. Рижука, М.В. Лісового, Д.М. Бенцаровського. Київ, 2003. 64 с.
27. Наказ № 1595 МОЗ України «Про затвердження Гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних речовин у ґрунті» від 14.07.2020.
28. М 218-02070915-674:2010. Методика визначення рівня завантаженості та пропускної здатності автомобільних доріг. Київ, 2010. Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=25990
29. Welham S.J., Gezan S.A., Clark S.J., Mead A. *Statistical Methods in Biology. Design and Analysis of Experiments and Regression*. Taylor & Francis Group, LLC, 2015. 568 p.
30. Sanchez-Rodas D., Sanchez de la Campa A., Oliveira V., de la Rosa J. Health implications of the distribution of arsenic species in airborne particulate matter. *J. Inorg. Biochem.* 2012. Vol. 108. P. 112–114.
31. Liu Y., Li S., Sun C., Qi M., Yu X., Zhao W., Li X. Pollution level and health risk assessment of PM2.5-bound metals in Baoding city before and after the heating period. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2018. Vol. 15 (10). 2286. DOI: 10.3390/ijerph15102286.

ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО І ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ

УДК 634.662:635.9

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.5-38.15>

ВИЗНАЧЕННЯ ДЕКОРАТИВНОСТІ ЗИЗИФУСУ СПРАВЖНЬОГО (*ZIZYPHUS JUJUBA* MILL.), ІНТРОДУКОВАНОГО У ЛІСОСТЕПОВІЙ ЗОНІ УКРАЇНИ

Красовський В.В., Черняк Т.В.

Хорольський ботанічний сад

вул. Кременчуцька 1/79, оф. 46, 37800, м. Хорол, Полтавська область

horolbotsad@gmail.com

У статті наведено загальну характеристику декоративних якостей *Zizyphus jujuba* Mill. Описано незвичайну біоморфологічну особливість виду, якою є викривлений штаб (у цьому є сенс садового дизайну), адже таке дерево досить привабливо виглядає у поодиноких посадках. Кора стовбура і скелетних гілок, починаючи з 8-10-річного віку, стає шкарубкою, із глибокими поздовжніми тріщинами, тому невеликі за розміром дерева виглядають як багатовікові.

Показано, що *Z. jujuba* має гарну, легку, розлогу, рідку крону із просвітами у межах 25-50%, яку можна віднести до напівважурної. Фактура крони дрібна і рихла. Вид може витримувати тривалу дію високих температур – до 50°C без істотного порушення життєздатності листків, тому останні протягом усього вегетаційного періоду мають привабливий вигляд. Квітки двостатеві, дрібні, зібрані у суцвіття із 3-20 квіток із короткими квітконосами, пахучі з дуже приємним тонким ароматом, утворюються під час росту пагонів, неодноразово розпускаються у суцвіттях, тому період цвітіння тривалий. Досить оригінальний вигляд мають плоди-кістянки різних форм: округлу, плоску округлу, овальну, яйцевидну. В умовах Лісостепу України плоди мають довжину від 1,3 до 3,9 см, а ширину – від 1,0 до 3,0 см. Під час зав'язування і формування плоди мають світло-зелений колір, а за досягання – від світлого до темно-коричневого або темно-червоного кольору.

У роботі використано інтегральну шкалу комплексної оцінки раритетних видів деревних декоративних екзотичних рослин за основними морфологічними ознаками. За результатами дослідження встановлено, що інтродукований у лісостеповій зоні України субтропічний вид із опадаючими листками Зизифус справжній має оригінальну будову крони, текстуру кори стовбура, гарні невеликі листки, дрібні квітки, вишукані плоди, II групу декоративності, належить до високодекоративних дерев. Вид доцільно використовувати під час створення невеликих зелених масивів, груп і солітерних посадок на добре освітлених земельних ділянках. **Ключові слова:** *Zizyphus jujuba*, декоративне садівництво.

Determination of decorativeness of *Zizyphus jujuba* Mill. introduced in the Forest-Steppe zone of Ukraine. Krasovsky V., Cherniak T.

The general characteristic of decorative qualities of *Zizyphus jujuba* Mill. is given. An unusual biomorphological feature of the species is described, which is a curved trunk and this makes sense for garden design, because such a tree looks quite attractive in single plantings. The bark of the trunk and skeletal branches from eight to ten years of age becomes a shell, with deep longitudinal cracks and small trees look like centuries old.

It is shown that *Z. jujuba* has a beautiful, light, spreading liquid crown with lumens in the range of 25-50%, which can be attributed to the semi-open. The texture of the crown is small, loose. The species can tolerate prolonged exposure to high temperatures – up to 50°C without significant impairment of leaf viability, so the latter throughout the growing season have an attractive appearance.

The flowers are bisexual, small, collected in inflorescences of 3-20 flowers with short peduncles, fragrant with a very pleasant delicate aroma, are formed as the shoots grow, bloom at the same time in the inflorescences, so the flowering period is stretched in time.

Fruits of different shapes have a rather original look: round, flat-rounded, oval, ovoid.

In the Forest-Steppe of Ukraine, the fruits are 1.3 cm to 3.9 cm long and 1.0 cm to 3.0 cm wide. When tying and forming the fruits have a light green color, and when reaching from light to dark brown or dark red.

The paper uses an integrated scale of complex assessment of rare species of wood ornamental exotic plants by basic morphological features. According to the research results, the subtropical species with falling leaves of jujube introduced in the forest-steppe zone of Ukraine has an original crown structure, trunk bark texture, beautiful small leaves, small flowers, exquisite fruits, belongs to highly decorative trees, has II decorative group.

The species should be used when creating small green areas, groups and solitary plantings on well-lit land. **Key words:** *Zizyphus jujuba*, ornamental horticulture.

Постановка проблеми. За сучасних змін клімату та антропогенного впливу на довкілля особливої актуальності набуває проблема озеленення територій населених пунктів. Найефективнішим засо-

бом їх озеленення є висадка декоративних рослин, адже декоративні насадження відіграють важливу роль у міському будівництві і благоустрої населених пунктів. Вони є одним із результативних шля-

хів покращення умов проживання мешканців міст, селищ і сіл. Завдяки декоративним насадженням у населених пунктах поліпшується архітектурно-художній вигляд і мікроклімат, знижується забруднення повітря, зменшується шум [1; 2].

У садово-паркових та алейних насадженнях деревні та чагарникові рослини використовують як основний матеріал для створення об'ємних композицій. Декоративність рослини проявляється в її зовнішніх ознаках – розмірах і формі крони, забарвленні листків, квіток, плодів, ароматичних властивостей квіток.

Останніми роками приділяється велика увага введенню у декоративне садівництво інтродукованих субтропічних деревних рослин, зокрема і плодкових, які відрізняються посухостійкістю, жаровитривалістю, довговічністю.

До нових інтродукованих у лісостеповій зоні України рослин належить зизифус справжній (*Zizyphus jujuba* Mill.) родини жостерових (*Rhamnaceae* R.Br.). Цей вид інтродуковано як плодovu культуру, проте рослина має і властиві лише їй декоративні якості, які дотепер не описані.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження виконувалось у межах комплексного пошукового вивчення господарського застосування інтродукованих у лісостеповій зоні України видів субтропічних плодкових культур, які зростають у Хорольському ботанічному саду. Результати проведеного дослідження можуть знайти широке застосування у практиці будівництва малогабаритних скверів, створення насаджень на смузї землі біля доріг чи тротуарів, інших невеликих масивів, груп і солітерних посадок із використанням малопоширених інтродукованих субтропічних плодкових видів із корисними властивостями. Пропонований до використання в озелененні населених пунктів субтропічний вид Зизифус справжній відповідає таким експлуатаційним вимогам, як висока декоративність, довговічність, посухостійкість і жаровитривалість, стійкість до вірусних і грибкових хвороб.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зизифус справжній – листопадне дерево заввишки 5-8 м (рідше 10-12 м) переважно із викривленим стовбуром і рідкою кроною від розлогої із звивистими вузлуватими гілками до пірамідальної (або високий кущ) [3 – 6]. Із літературних джерел відомо, що у природних місцях зростання трапляються значно вищі дерева. Зокрема, в Індії є дерева *Z. jujuba* висотою до 24 м заввишки та діаметром штамбу 40-50 см [7]. Рослини *Z. jujuba* можуть досягати 250-річного віку, а живуть у середньому до 150 років [8; 9]. Росте *Z. jujuba* на висоті до 2500 метрів над рівнем моря на різних типах ґрунтів, але не переносить надмірно засолені, важкі глинисті ґрунти та високого залягання ґрунтових вод [3; 4; 6; 9]. Рослини добре плодоносять на висушених і карбонатних чорнозе-

мах суглинкового та супіщаного механічного складу, сіроземах, на щербенистих ґрунтах, на лесових та наносних утвореннях [10]. Зазвичай у природних умовах рослини *Z. jujuba* зростають на південних схилах із сильно змитими щербенисто-кам'янистими ґрунтами [3].

Рослини *Z. jujuba* стійкі до вірусних і грибкових хвороб і не вражаються шкідниками [4]. Важливою біоекологічною особливістю *Z. jujuba* є висока посухо- та жаростійкість, що є нетиповим для рослин помірної зони, адже вид витримує температуру до плюс 50°C [4]. Після дозрівання та осипання плодів репродуктивні пагони восени, взимку і навесні опадають, тому *Z. jujuba* за таку доволі рідкісну біоморфологічну особливість скидати пагони називають гілкопадним деревом [11].

В.Л. Вітковський указує на існування кількох різновидів *Z. jujuba*: var. *inermis* Rehd. – безколючковий; var. *torbuosa* Hoet. – декоративний; var. *spinosa* Berger – дикий [8]. Безколючковий різновид використовується у садівництві, дикий – в якості підщепи для безколючкового та у селекційній роботі під час інтродукції для підвищення стійкості рослин. В інших наукових джерелах інформації щодо існування var. *torbuosa* Hoet. не знайдено.

Початковим етапом інтродукції *Z. jujuba* у Лісостепу України як плодової культури є наукові дослідження, проведені у Центральному республіканському ботанічному саду (нині НБС ім. акад. М.М. Гришка НАН України) у період з 1950 по 1968 роки [12-15]. Насіння, сіянці та саджанці були одержані із Сочинської і Самаркандської дослідних станцій, із Нікітського ботанічного саду та з Китаю. У той період відомостей про насінневу репродукцію дрібноплідних форм *Z. jujuba* не було, через те із будівництвом тепличного комплексу рослини викорчували. Сіянці середньо- і дрібноплідних форм *Z. jujuba*, які ростуть із 1981 року на території плодового саду НБС (насіння було привезене із Киргизії науковими співробітниками П.А. Морозом та О.Ф. Клименком), задовільно зимують і плодоносять. З роками колекція *Z. jujuba* і надалі поповнювалась, досліджувались особливості росту і розвитку рослин, зимостійкість, плодоношення, вдосконалювалися прийоми розмноження [16]. Нині проводиться активна робота із поповнення колекцій *Z. jujuba* в інших ботанічних садах. Зокрема, у Хорольському ботанічному саду у 2014 році у науковій зоні висаджено 50 сіянцевих дерев трирічного віку, які нині щорічно плодоносять, утворюючи життєдатне насіння.

Проведені у Хорольському ботанічному саду фенологічні спостереження за ростом і розвитком рослин дають підставу стверджувати, що вид *Z. jujuba* придатний для поширення у лісостеповій зоні України як плодова культура (рис. 1).

Слід зауважити, що під час інтродукції *Z. jujuba* у Лісостеп України більшість наукових досліджень

Сумарна кількісна оцінка декоративності зизифусу справжнього, що росте у Хорольському ботанічному саду

Загальна декоративність рослини						Оцінка декоративності кірки		Оцінка декоративності листків або хвої				Оцінка декоративності генеративних органів під час декоративності						Загальний бал	Група декоративності	
Час декоративності	крона			тривалість		фактура	забарвлення	розміри	форма	забарвлення	зміна забарвлення	квітки (мегастробіли) / суцвіття			плоди (шишки)					
	форма	щільність	фактура	квіткування (пилювання)	облистяння							розміри	забарвлення	рясність	форма	розміри	забарвлення			рясність
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
3	1	1	1	5	3	5	1	1	3	3	3	0	3	5	5	3	5	5	56	II

вигідно вирізняється на тлі зеленого газону. Кора молодих гілок є червоно-коричневою, з віком набуває кольору стовбура.

З урахуванням того, що *Z. jujuba* – довговічна рослина, а за швидкістю росту у висоту в молодому віці належить до повільноростучих дерев (до 0,3 м), а у дорослому – до помірноростучих (до 0,5 м), дерева протягом багатьох років залишаються не перестояними.

Z. jujuba має гарну, легку, розлогу, рідку крону із просвітами у межах 25-50%, яку можна віднести до напіважурної. Фактура крони дрібна, рихла.

За створення невеликих масивів, груп і солітерних посадок придатними є невеликі багатостовбурні дерева. Цінність *Z. jujuba* із погляду на декоративність у тому, що вид може бути представлений різними життєвими формами, навіть багатостовбурним деревом або високим кущем. Оскільки сіянцеві форми *Z. jujuba* мають колючки, рядкове насадження кущів виду можна використати як зелену загорожу.

Листки у *Z. jujuba* прості, короткочерешкові або майже сидячі, без прилистків або із дрібними прилистками, метаморфозованими у сіянцевих рослин у колючки. Поверхня листка зелена, шкіряста, блискуча, гола, знизу світло-зелена, матова, не опушена. Форма листка – від довгасто-яйцевидної до широкої ланцетної із притупленою верхівкою і заокруглено-клиновидною основою; край листка гостро- або тупо пильчастий. Довжина листка від 2 до 8 см, ширина – від 1 до 5 см. Характерна особливість листків – три поздовжні жилки: центральна і дві бокові дугоподібні. На ростових пагонах листки крупніші, ніж на плодоносних. *Z. jujuba* може переносити тривалу дію високих температур (до 50°C) без істотного порушення життєздатності листків, тому останні протягом усього вегетаційного періоду мають привабливий вигляд, виблискуючи під сонячним промінням.

Квітки двостатеві, дрібні, 0,4-0,5 см у діаметрі, п'ятипелюсткові, зірковидні, зібрані у суцвіття із 3-20 квіток із короткими квітконосами. Квітки зеленувато-жовтого кольору, пахучі з дуже приємним тонким ароматом, утворюються під час росту пагонів, неодноразово розпускаються у суцвіттях, тому період цвітіння досить тривалий. На одному дорослому дереві утворюється значна кількість квіток (близько 250 тисяч) і за їх зав'язування лише 0,8-3,2% дерев дає врожай [5].

Досить оригінальний вигляд мають плоди-кістянки різних форм: округлу, плоску округлу, овальну, яйцевидну. В умовах Хорольського ботанічного саду плоди мають довжину від 1,3 до 3,9 см, ширину – від 1,0 до 3,0 см. У разі зав'язування і формування шкірка плодів забарвлюється у світло-зелений колір, а за досягання набуває кольору від світлого до темно-коричневого або темно-червоного, через що плоди ефектно виглядають на тлі зеленого листя.

Сумарна кількісна оцінка декоративності інтродукованого у Лісостеп України зизифусу справжнього, визначена за шкалою п'ятибальної оцінки дерев і чагарників [18], становить 56 балів, а за ступенем оцінки декоративності дерев і чагарників належить до другої групи декоративності (табл. 1), що відповідає високій декоративності.

Головні висновки. Інтродукований у лісостеповій зоні України субтропічний вид із опадаючими листками зизифус справжній має оригінальну будову крони, текстуру кори стовбура, гарні невеликі листки; дрібні квітки, зібрані у суцвіття; рясне тривале квіткування і вишукані плоди; належить до високодекоративних дерев. Найбільш декоративним зизифус справжній є із червня по листопад; його доцільно використовувати під час створення невеликих зелених масивів, груп і солітерних посадок на добре освітлених земельних ділянках.

Література

1. Матусьяк М. В., Василевський О. Г., Прокопчук В. М. Декоративна дендрологія : навч.-метод. посіб. Вінниця, 2015. 140 с.
2. Миколайчук В. Г., Чернова А. В. Декоративна дендрологія та квітникарство : метод. реком. Миколаїв, 2019. 60 с.
3. Ашуров А. А. О некоторых анатомо-морфологических особенностях побегов челона. *Ботанический журнал*. 1967. Вып. 1 (6). С. 62–73.
4. Орехов В. К. Унаби, зизифус. Зеленая аптека. Симферополь : Бизнес – Информ, 2000. С. 334–335.
5. Синько Л. Т. Агробиологическая характеристика зизифуса в Крыму. *Труды ГНБС*. 1977. Т.73. С.98-125.
6. Кьосев П. А. Полный справочник лекарственных растений. Москва : ЭКСМО – ПРЕСС, 2001. 992 с.
7. Запрягаева В. И. Ююба – *Zizyphus Mill.* Дикорастущие плодовые Таджикистана. Москва; Ленинград : Наука, 1964. С. 529–542.
8. Витковский В. Л. Плодовые растения мира. С.-Петербург : Лань, 2003. 592 с.
9. Настас Г. В. Зизифус. Малораспространенные плодово-ягодные растения. Кишинев : Карта Молдовеняскэ, 1987. С. 5–80.
10. Настас Г. В. Рекомендации по размножению зизифуса (унаби) в Молдавии. Кишинев : Молд. НИИ плодоводства НПО Кодру, 1985. 28 с.
11. Красовський В. В. Гілкопадність унабі (*Zizyphus jujuba Mill.*) як адаптаційний потенціал при інтродукції в Лісостеп України. *Теоретичні та прикладні аспекти інтродукції рослин і зеленого будівництва* : матеріали II Міжнар. наук. конф. молодих дослідників. Умань : Фітосоціоцентр, 2002. С. 164–166.
12. Брызгалов Е. А. Влияние климатических условий 1968 – 1970 гг. на перезимовку, рост, развитие и плодоношение субтропических растений в Киеве. *Субтропические культуры*. 1972. № 1. С. 104–107.
13. Брызгалов Е. О. Зовнішні пошкодження субтропічних плодкових рослин в умовах Києва. Інтродукція та акліматизація рослин на Україні. Київ : Наукова думка, 1970. С. 185–191.
14. Брызгалов Е. О. Інтродукція ююби в Києві. Інтродукція та акліматизація рослин на Україні. Київ : Наукова думка, 1973. С. 109–113.
15. Брызгалов Е. О. Субтропічні плодові рослини в умовах Києва. Акліматизація й інтродукція рослин. Київ : Наукова думка, 1965. С.121–122.
16. Красовський В.В. Інтродукція унабі (*Zizyphus jujuba Mill.*) в Лісостепу України (біоекологічні особливості, розмноження, вирощування) : автореф. дис. ... канд. біол. наук : 03.00.05. Київ, 2007. 19 с.
17. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР. Москва, 1975. 21 с.
18. Власенко А. С. Оцінка декоративності дендросозоекзотів *ex situ* Степу України. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету ім. Лесі Українки*. 2016. № 7 (332). С. 27-35.

ПРОСТОРОВИЙ РОЗПОДІЛ ОРНІТОФАУНИ У СЕЛАХ ПОДІЛЬСЬКОГО ПОБУЖЖЯ

Новак В.В.

Комунальний заклад вищої освіти
«Барський гуманітарно-педагогічний коледж
імені Михайла Грушевського»

майд. Грушевського, 1, 23000, м. Бар, Вінницька область
novakvova@ukr.net

За результатами досліджень орнітофауни сіл Подільського Побужжя у 2006-2021 роках зареєстровано 174 види птахів. Із них 127 видів виявлено у гніздовий період (для 104 видів гніздування доведено, ще для 13 – воно є вірогідним, а 10 видів використовують території сіл для живлення, але не гніздяться), 78 – у зимовий період, 139 – у період весняної міграції, 138 – у період осінньої міграції. У межах сіл регіону виділено 9 стацій перебування птахів: сільські вулиці з будинками місцевих жителів (займають 40-42% території сіл, виявлено 84 види птахів, із них 4 види реєструвалися лише тут); адміністративні та інші будівлі загального користування прилеглою територією (0,5-2% території, 44 види відповідно); тваринницькі ферми та зернотоки (0-5% території, 47 види відповідно); тракторні та автопарки (0-1% території, 25 видів відповідно); городи місцевих жителів (41-46% території, 63 види відповідно, із них 4 види реєструвалися лише тут); парки, сквери, фруктові сади та окремі групи дерев (2-3,5% території, 68 видів відповідно, із них 3 види реєструвалися лише тут); цвинтарі (0,7-1,5% території, 64 види відповідно, з них 1 вид реєструвався лише тут); пустирі, смітники та необроблювані ділянки без будівель і дерев (1,5-2% території, 34 види відповідно); водно-болотні угіддя (4,5-8% території, 127 видів відповідно, із них 53 види реєструвалися лише тут). Найбільш своєрідною стацією є водно-болотні угіддя, де крім найвищого орнітологічного різноманіття зареєстровано 12 видів, занесених до Червоної книги України (пелікан рожевий, чапля жовта, косар, лелека чорний, скопа, шуліка чорний, лунь лучний, чернь білоока, нерозень, гоголь, сова болотяна, сорокопуд сірий), із 17 видів, які зустрічаються у селах регіону. В інших стаціях були відмічені лунь польовий, підорлик малий, совка, жовна зелена, шпак рожевий, також занесені до Червоної книги України. За нашими даними, на території одного домогосподарства на гніздуванні знаходиться від 3 (найчастіше ластівка сільська, горобець хатній, горихвістка чорна) до 10 видів залежно від кількості будівель, дерев, кущів і наявності штучних гніздівель. *Ключові слова:* Подільське Побужжя, села, гніздовий період, зимівля, міграція.

Spatial distribution of avifauna in the villages of Podilsky Pobuzhhye. Novak V.

According to the results of research on the avifauna of the villages of Podilsky Pobuzhhye in 2006-2021, 174 species of birds were registered. Of these, 127 species were found during the nesting period (for 104 species nesting proved, for another 13 – probable, and 10 – use the territory of villages for food, but do not nest), 78 – in winter, 139 – during spring migration, 138 – in period of autumn migration. Within the villages, 9 bird stations have been identified: rural streets with houses of local residents (occupy 40-42% of the village territory, 84 species of birds have been identified, 4 of them were registered only here); administrative and other public buildings in the adjacent territory (0.5-2% of the territory, 44 species, respectively); livestock farms and threshing floor (0-5% of the territory, 47 species, respectively); tractor- and fleets (0-1% of the territory, 25 species, respectively); gardens of local residents (41-46% of the territory, 63 species, respectively, 8 of them were registered only here); parks, squares, orchards and separate groups of trees (2-3.5% of the territory, 68 species, respectively, 3 of them were registered only here); cemeteries (0.7-1.5% of the territory, 64 species, respectively, 1 of them were registered only here); wastelands, dumps and uncultivated areas without buildings and trees (1.5-2% of the territory, 34 species, respectively); wetlands (4.5-8% of the territory, 127 species, respectively, 53 of them were registered only here). The most peculiar station is wetlands. Here, in addition to the highest avifauna, 12 species listed in the Red Book of Ukraine out of 17 found in the villages of the region are registered. In other stations, Hen-harrier, Lesser spotted eagle, Scops owl, Green woodpecker, and Rose-coloured starlings were also registered, which are also listed in the Red Book of Ukraine. According to our data, on the territory of one household there are from 3 nesting (most often – Swallow, House sparrow, Black redstart) to 10 species, depending on the number of buildings, trees, bushes and the presence of artificial nests. *Key words:* Podil'ske Pobuzhzhya, villages, nest period, wintering, migration.

Постановка проблеми. Дослідження біотопічного розподілу птахів певних територій має важливе значення для розроблення заходів із їх збереження і збільшення чисельності [16]. На території населених пунктів унаслідок природних факторів і діяльності людини сформувалися певні аналоги природних біотопів – стації перебування птахів. Кожна із стацій, які сформувалися у селах Подільського Побужжя, характеризується певними особливостями орнітофауни, які все ще залишаються малодослідженими.

Актуальність досліджень. Нині вивченню орнітофауни сіл приділяється дослідниками не досить уваги, хоча загальна територія сіл певного регіону не менша за територію його міст, орнітофауна яких нині досить активно вивчається [4; 6; 17; 22]. Водночас для сіл Подільського Побужжя характерним є велике різноманіття стацій, незначна кількість місцевого населення (переважно 300-500 жителів, рідше – понад 1000), наявність закинутих споруд (житлові будинки, тваринницькі ферми, подекуди школи

та дитсадки), навколо яких територія заростає чагарниками, деревами, що сприяє значному біологічному різноманіттю сіл. Наші дослідження спрямовані на аналіз просторового розподілу птахів за різними стаціями саме у селах Подільського Побужжя.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині, крім наших публікацій, присвячених орнітофауні, СНП досить мало [1; 19]. Більшість публікацій містить фрагментарну інформацію, яка є складовою частиною комплексних досліджень певного регіону або частковою інформацією у публікаціях за окремими видами, родинами, екологічними групами птахів, або містить реєстрацію окремих цікавих фактів із життя птахів [2-10; 13; 18; 22-25].

Новизна. Уперше зібрано матеріал із розподілу орнітофауни за окремими стаціями у межах сіл регіону. Досліджено видовий склад, особливості орнітофауни кожної стації. Завдяки статистичному аналізу отриманих даних з'ясовано подібність між окремими стаціями.

Методологічне або загальнонаукове значення. Дослідження проводили у регіоні Подільське Побужжя протягом 2006-2021 років. Нами обстежені території низки сіл Хмельницького району Хмельницької області (до 1.01.2021 р. це територія Хмельницького, Летичівського, Деражнянського Старосинявського, Старокостянтинівського районів) і території Жмеринського, Вінницького і Тульчинського районів Вінницької області (до 1.01.2021 р. це територія Барського, Літинського і Тульчинського районів).

Основна частина матеріалу була зібрана в межах чотирьох дослідних ділянок: «Чорний острів» і «Меджибіж» на Хмельниччині, «Бар» і «Шпиків» на Вінниччині. Одна із ділянок знаходилась у зоні широколистяних лісів, а ще три – у лісостеповій зоні. Відстань між окремими дослідними ділянками становила 50-70 км. Кожна ділянка містила 3-5 сіл, які відрізнялися кількістю постійних мешканців, деякими архітектурними особливостями сільських будівель, співвідношенням озелененої території, ступенем урбанізації, динамікою місцевого населення тощо [14].

Обліки на всіх маршрутах ми проводили зазвичай у гніздовий період через 1,5-2 години після світанку, а навесні, восени і взимку – у першій половині або середині світлої частини доби. Достовірність гніздування визначалася відповідно до критеріїв, рекомендованих Комітетом Європейського Орнітологічного атласу – ЕОАС [26]. Дослідження зимової орнітофауни ми проводили у рамках міжнародної програми Pagus [11; 12].

Видові назви птахів наведені за Г.В.Фесенком та А.А.Бокотеєм [20].

Кластерний аналіз отриманих даних проведено за допомогою програми Statistica 10.0.

Викладення основного матеріалу. За час дослідження встановлено перебування на території сіл Подільського Побужжя 174 видів птахів (58% від загальної кількості видів у регіоні [9; 15], або 41% орнітофауни України [20]). Із них 127 видів виявлено у гніздовий період (для 104 видів гніздування доведено, ще для 13 видів воно є вірогідним, а 10 видів використовують території сіл для живлення, але не гніздуються), 78 – у зимовий період, 139 – у період весняної міграції, 138 – у період осінньої міграції.

Основними стаціями перебування птахів у селах Подільського Побужжя є: сільські вулиці з будинками місцевих жителів; адміністративні та інші будівлі загального користування прилеглою територією; тваринницькі ферми та зернотоки; тракторні та автопарки (МТС); городи місцевих жителів; парки, сквери, фруктові сади та окремі групи дерев; цвинтарі; пустирі, смітники та необроблювані ділянки без будівель і дерев; водно-болотні угіддя (ВБУ) (рис. 1).

Кожна із цих стацій має свій набір орнітофауни, який містить як спільні для різних стацій види, так і характерні лише для певної стації. Найбільше орнітологічне різноманіття на території сіл Подільського Побужжя виявлено в межах сільських вулиць і водно-болотних угідь (рис. 2).

Сільські вулиці. Ця стація займає 40-42% території сіл (рис. 1). Особливістю цієї стації є досить щільне розташування сусідніх будинків місцевих

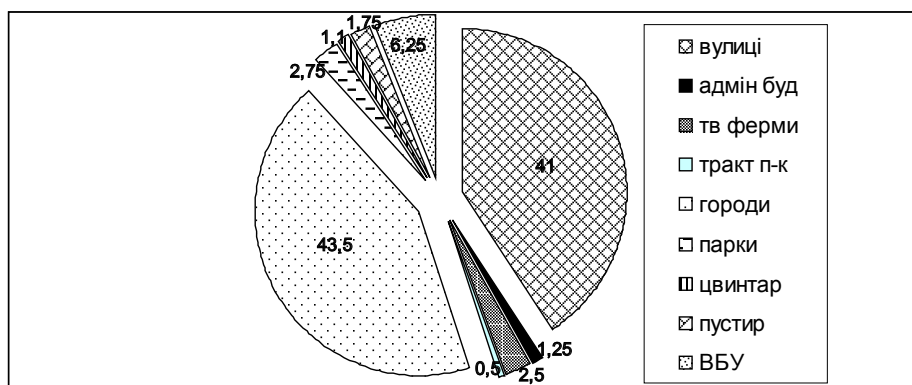


Рис. 1. Відсоток (середнє значення) території сіл, де розміщені різні стації

жителів на старих вулицях. Будинки одноповерхові. Більшість будинків є глинобитними; часто стіни обкладено цементною плиткою, цеглою або так званою шубою. Покрівля більшості будинків із шиферу, рідше – з оцинкованої бляхи або черепиці, іноді – з металевої черепиці. На старих вулицях відстань між жилими будинками становить 5-10 м, а між господарськими – 1-5 м. На присадибних ділянках досить багато дерев, кущів, квітів. У насадженнях переважають старі дерева. Із культурних видів переважають яблуні, груші, сливи, вишні, черешні, волоські горіхи, рідше трапляються абрикоси, айва, кизил, шовковиця. Із дикорослих видів зростають ясен звичайний, клен ясенolistий, липа серцелиста, робінія псевдоакація, верба біла, ялина звичайна. Із кущів ростуть смородина чорна, смородина червона, калина, малина, шипшина, агрус. Покриття вулиць – асфальт, бруківка, катаний щебінь або «жорства», рідше – ґрунтове покриття. Майже на кожній вулиці частина будинків зовсім є порожніми, або їх нерегулярно використовують дачники. Такі двори часто заростають кущами бузини чорної, лободою, щирцею, будяками та іншими трав'янистими рослинами. На вулицях сіл, які з'явилися у 1970-1980-х роках, усі будинки із цегли, нерідко вони двоповерхові, укріті шифером. Дерев тут майже всі культурні, сорти переважно карликові та напівкарликові з невеликою висотою і кроною. Із неплодових видів ростуть ялини, туї, рідше – берези, горобина червона і чорна, різні сорти троянд. Висаджують їх в якості елементів фітодизайну садиби. Подібні перетворення у садибах трапляються і на старих вулицях, де будинки купують міські жителі для літнього відпочинку (дачі). У межах цієї стації нами зареєстровано 84 види, що становить 48,3% від усіх видів, відмічених у селах. Найчисельнішими видами цієї стації є горобець хатній *Passer domesticus*, ластівка сільська *Hirundo rustica*, чорна горихвістка *Phoenicurus ochruros*, шпак *Sturnus vulgaris*, а взимку, крім горобців, синиця велика *Parus major* і вівсянка звичайна *Emberisa citrinella*. Крім того,

до фонових видів можна віднести лелеку білого *Ciconia ciconia*, ластівку міську *Delichon urbica*, плиску білу *Motacilla alba*, кропив'янку прудку *Sylvia curruca*, горобця польового *P. montanus*, зеленяка *Chloris chloris*, коноплянку *Acanthis cannabina*. Останніми роками все частіше тут зустрічаються припутень *Columba palumbus*, сорокопуд терновий *Lanius collurio* (на крайніх від полів вулицях), сойка *Garullus glandarius*, чикотень *Turdus pilaris*, дрізд співочий *T. philomelos*, щедрик *Serinus serinus*. Лише у цьому біотопі на міграції відмічені шпак рожевий *Sturnus roseus*, горихвітка *Nucifraga cariocatactes*, вівчарик арктичний *Ph. borealis*, кобилочка-цвіркун *Locustella naevia*, мухоловка мала *Ficedula parva*. За нашими даними, на території одного домогосподарства на гніздуванні буває від 3 (найчастіше – ластівка сільська, горобець хатній, горихвістка чорна) до 10 видів залежно від кількості будівель, дерев, кущів і наявності штучних гніздівель.

Адміністративні та інші будівлі загального користування із прилеглою територією. Ця стація займає 0,5-2% території сіл (рис. 1). До цієї стації нами віднесено території, де розташовані будівлі шкіл, дитячих садків, будинків культури, клубів, контори агропідприємств і сільських рад, ФАПів, церкви, магазини та інші будівлі загального користування. Навколо таких будівель завжди є ділянки, засіяні багаторічними травами, клумби із квітами, декоративні кущі, дикорослі види дерев, рідше – культурні види дерев. Третина цих будівель є двоповерховими, інколи – триповерховими. Покрівля – із шиферу чи металочерепиці (церкви покриті оцинкованою чи мідною бляхою). Нерідко, особливо у віддалених селах, такі будівлі перебувають у стані запустіння, у них повільно руйнуються стіни, у вікнах часто немає скла, руйнується покрівля. Частина таких будівель має статус «довгобудів» (інколи у такому стані вони перебувають понад 10 років). Цю стацію використовують для гніздування або живлення 44 видів птахів. Найчисельнішими видами тут є ластівка міська, плиска біла, мухоловка сіра *Muscicapa*

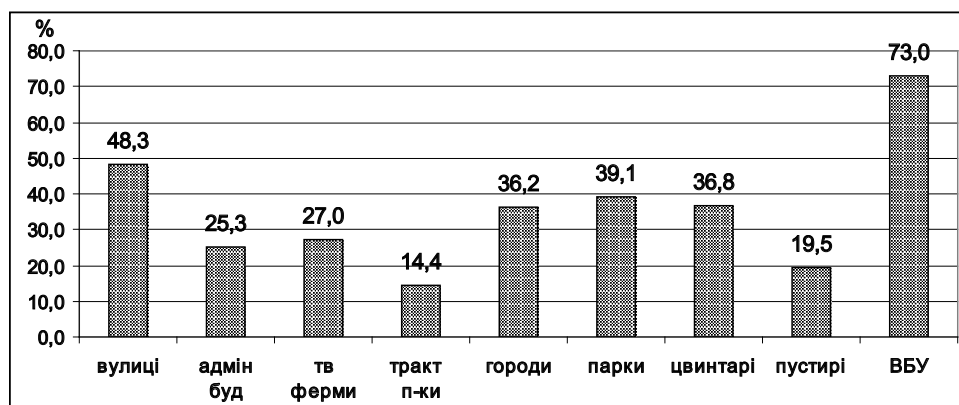


Рис. 2. Відсоток орнітологічного різноманіття певної стації від загальної кількості видів, виявлених на території сіл Подільського Побужжя

striata, горихвістка чорна, горобець хатній. Саме тут знаходиться основне місце гніздування горлиці садової *Streptopelia decaocto*, сича хатнього *Athene noctua*, галки *Corvus monedula*, щедрика. Останніми роками тут з'явився на гніздуванні серпокрилець чорний *Apus apus*. Тут знаходиться основне місце зимівлі (днювання) сови вухатої *Asio otus*.

Тваринницькі ферми і зернотоки. Ця стація займає 0-5% території СНП (рис. 1). У більшості сіл цей тип стації перебуває на стадії зникнення, особливо тваринницькі ферми. Діючих тваринницьких ферм залишилося одиниці, ще в деяких сілах є відносно цілі спорожнілі приміщення ферм. У більшості сіл на місці тваринницьких ферм тепер руїни. Залишені території заростають кущами, молодією порослю дерев, лободою, будяками та іншими трав'янистими рослинами. Інколи деякі ферми переобладнуються під виробничі приміщення і майстерні. Зернотоки, які діють цілорічно, ще наявні орієнтовно у 20% сіл, в інших селах їх використовують лише восени, коли сюди завозять зерно, яке видають місцевим жителям за оренду їхніх земельних паїв. Тут нами відмічено 47 видів птахів. Найчисельнішими є голуб сизий *Columba livia*, ластівка сільська і міська, посмітюха *Galerida cristata*, плиска біла, сорока *Pica pica*, мухоловка сіра, горихвістка чорна, горобець хатній і польовий, щиглик *Carduelis carduelis*. Лише тут (у будівлях корівників) можна було спостерігати колоніальні поселення ластівки сільської (до 30 гнізд в одному приміщенні). Через зміни у цій стації чисельність більшості видів помітно знизилася, проте тут частіше стали з'являтися куріпка сіра *Perdix perdix*, сова вухата, сич хатній, одуд *Upupa epops*, трав'янка чорноголова *S. torquata*, кам'янка звичайна *Oenanthe oenanthe*. Слід відмітити, що у 2008 році опустіла тваринницька ферма у с. Голосків і вже наступного року тут не гніздилися жодна пара колонії граків *Corvus frugilegus*, де раніше щорічно було близько 60 пар.

Тракторні та автомобільні парки. Ця стація займає 0-1% території сіл (рис. 1). Зазначену стацію піддано такому ж самому руйнуванню, як і попередню. Лише в поодиноких потужних агропідприємствах тракторні та автопарки ще наявні, їх навіть реконструюють і розбудовують. В інших селах на їх місці знаходяться руїни, територія заростає кущами і бур'янами. У діючих автопарках будівлі цегляні, одно- і двоповерхові, вкриті шифером і металочерепицею. Влаштовано великі криті навіси для автомобілів, тракторів, комбайнів, сівалок. Значні ділянки заасфальтовані. Як елементи фітодизайну наявні алейки чи групи ялинок, туй, осокорів, рідше – інших дерев та кущів. У більшості сіл техніку розібрали на паї місцеві жителі, а будівлі зруйнували заради будівельного матеріалу. У цій стації нами відмічено 25 видів птахів. Ще донедавна тут було основне місце гніздування сизих голубів і сичів хатніх. Нині фоновими є ластівка міська, чорна гори-

хвістка, біла плиска, горобець хатній і польовий. Зазвичай на водонапірній башті є гніздо білих лелек. Доводилося знаходити гнізда птахів серед конструкцій с/г техніки, яка стояла на зберіганні, серед них – сови вухатої у зерновому комбайні і дрозда співочого на буряковому комбайні.

Городи. Ця стація займає 41-46% території сіл (рис. 1). До початку 1990-х років за кожною присадибною ділянкою було закріплено не більше 0,25 га городів. Більша частина цієї стації займала простір між сільськими вулицями. Пізніше дозволили мати присадибну ділянку площею до 2 га, чим скористалася більшість сільських сімей. Додаткові земельні наділи виділяли навколо сіл. Городи ділили на ділянки у 2-3 ряди. Нині відстань від крайньої хати до віддаленого краю останнього городу може сягати 0,5-0,8 км. Колишні суцільні моновидові колгоспні поля перетворилися на мережу ділянок із засіяними різними с/г культурами. Якщо до ХХІ століття усі ці ділянки активно використовували, то у перше десятиліття цього століття через збідніння місцевих жителів від 10 до 20% цих ділянок вже не обробляли, а ще до 30-40% ділянок були засіяні багаторічними травами, які не вимагали щорічних фінансових витрат на обробіток. Нині городи, які раніше перестали обробляти, і частину засіяних травами городів здано в оренду заможнішим односельчанам, тож необроблюваних городів залишилось одиниці. На городах, окрім засіяних багаторічними травами, значні площі відведено під картоплю, кормовий буряк, кукурудзу, пшеницю, ячмінь. На менших площах вирощують різні овочеві та ягідні культури: капусту, огірки, помідори, гарбузи, цибулю, часник, кавуни, баклажани, полуницю тощо. Часто між городами є нерозорані смуги – межі, що поросли пирієм або іншими трав'янистими рослинами. Частину городів (у різні роки – від 30% до 60%) орють на зиму, на деяких із них залишають на всю зиму незібрану кукурудзу чи нескошену траву. Інколи біля крайніх городів зростають кущі терену, верби, шипшини чи бузини чорної. Усього нами відмічено на городах 63 види птахів, найчисельнішими є жайворонок польовий *Alauda arvensis*, плиска жовта *Motacilla flava*, шпак, грак, горобець польовий, коноплянка. Городи є також основним місцем перебування куріпки сірої, перепілки *Coturnix coturnix*, посмітюхи, трав'янки лучної *Saxicola rubetra* і чорноголової, просянки *Emberiza calandra* в межах сіл. Лише тут нами відмічені боривітер звичайний *F. tinnunculus*, перепілка, деркач *Crex crex*, бджолоїдка звичайна *Merops apiaster*. Слід відмітити, що цей біотоп найбагатший за видовим складом соколоподібних, адже тут на полюванні відмічено 8 видів із 9 зареєстрованих у селах.

Парки, сквери, фруктові сади, окремі групи дерев. Ця стація займає 2-3,5% території сіл (рис. 1). Парки і сквери зазвичай розташовані поблизу навчальних закладів або дитячих садочків, більшість із них посаджено у другій половині ХХ століття (лише

у деяких селах, де були поміщицькі маєтки, існують залишки старовинних парків із віковими деревами). У парках зростають типові для регіону види дерев і кущів, а також завезені з інших регіонів туї, робінія псевдоакація, осокори, клен ясенелистий. Фруктові сади здавна насаджували на ділянках, менш придатних для с/г обробітку. Старі сади зростали майже біля кожного села; раніше вони були поміщицькими або церковними, пізніше – власністю селян-одноосібників, ще пізніше – колгоспними. Нині більшу частину цих садів знищено. Особливо активно вирубували сади у 1980-ті роки, коли у сільському господарстві взяли курс на екстенсивне ведення с/г виробництва. Із цієї метою задля збільшення площ зернових розорювали усі можливі ділянки. Саме старі сади від цього постраждали найбільше. Утім тодішнє керівництво не врахувало, що здавна сади висаджували на ділянках, найменш придатних для вирощування с/г культур. Тож поля на місці садів у більшості випадків проіснували лише 2-3 роки і через збитковість обробітку їх перестали використовувати. Тепер це великі, порослі травою ділянки, які поступово заростають чагарником і які місцеві жителі використовують для випасання великої рогатої худоби. Нині від колишніх великих масивів садів, які оточували села, залишились окремі ділянки, розкидані на околицях сіл. На них збереглося велике різноманіття культурних і дикорослих видів дерев і кущів. Деякі з цих ділянок нагадують справжній ліс. Алеї дерев чи їхні окремі групи у селах знаходяться на території навчальних закладів, навколо стадіонів, на околицях сіл чи поблизу водойм. Серед них переважають типові лісові види дерев (найчастіше береза) або адвентивні (найчастіше робінія псевдоакація і клен ясенелистий).

У цій стації нами виявлено 68 видів птахів. Найчастіше тут зустрічаються дятел звичайний *Dendrocopos major* і сирійський *D. syriacus*, вивільга *Oriolus oriolus*, шпак звичайний, берестянка звичайна *Hippolais icterina*, чикотень, синиця велика, горобець польовий. Лише тут виявлена совка *Otus scops*. Саме завдяки цій стації проходять перші етапи синантропізації лісових видів: припутня, горлиці звичайної *S. turtur*, шеврика лісового *A. trivialis*, сойки, кропив'янки чорнолової *S. atricapilla*, вівчарика-ковалика *Ph. collybita*, вільшанки *Erithacus rubecula*, соловейка східного *Luscinia luscinia*, дрозда чорного *T. merula* і співочого, повзика *Sitta europaea*, зяблика, костогриза *Coccothraustes coccothraustes*. Тут на міграції зрідка зустрічаються слуква *Scolopax rusticola*, дрімлюга *Caprimulgus europaeus*, тинівка лісова, вівчарик весняний *Phylloscopus trochilus*, мухоловка строката *Ficedula hypoleuca* і білошия *F. albicollis*, дрізд білобровий *T. iliacus* і дрізд-омелюх *T. viscivorus*. Зелені насадження сіл використовують для зимівлі жовна сива *Picus canus*, дятел середній *D. medius*, тинівка лісова, дрізд чорний, дрізд співочий, синиця чорна *P. ater*, зяблик, в'юрок *F. montifringilla*, костогриз, шишкар ялиновий *Loxia curvirostris* та інші більш звичні види.

Цвинтарі. Ця стація займає 0,7-1,5% території сіл (рис.1). Більшість сучасних сіл Побужжя існують 160-500 років. За цей час сільські цвинтарі зайняли чималі площі та зазнали значних екологічних змін, тому ми виділили їх в окрему стацію. У більшості сіл існує 2-3 цвинтарі, а якщо один, то і тут можна виокремити три частини:

– найстаріший цвинтар (поховання до 1930-х років). На ньому вже немає жодних ознак могил (дуже рідко 1-2 хрести, які позначають центральну частину). Ділянка майже повністю заросла деревами і чагарниками. Старі дерева нерідко зрізують на дрова місцеві жителі;

– старий цвинтар (поховання з 1930-х до 1970-х років). Найбільш заросла ділянка, на якій досить багато старих дерев (переважно ялина, рідше – черешня, вишня, сосна, липа, дуб). На більшості могил – хрести чи пам'ятники. Могили огорожені металевими ґратками. Навколо могил – кущі самшиту, бузку, шипшини, калини, троянди. Інколи на ділянках довоєнних поховань усі могили заросли травою і польовими квітами, на них майже відсутні хрести, оскільки у більшості похованих не залишилося нащадків (померли в роки голодоморів 1932-1933, 1946-1947 років та під час Другої світової війни).

– новий цвинтар (поховання з 1970-х років до наших днів). На усіх могилах хрести чи пам'ятники, багато насаджених квітів. Поодинокі висаджені ялинки, ялівець, калина чи кущі самшиту. Якщо ялинки виростають більше як на 5 м, їх переважно зрізують. Саме цю ділянку місцеві жителі відвідують найчастіше.

Ця стація загалом містить той самий набір видів птахів, що і попередня, але має певні особливості. Оскільки тут наявні значні ділянки, де відсутні дерева і кущі, тут знаходяться ділянки суцільних чагарників і молоді деревні порослі, а турбування зі сторони людини є мінімальним. Нами тут відмічено 64 види птахів. Лише на цвинтарях зареєстровано гніздування сірої сови *Strix aluco*; частіше, ніж в інших стаціях, гніздяться сова вухата, жовна сива, сорокопуд терновий, сорока, крук, кропив'янка чорнолової *S. atricapilla*, зеленяк, щиглик, коноплянка, вівсянка звичайна.

Пустирі, смітники, необроблювані ділянки без будівель і дерев. Ця стація займає 1,5-2,0% території сіл (рис. 1). Вона є досить нетиповою в минулому і все більш поширеною нині в межах сіл Побужжя. Стація виникає на місці тваринницьких ферм, зруйнованих старих будинків, на територіях закритих шкіл, клубів, магазинів тощо. Для околиць сіл і ділянок біля водойм стають характерними несанкціоновані смітники. Офіційні (відведені сільською радою) смітники часто розташовані за 200-300 метрів від околиць села. Тут нами відмічено 34 види птахів. Пустирі найчастіше використовують для живлення чи гніздування посмітюха, крук, трав'янка чорнолової, плиска жовта, горобець польовий, зеленяк,

щиглик, коноплянка, просянка, вівсянка очеретяна *E. shoenicus* (взимку). Лише в цьому біотопі реєстрували на міграції шеврика червоногрудого *Anthus cervinus*.

Водно-болотні угіддя. Ця стація займає 4,5-8% території сіл (рис. 1). Найчастіше це ставки серед села в долинах малих річок. Окремі ставки існують вже кілька століть. Через деякі села протікають річки Південний Буг, Вовк, Бужок, Згар, Іква. Навколо цих водойм у селах є невеликі заболочені ділянки, вологі і суходільні луки, зарості верболозу чи старі верби. В окремих селах є джерела, що не замерзають, і струмки, які з них витікають. Останніми роками в межах присадибних ділянок поблизу водойм місцеві жителі викопують невеликі ставочки площею 0,1-0,15 га. Навесні, під час паводку ці угіддя заливає вода. Дуже значні паводки трапляються приблизно 1 раз на 10 років, коли вода затоплює повністю цю стацію, прилеглі городи і деякі будинки місцевих жителів (1996, 2006, 2013 роки). Сильні паводки трапляються 1 раз на 3-4 роки, коли вода вкриває повністю ці угіддя і частину при-

леглих городів. Окрім того, 1 раз на 3-4 роки паводка немає взагалі, річки не виходять за межі русла. Саме тут нами відмічено 127 видів птахів, з яких 53 зустрічаються лише у цій стації. На сільських ставках звичайними на гніздуванні є пірникоза велика *Podiceps cristatus*, крижень *Anas platyrhynchos*, курочка водяна *Gallinula chloropus*, лиска *Fulica atra*, кобилочка солов'їна *Locustella luscinioides*, очеретянка лучна *Acrocephalus schoenobaenus*, вівсянка очеретяна. Рідше гніздяться пірникоза чорношия *Podiceps nigricollis*, бугайчик *Ixobrychus minutus*, бугай *Botaurus stellaris*, лебідь-шипун *Cygnus olor*, рибалочка *Alcedo atthis*, шеврик лучний *A. pratensis*, кобилочка річкова *L. fluviatilis*, очеретянка чагарникова *A. palustris*, ремез *Remiz pendulinus*. Під час живлення тут часто зустрічаються (влітку чи під час міграції) чепура велика *Egretta alba*, чапля сіра *Ardea cinerea*, лелека білий, лунь очеретяний *Circus aeruginosus*, чайка *Vanellus vanellus*, мартин звичайний *Larus ridibundus*, крячок білощокий *Ch. hybrida*, ластівка берегова *Riparia riparia*, міська і сільська, плиска біла і жовта. Саме у цьому біотопі відмічені такі рідкісні види, як пелікан рожевий *Pelecanus onocrotalus*, косар *Platalea leucorodia*, квак *Nycticorax nycticorax*, чапля жовта *Ardeola ralloides*, чапля руда *A. purpurea*, лелека чорний *C. nigra*, скопа *Pandion haliaetus*, побережник малий *Calidris minuta*, чорногрудий *C. alpina*, червоногрудий *C. ferruginea*, мартин чорнокрилий *L. fuscus*, крячок чорний *Chlidonias niger*, сорокопуд сірий *L. excubitor* (лише взимку). На незамерзаючих ділянках водойм і прилеглих водно-болотяних угіддях зимують пірникоза мала

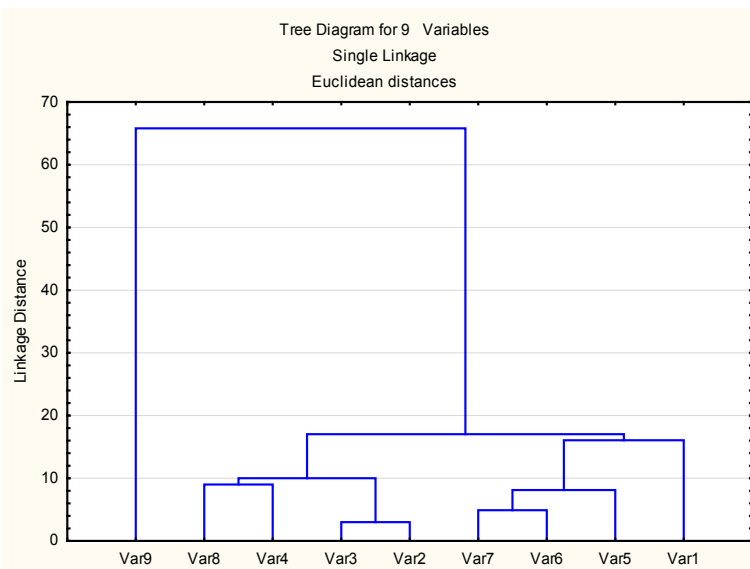


Рис. 3. Дендрограма подібності стацій сіл Подільського Побужжя: var1 – сільські вулиці, var2 – будівлі загального користування із прилеглою територією, var3 – тваринницькі ферми і зернотоки, var4 – МТС, var5 – городи, var6 – парки, сади та окремі групи дерев; var7 – цвинтарі, var8 – пустирі та необроблювані ділянки без будівель і дерев, var9 – ВБУ

Podiceps ruficollis, чепура велика, чапля сіра, лелека білий, лебідь-шипун, мартин звичайний *Larus ridibundus*, рибалочка, сорокопуд сірий, волове очко *Troglodytes troglodytes*, вівсянка очеретяна та інші більш звичні види.

Завдяки аналізу статистичних даних за окремими стаціями видно, що найбільш своєрідною стацією сіл є водно-болотні угіддя (рис.3), де зосереджено найвище орнітологічне різноманіття; саме тут відмічено 12 видів (пелікан рожевий, чапля жовта, косар, лелека чорний, скопа, шуліка чорний, лунь лучний, чернь білоока, нерозень, гоголь, сова болотяна, сорокопуд сірий) із 17 видів, занесених до Червоної книги України і відмічених нами у селах [21].

Головні висновки. Нині в межах сіл Подільського Побужжя виділяється 9 стацій із своєрідними особливостями перебування птахів: сільські вулиці з будинками місцевих жителів; адміністративні та інші будівлі загального користування прилеглою територією; тваринницькі ферми та зернотоки; МТС; городи місцевих жителів; парки, сквери, фруктові сади та окремі групи дерев; цвинтарі; пустирі, смітники та необроблювані ділянки без будівель і дерев; ВБУ. Із 174 видів птахів, зареєстрованих у селах регіону, найбільше (127 видів) відмічено у найбільш своєрідній стації – водно-болотних угіддях. В інших стаціях виявлено значно менше видів: 84 – на сільських вулицях, 68 – у парках і садах, 64 – на цвинтарях, 63 – на городах, 47 – на території тваринницьких ферм і зернотоків, 44 – навколо будівель загального користування, 34 – на пустирях, 25 – на території МТС. У межах сіл встановлено перебування 17 видів птахів, занесених до Червоної книги України.

Література

1. Бокотей А.А. Чинники впливу на формування гніздових орнітокомплексів населених пунктів сільського типу в басейні верхів'я Дністра. *Наукові записки державного природознавчого музею*. Львів, 2004. С. 97-106.
2. Бокотей А.А. та ін. Гніздова орнітофауна басейну Верхнього Дністра. Львів, 2010. 400 с.
3. Грищенко В.Н., Яблоновская-Грищенко Е.Д. Популяция белого аиста (*Ciconia ciconia*) в Украине в 2019 г.: взлет и падение. *Беркут*. 2019. Т. 28, вып. 1-2. С. 23-36.
4. Льїнський С.В. Сучасний стан орнітофауни м.Хмельницький. *Міжвідомчий науковий тематичний збірник «Птахівництво»*. 2008. Вип. 61. С. 1-9.
5. Кошелев О.І., Кошелев В.О., Копилова Т.В., Борисов В.В. Моніторинг воронових птахів у місті Мелітополі: гніздовий і зимовий аспекти. *Екологічні науки*. 2020. Т. 2, № 2 (29). С. 31-39.
6. Лопарьов С.О. Орнітофауна населених пунктів Центру України та її зміни: автореф. дис. ... канд. біол. наук: 03.00.08. Київ, 1997. 23 с.
7. Майхрук М.І., Бокотей А.А. Птахи Тернопілля. Львів, 2019. 244 с.
8. Матвеев М.Д. (1998): Птахи родини синицеві (Paridae) в умовах Поділля : автореф. дис. ... канд. біол. наук: 03.00.08. Київ. 16 с.
9. Матвійчук О.А., Пірхал А.Б., Відуецький А.Б. Птахи Вінничини. Вінниця, 2017. 328 с.
10. Мацюра А.В., Зимарова А.А. Синантропизация Врановых и особенности их адаптаций к антропогенным ландшафтам. *Acta Biologica Sibirica*. 2016. № 2 (1). С. 159-199.
11. Новак В.А., Новак В.В. Хмельницкая область. Результаты зимних учетов птиц России и сопредельных регионов. Зимний сезон 2018/2019 г. Москва, 2019. Вып. 33. С. 41-43.
12. Новак В.А., Новак В.В. Хмельницкая область. Результаты зимних учетов птиц России и сопредельных регионов. Зимний сезон 2019/2020 г. Москва, 2020. Вып. 34. С. 44-46.
13. Новак В.В. Гніздова орнітофауна сіл Летичівського Побужжя: воронові Corvidae. *Збірник наукових праць студентів і магістрантів Кам'янець-Подільського національного університету ім. І. Огієнка. Природничі науки*. 2010. Вип. 4. С. 40-46.
14. Новак В.В. Загальна характеристика фауни та населення птахів сільських населених пунктів Подільського Побужжя. *Беркут*. 2015. Вип. 2, № 24. С. 93-106.
15. Новак В.О. Попередній аналіз орнітофауни проєктованого Національного природного парку «Верхне Побужжя». *Подільський природничий вісник*. Кам'янець-Подільський, 2010. Вип. 1. С. 132-152.
16. Постанова Кабінету Міністрів України «Про Концепцію збереження біологічного різноманіття України». *Національний план дій зі збереження глобально вразливих видів птахів*. Київ, 2000. С. 27.
17. Скільський І.В. Структура й особливості формування та населення птахів середнього міста (на прикладі Чернівців) : автореферат дис. ... канд. біол. наук: 03.00.08. Київ, 2000. 19 с.
18. Тарасенко М.О. Гніздова біологія сорокопуда сірого *Lanius excubitor* L. на Поділлі та рекомендації щодо обліку його чисельності. *Troglodytes*. 2011. Т. 2. С. 66-74.
19. Тищенко А.А. Гнездовая орнітофауна сельских населенных пунктов Приднестровья. *Бранта: сборник трудов Азово-Черноморской орнитологической станции*. 2007. Т. 10. С. 98-111.
20. Фесенко Г.В., Бокотей А.А. Птахи фауни України. Київ, 2002. 412 с.
21. Червона книга України. Тваринний світ. Заг. ред. І.А.Акімова. Київ, 2009. 600 с.
22. Шупова Т.В., Конякін С.Н. Формування гніздових угруповань парків Києва за градієнтом антропогенного тиску в умовах мегаполіса. *Бранта: Збірник наукових праць Азово-Черноморської орнітологічної станції*, 2020. Вип. 23. С. 41-59.
23. Яненко В.О., Лопарев С.О. Динаміка населення птахів родини голубові Columbidae Середнього Придніпров'я за останні десятиліття. *Troglodytes*. Львів, 2012. Т. 3. С. 98-106.
24. Яниш Е.Ю. Результаты долговременных исследований численности врановых птиц в лесостепи Украины. *Тезисы. XIV Международная орнитологическая конференция Северной Евразии*. Алматы, 2015. С. 566–568.
25. Яниш Е.Ю., Дупак В.С. Динамика численности врановых птиц в центральных областях Лесостепи Украины. *Орнитологические исследования в странах Северной Евразии: тезисы XV Международной орнитологической конференции Северной Евразии*. Минск, 2020. С. 520-521.
26. Breeding Bird Atlas of Europe: Working Report 1: Non-Passeriformes. The Netherlands. 1992. 257 p.

ОСОБЛИВОСТІ БІОЛОГІЇ ТА РОЗСЕЛЕННЯ МУРАХ (*FORMICIDAE*) У ЛАНДШАФТНОМУ ЗАКАЗНИКУ «СТОВП'ЯЗЬКІ КРАЄВИДИ»

Трускавецька І.Я.

Університет Григорія Сковороди в Переяславі
вул. Сухомлинського, 30, 08401, м. Переяслав, Київська область
irina-truskaveckaya@ukr.net

У статті представлено результати добової активності мурах та еколого-фауністичні дослідження окремих гнізд-мурашників на декількох ділянках у біотопах ландшафтного заказника «Стовп'язькі краєвиди» Київської області.

На досліджуваній території зареєстровано 14 видів мурах, а саме: *Formica rufa*, *F. fusca*, *F. nigricans*, *Lasius niger*, *L. umbratus*, *L. flavus*, *Camponotus fallax*, *C. ligniperda*, *C. vagus*, *C. herculeanus*, *Messor structor*, *Solenopsis fugax*, *Tetramorium caespitum*, *Myrmica laevinodis*. Зазначені види заселяють лісові, лучні та інші типи біоценозів. Установлено, що тільки в лісах мешкає 5 видів мурах, на відкритих ділянках – 3, у різних типах біотопів (як у лісових, так і відкритих) – 6 видів. У деревині оселяються представники 4 видів, у ґрунті та під камінням мешкають 7 видів. Водночас дуже високі купини-мурашники будує лише один вид – *Formica rufa*.

Виявлено, що харчовий спектр мурах містить дрібних безхребетних (переважно комах), насіння рослин і попелиць. Мурахи живуть у гніздах (мурашниках) великими родинами. Деякі види мурашок виробили захисну реакцію, яка дістала назву соціальний паразитизм. До цих хитрих пристосуванців належить руда лісова мурашка (*Formica rufa*) – звичайний вид, що мешкає у лісах.

Основними факторами зниження чисельності мурах є такі: токсикація ґрунтів, води і навколишнього середовища загалом промисловими і транспортними викидами, добривами та побутовими відходами; скорочення територій, придатних для стабільного і благополучного існування мурашників; механічне руйнування гнізд під час рубок лісу; регулярне руйнування великих мурашників дикими кабанам.

Заселення мурахами ландшафтного заказника «Стовп'язькі краєвиди» характеризується комплексом абіотичних і біотичних факторів середовища. Зокрема, *F. rufa* надає перевагу сухим біотопам, захищеним від вітру, добре прогрітим, але не спекотливим; бура лісова мурашка *F. fusca* для поселення вибирає затінені, вкриті лісовим опалим листям і мохом місця, полюбуючи влаштувати свої гнізда у пнях. Мала лісова мурашка *F. polyctena* надає перевагу галявинам і придорожнім ділянкам.
Ключові слова: мурахи, харчові об'єкти, ландшафтний заказник «Стовп'язькі краєвиди», урочище.

Peculiarities of biology and Formicidae settlement in the “Stovpiazky Landscapes” reserve. Truskavetska I.

The article presents the results of daily activity of ants, ecological and faunal studies of individual anthill nests in several areas in the biotopes of the landscape reserve “Stovpiazky Landscapes” of Kyiv region.

14 species of ants were registered in the study area, namely: *Formica rufa*, *F. fusca*, *F. nigricans*, *Lasius niger*, *L. umbratus*, *L. flavus*, *Camponotus fallax*, *C. ligniperda*, *C. vagus*, *C. herculeanus*, *Messor structor*, *Solenopsis fugax*, *Tetramorium caespitum*, *Myrmica laevinodis*. These species inhabit forest, meadow and other types of biocenoses. It has been established that 5 species of ants live exclusively in forests, 3 species in open areas, and 6 species in different types of biotopes (both forest and open). Representatives of 4 species live in wood, 7 species live in soil and under stones.

It was found that the food spectrum of ants includes small invertebrates (mostly insects), plant seeds and aphids. They live in nests (anthills) in large families. Some species of ants have developed a protective reaction called social parasitism. Such cunning devices include *Formica rufa* – a common species of our forests.

The main factors reducing the number of ants are: toxicity of soils, water and the environment in general by industrial and transport emissions, fertilizers and household waste; reduction of territories suitable for stable and prosperous existence of anthills; mechanical destruction of nests in the process of deforestation.

The ants inhabiting the “Stovpiazky Landscapes” reserve are characterized by a complex of abiotic and biotic environmental factors. Thus, *F. rufa* prefers dry habitats that are protected from the wind, well warmed, but not hot; *F. fusca* for settlement chooses shaded covered with forest fallen leaves and moss. Likes to arrange their nests in stumps; *F. polyctena* prefers lawns and roadside areas.
Key words: ants, food objects, “Stovpiazky Landscapes” reserve, tract, insect behavior.

Постановка проблеми. На Переяславщині, яка за географічним розташуванням знаходиться у межах Київської області, присутні елементи екологічної мережі об'єктів природно-заповідного фонду, спрямовані на збереження і відновлення біологічного різноманіття краю. Серед них варто згадати Національний природний парк «Білоозерський», парк-пам'ятку садово-паркового мистецтва «Ташанський», заповідні

урочища місцевого значення «Крутуха» у с. Стовп'язь, болото Солонці у с. Жовтневе, «Галаганове» біля с. Шевченкове, Студениківські дубові насадження, заказники місцевого значення «Діброва», «Степовий», «Стовп'язькі краєвиди» [1, с. 101].

Перетинчастокрилі є одними із найчисельніших представників тваринного світу майже в усіх екосистемах суходолу нашої планети і відіграють помітну

роль у багатьох природних комплексах. Вони мають різноманітний характер живлення: споживають насіння рослин, нектар і пилок квіток, медову росу, попелиць. Серед них є активні хижаки, здатні суттєво впливати на чисельність і структуру популяцій багатьох безхребетних, – це передусім руді лісові мурашки *Formica rufa* та *Formica polyctena*, які захищають ліс від шкідників [3, с. 23].

Актуальність дослідження. Мурахи є важливим складником багатьох біоценозів, де виконують роль редуцентів, фітофагів, хижаків, поширювачів насіння багатьох рослин. Деякі види можуть бути проміжними хазяями гельмінтів – паразитів свійських тварин і людини.

Комахи знищують велику кількість шкідників лісу – гусениць п'ядунів, листовійок, личинок пильщиків та інших. Підраховано, що сім'я одного мурашника знищує за добу 10-30 тис. комах, із яких 80 – шкідники. У радіусі 40 м лісонасаджень мурашки знищують майже всіх шкідників. Якщо на 1 га лісонасаджень знаходяться 4-5 мурашників, то мурахи повністю знищують шкідників [2, с. 128].

Лісові мурахи ефективно захищають деревостій від багатьох листо- та хвоєгризучих фітофагів, забезпечують збільшення чисельності інших лісових ентомофагів, є активними ґрунтоутворювачами. Прокладаючи у ґрунті численні ходи, комахи родини Мурашки (*Formicidae*) сприяють його аерації, проникненню вологи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Спеціальних фауністичних досліджень на території ландшафтного заказника раніше не проводилось, існують лише фрагментарні відомості про рослинний і тваринний світ регіону, які ми знаходимо в узагальнюючих працях О.С. Роговича, Й.К. Пачоського, В.В. Монтрезора, Ю.Д. Клеопова, М.В. Дубовика, М.М. Бортняка, В.К. М'якушко, В.І. Чопика, О.А. Ярової та інших [2; 3; 4].

Наша робота ґрунтується на опрацюванні особистих зборів і результатів досліджень, проведених упродовж липня-серпня 2019-2020 років на території ландшафтного заказника місцевого значення «Стовп'язькі краєвиди» Переяслав-Хмельницького району Київської області, а також на використаних матеріалах науковців, які вивчали околиці Переяславщини.

Ландшафтний заказник місцевого значення «Стовп'язькі краєвиди» – один із об'єктів природно-заповідного фонду Київської області, розташований у Бориспільському районі Київської області; він має природоохоронну, наукову та естетичну цінність. Загальна площа ландшафтного заказника місцевого значення «Стовп'язькі краєвиди» становить 118,2 га [1, с. 104].

Новизна полягає у тому, що під час аналізу літературних джерел і власних спостережень на території ландшафтного заказника «Стовп'язькі краєвиди» нами досліджено біологічні особливості і значення

рудих лісових мурах, проведено фенологічні спостереження, вивчено особливості поведінки мурах у мурашниках та їх активність харчування.

Методологічне або загальнонаукове значення. Під час виконання дослідження були використані загальнонаукові емпіричні методи (аналіз і синтез, експеримент, моделювання) і теоретичні методи досліджень (аналітичний, формалізації та аргументування).

Стаціонарні дослідження та обліки проводили під час маршрутних обстежень на околицях ландшафтного заказника «Стовп'язькі краєвиди» Переяслав-Хмельницького району, який охоплює п'ять урочищ: «Торфорозробка», «Іваненків гай», «Вільшаники», «Ліс за Войцехівським» та «Кавказ» [1, с. 105].

Виклад основного матеріалу. Мурахи (*Formicidae*) – найважливіший компонент екосистем; вони є основними хижаками серед безхребетних. Більшість мурашок будують гнізда у землі, а складні та переплетені ходи досягають глибини декількох метрів, поліпшуючи структуру ґрунту. Шар гумусу біля мурашника, особливо на піщаних ґрунтах, удвічі-утричі більший, ніж за його межами.

Успішність їх зумовлена соціальною організацією, здатністю змінювати місце проживання і використовувати різноманітні харчові ресурси. Із мурах Київщини найбільш помітні види роду *Formica* через відносно великі розміри, чисельність родин і примітивні гнізда-куполи із рослинних залишків. Дослідження особливостей харчування мурах є актуальним із огляду на потенційну можливість використання їх для біологічної боротьби з хвоє- і листогризучими комахами. Динаміка добової активності мурах, як і більшості видів безхребетних, пов'язана з абіотичними факторами, такими як температура ґрунту, її вологість, сонячна радіація, а також із біотичними – наявністю харчових ресурсів, інтенсивністю розмноження, міжвидовою конкуренцією [4, с. 92]. Відомості про залежність інтенсивності мурах конкретного місця проживання становлять безсумнівний інтерес і для лісового господарства [3, с. 26].

Мета нашого дослідження – вивчення особливостей харчування і добової активності мурах роду *Formica* у лісо-степових біотопах Київської області.

Дослідження харчування мурах роду *Formica* проводили у сонячний період (червень-липень 2019 року, травень 2020 року) у ландшафтному заказнику місцевого значення «Стовп'язькі краєвиди». Для спостережень були обрані два види мурашок: руді лісові мурахи (*F. rufa* Linnaeus) і лугова мураха (*F. pratensis* Retzius).

Вибрані сім'ї живуть у різних біотопах: *F. rufa* – у мішаному лісі та в полі; *F. pratensis* – на степових ділянках. Поблизу м. Переяслава дві родини мурах роду *Formica* населяють ландшафтний заказник «Стовп'язькі краєвиди». Задля вивчення кормових об'єктів протягом години вранці і ввечері ми відбирали у мурах їхню «ношу». Загалом було вилучено

1244 об'єкта: 273 – у липні 2019 року (один мурашник), 556 – у травні 2020 року (три мурашника).

Для визначення розсіювання харчових часточок із різних груп було використано середнє відхилення, розраховане на підставі оцінки дисперсії.

Дослідження добової активності мурах виду *F. pratensis* ми проводили у сонячні дні (активність у мурашниках поодиноких особин у нічний час до 7-8 ранку не враховувалася). У червні-липні 2019 і 2020 років мурах зафіксовано в урочищі «Іваненків гай», розташованому на околицях с. Комуна (площа 58,0 га), який складається із чотирьох частин, представлених лісовими ділянками сосново-дубових, соснових і вільхових насаджень; вид *F. rufa* – у червні-липні в урочищі «Вільшаники», розташованому на околицях с. Гречаники і представленому лісом із вільхи клейкої переважно порослевого походження. Флористичне ядро тут становлять болотна папороть, паслін солодко-гіркий, хміль звичайний, сідач конопляний, осока видовжена, осока гостроподібна, вербозілля лучне, валеріана болотна, м'ята водяна.

Для оцінки загальної активності упродовж п'яти хвилин реєстрували комах, які виходили та заходили у мурашник [5, с. 119].

Важливо відзначити, що температурні межі для активності комах не є головною особливістю виду і можуть змінюватися в особин тієї ж самої сім'ї у широких межах (близько 3-5°C) залежно від звикання до високої (або низької) температури. Оптимальна температура залежить від умов помешкання мурах. Наприклад, особини *F. rufa*, вирощені

за температури 3-4°C, надають перевагу температурі 23-24°C, а вирощені за температури 25-27°C – 31-32°C. Застосовуючи таку температурну кореляцію розвитку мурах, весь період спостережень за погодними умовами був розділений на теплі дні із середньою температурою 27°C (максимальною – 35°C, 17 хв.), дощові – із середньою температурою 20°C (максимальною – 21°C, 19 хв.), спекотні дні із середньою температурою 31°C (максимальною – 34°C, 20 хв.).

Усього було враховано 29618 особин мурах. Як показали результати спостережень, основними харчовими продуктами рудих лісових мурах виступали дрібні безхребетні тварини із розмірами не більше 25 мм. Це були імаго комах і їхні личинки рядів *Lepidoptera*, *Coleoptera*, *Hemiptera*, *Diptera*, *Hymenoptera*, *Orthoptera*, *Ephemeroptera*, *Odonata*, *Dermoptera*, *Trichoptera*, *Raphidioptera*. Із інших класів траплялися мокриці (клас *Malacostraca*, ряд *Isopoda*), павуки (клас *Arachnida*, отр. *Aranei*), багатоніжки (клас *Chilopoda*, ряд *Lithobiomorpha*), із класу малоштиткових черв'яків (*Oligochaeta*) – дощові черв'яки. У невеликій кількості були представлені насіння липи, берези і глоду. Як вуглеводну їжу мурах використовували падь попелиць, які харчуються на рослинах і листях дерев на відстані 2-30 м від гнізд (мурашників).

За даними табл. 1, переважаючими групами у харчуванні мурах роду *Formica* у липні 2019 року були схожі харчові спектри мурах із різних біотопів. Основний корм – товстоніжки (*Bibio*) – становили від 58,3% (мурашник у лісі) до 77,3% (мурашник у полі). Більшу частину харчових об'єктів становили

Таблиця 1

Розподіл харчових часточок мурах *Formica* за таксономічними групами, %

Харчові частки	Кількість у різні періоди, %		
	Урочище «Іваненків гай»	Урочище «Вільшаники»	Урочище «Ліс за Войцехівським»
	липень 2019 р.	травень 2020 р.	серпень-вересень 2020 р.
Комахи і їхні личинки	87,4	92,2	80,6
<i>Dermoptera</i>	0,7	6,8	0
<i>Lepidoptera</i>	9,5	35,6	8,2
<i>Coleoptera</i>	4,7	16,0	22,4
<i>Hemiptera</i>	1,3	2,5	1,5
<i>Diptera</i>	65,5	9,3	13,4
<i>Hymenoptera</i>	5,4	21,4	23,9
<i>Orthoptera</i>	0	0	9
<i>Ephemeroptera</i>	0	0	2,2
<i>Odonata</i>	0	0	0
<i>Trichoptera</i>	0,4	0	0
<i>Raphidioptera</i>	0	0,7	0
<i>Aranei</i>	2,9	2,1	3,0
<i>Isopoda</i>	2,2	3,9	1,5
<i>Lithobiomorph</i>	0	0	1,5
<i>Naplotaxida</i>	0,2	0	1,5
Невизначені об'єкти	0	0	11,9
Насіння рослин	7,4	1,8	0

Результати фенологічних спостережень за поведінкою рудих лісових мурах

Період	Поведінка комах
Перша половина квітня	Мурахи виходять із зимових гнізд, виносять із них трупи мурашок, які загинули під час зимівлі, очищають камери та ходи від дрібного сміття, прокладають ходи у ґрунті та на деревах. Спочатку мурахи живляться солодкими виділеннями попелиць, збирають рештки комах.
Друга половина квітня	Починають полювати на гусінь
Середина червня	Численні крилаті особини (самки і самці) з'являються на куполі мурашника
Середина жовтня	Закупорювання входів до мурашника, підготовка до зимівлі

двокрилі та лускокрилі – 65,5 і 9,5% відповідно. У травні 2020 року співвідношення принесених у гніздо кормових об'єктів у різних біотопах були різними. Більша частина (45,2%) кормових об'єктів мурах у лісі припадала на лускокрилих (переважно це гусінь совок). Окрім того, у цій сім'ї був найрізноманітнішим харчовий раціон: тільки у них були присутні щипавки, мокриці, верблюдки. Комахи, які живуть у полі, споживали переважно комах трьох рядів: перетинчастокрилих (37,1%), лускокрилих (34,3%, переважали гусені совок) і жуків (20%). У лучних мурашок основу харчування становили двокрилі (39%), жуки (26,8%) і перетинчастокрилі (24,4%).

Серед мурах роду *Formica* в лісовому масиві ландшафтного заказника «Стовп'язькі краєвиди» найчастіше зустрічалися комахи таких рядів: Перетинчастокрилі (23,9%), Твердокрилі (22,4%) і Двокрилі (13,4%).

За годину спостережень у липні 2019 року у середньому було вилучено 27,3% об'єктів, у травні 2020 року – 42,5 % об'єкти. У лісових біотопах околиць м. Переяслава середня кількість вилучених об'єктів за годину спостережень становила 5,4%. Споживання білкової їжі інтенсивніше тривало весною 2020 року, що можна пояснити підготовкою мурашників до вильоту крилатих статевих особин, яке відбулося у кінці червня.

У травні 2020 року погодні умови були менш сприятливими для життєдіяльності мурах. Середня температура повітря в лісі у денний час була 15°C (максимальна – 22°C, мінімальна – 10°C), що призвело до зниження активності робочих мурах.

У дощові дні кількість урахованих особин знижувалася в 1,6 рази порівняно з кількістю особин у теплі ясні дні, але водночас активність сім'ї зберігалася протягом усього дня.

Прикладом може виступати сім'я *F. rufa* із лісового біотопу урочища «Вільшаники», де упродовж дня температура приземного шару повітря не піднімалася вище 28°C (середня – 24°C), але протягом усього дня спостерігалася досить рівна активність мурах. Максимальна активність відмічена у першій половині дня (до 14.00 год.), коли середня кількість урахованих особин рухалась із мурашника. У цей період комах було в 1,5 рази більше, ніж кількість особин, урахованих після 14.00 години, і у 2,4 рази

більше, ніж мінімальна кількість за день. Після 19.00 години різко зросла кількість особин, які поверталися у мурашник: їх було утричі більше, ніж тих, які виходили із нього.

Після 21-ї години за температури 22°C їхня активність падала: кількість урахованих особин була у 2,7 разів меншою, ніж у середньому за день, і у 3,6 разів менше, ніж максимальна за день.

Під час роботи нами проведені морфометричні дослідження окремих гнізд-мурашників на декількох стаціонарних ділянках, зокрема у с. Гречаники. Водночас вимірювалася висота і діаметр куполу. Обстеження мурашиних комплексів проводили впродовж літньо-осіннього періоду, коли стан більшості мурашників відповідав оптимуму за своїми морфометричними показниками. Результати фенологічних спостережень за поведінкою рудих лісових комах представлена на табл. 2.

За даними табл. 2, мурашки вибирають місце для мурашника із добре зволуженим ґрунтом і дуже рідко селяться на сухих піщаних ділянках лісу.

У хвойних і мішаних ділянках лісу мурашник побудований переважно з ялинової або соснової хвої, нерідко на куполі можна побачити грудочки смоли хвойних дерев. Літом смола на сонці плавиться, склеює хвоїнки та утворює міцну покрівлю. Мурашки завжди зайняті будівельними роботами. Вони постійно перебирають і перекладають хвоїнки на куполі для запобігання їх покриттю цвіллю, додають туди постійно нові. На куполі хвоїнки укладають майстерно, тому під час дощу вода швидко стікає на землю. Яйця, личинки та лялечки надійно вкриті хвойним дахом; якщо купол мурашника сильно пошкоджений і мурашки не встигають відновити його під час дощів, це призводить до загибелі мурашиної сім'ї. У березняках і дубах зовнішній купол мурашника викладений із дрібних березових і дубових гілок.

Мурашники досліджених ділянок оточені хашами зірочника, чистотілу, кропиви, ожини, малини тощо; ці рослини, дійсно, значно більші за тих, які знаходяться на відстані від мурашника. Ягоди на цих рослинах соковитіші, у 1,5-2 рази є більшими та солодшими. На нашу думку, це пов'язано з тим, що у ґрунті мурашки мають спеціальні камери, куди скидають харчові відходи. Згодом на цих місцях утворюються ділянки перегною.

Головні висновки. Мурахи є важливим складником гетеротрофної ланки кругообігу речовин лісового біогеоценозу. Значення мурашок визначається не лише їх кількістю, а насамперед особливостями способу життя мурах, їхнім харчуванням і взаємозв'язками з іншими тваринами, рослинами, ґрунтом.

На нашу думку, вивчення особливостей життєдіяльності, поведінки мурах, їхніх взаємозв'язків у екосистемі лісу є досить важливим аспектом, який не тільки допоможе нам краще зрозуміти їхню роль у природі, але і мотивує стимулювати природоохоронну діяльність.

Основу харчування мурах становлять дрібні комахи і їхні личинки рядів Lepidoptera, Coleoptera, Diptera, Hymenoptera. Виявлено, що мурахи досліджених видів здатні переходити до найбільш масового виду корму, який з'являється на території про-

живання, тим самим сприяючи регуляції чисельності видів комах у біотопі у цей момент. Обидва види мурашок є активними у денний час, але *Formica pratensis* робить «вимушену перерву» активності у спекотний період через високу температуру повітря у денні години на відкритих ділянках ландшафту.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати наукового дослідження послугують цікавим навчальним матеріалом під час вивчення шкільного курсу біології учнями 7 класу і виконання ними практичної роботи «Виявлення прикладів пристосувань до способу життя у комах», а також під час підготовки майбутніх учителів до проведення позакласних занять із біології у школі, проведення фенологічних спостережень, дослідництва природоохоронних об'єктів Переяславщини, підготовки робіт Малої академії наук (МАН).

Література

1. Носаченко В. Природні туристично-рекреаційні ресурси Переяслав-хмельницького району Київської області. *XIII Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Сучасна гуманітаристика»*. С.101-112.
2. Радченко О. Г. Лісові санітари: навч. посіб. Київ : Урожай, 1988. 128 с.
3. Решновецький С.Л., Терепищій С.О. Чорні садові мурахи в соснових лісах Боярського лісництва. *Вісник Харківського інституту соціального прогресу. Серія: Екологія, техногенна безпека і соціальний прогрес*. 2003. Вип. 1-2 (3-4). С. 23-26.
4. Фасулаті К.К., Кижаєва К. Я. До вивчення фауни і екології мурашок (Hymenoptera, Formicidae) Українських Карпат. Комахи Українських Карпат і Закарпаття. Київ, 1966. С. 92-99.
5. Цюбик М. М., Радченко О. Г. Різноманіття мурашок (Hymenoptera, Formicidae) Карпатського регіону та проблеми його збереження. Охорона та раціональне використання природних ресурсів Українських Карпат. Ужгород, 2008. С. 119-121.

ТЕРМОФІЛЬНІ ЧАГАРНИКОВІ УГРУПОВАННЯ ПІВДЕННО-СХІДНОГО КРИМУ

Фіцайло Т.В.

Інститут ботаніки імені М.Г. Холодного
Національної академії наук України
вул. Терещенківська, 2, 01004, м. Київ
tfitsailo@gmail.com

У Криму чагарникові зарості приурочені до кам'янистих еродованих коричневих ґрунтів із підстилаючими карбонатними породами, які зростають в умовах посушливого середземноморського клімату, формуючи як узлісся, так і окремі чагарникові комплекси на місці пухнасто-дубових, ялівцевих та фісташкових рідколісь. Деградація пухнасто-дубових лісів, ялівцевих і фісташкових рідколісь призводить до утворення чагарникових угруповань, які, у свою чергу, можуть змінитися на трав'янисті ценози або на значно еродовані екотопи залежно від крутизни схилів і зволоження. Але за сприятливих екологічних умов і зменшення антропогенного впливу чагарникові угруповання можуть стати осередком відновлення лісової рослинності. На території Південно-Східного Криму виділено три нових синтаксони чагарникової рослинності класу Rhamno-Prunetea: ценози асоціації *Junipero (oxycedri)-Ligustretum (vulgari)* заселяють екотопи східних, західних і південно-західних схилів масиву Агармиш крутизною 5-20° з бурими карбонатними кам'янисто-щебенистими ґрунтами та фрагментарно (на ділянках із крутизною 15-20°) із сірими гірськими еродованими ґрунтами; угруповання асоціації *Corno (maris)-Crataegum taurici* переважно поширені на хр. Узун-Сирт і фрагментарно – на хр. Сюрю-Кая на ділянках із бурими карбонатними кам'янисто-щебенистими ґрунтами і темно-сірими карбонатними ґрунтами; ценози асоціації *Bromopsidoso (cappadocicae)-Cotoneastretum (taurici)* поширені на ділянках різної експозиції із крутизною <5-35° на бурих карбонатних щебенистих та сірих гірських еродованих ґрунтах у *Кардазькому* природному заповіднику. Описані угруповання часто виступають як сукцесійні стадії змін пухнасто-дубових та ялівцевих лісів на крутих схилах зі зливом ґрунтів, де відбувається зрідження деревостану і формуються чагарникові ценози із *Cotinus coggygria*, *Cotoneaster tauricus*, видами роду *Crataegus*, *Cornus mas*, *Prunus stepposa*, видами роду *Rosa*, *Ulmus suberosa*. **Ключові слова:** класифікація, Rhamno-Prunetea, Berberidion, чагарникові угруповання, Крим.

Thermophilic shrub communities of the South-Eastern Crimea. Fitsailo T.

In Crimea, shrub thickets are confined to the stony, eroded brown soils with underlying carbonate rocks. They grow in the arid Mediterranean climate, forming edges and individual shrub complexes in the place of the downy oak, juniper, and pistachio sparse forests. Degradation of the downy oak forests, juniper, and pistachio sparse forests leads to the formation of the shrub communities, which in turn could be changed into the grassy cenoses or significantly eroded ecotopes, depending on the steepness of the slopes and moisture. But under favorable environmental conditions and reduced anthropogenic impact, shrub communities may become a center for forest vegetation restoration. Three new syntaxa of the shrub communities of the class Rhamno-Prunetea had been identified in the South-Eastern Crimea: cenoses of the association *Junipero (oxycedri)-Ligustretum (vulgari)* occupy ecotopes of the eastern, western, and south-western Agarmysh massif slopes with a steepness of 5-20°, on brown carbonate stony-gravelly soils and fragmentary on gray mountain eroded soils in areas with a slope of 15-20°; communities of the association *Corno (maris)-Crataegum taurici* are mainly distributed on Uzun-Sirte ridge and fragmentary on the Suryu-Kaya ridge in the areas on brown carbonate stony-gravelly soils and dark gray carbonate soils; cenoses of the association *Bromopsidoso (cappadocicae) – Cotoneastretum (taurici)* are common in the areas of different exposure with a steepness <5-35°, on brown carbonate gravelly and gray eroded soils in the mountains of the Karadag Nature Reserve. The described communities often act as successive stages of the changes in downy and juniper forests on the steep land-loss eroded slopes, where the forest stand becomes sparse and shrub cenoses with *Cotinus coggygria*, *Cotoneaster tauricus*, species of the genus *Crataegus*, *Cornus mas*, *Prunus stepposa*, species of the genus *Rosa*, *Ulmus suberosa* are formed. **Key words:** classification, Rhamno-Prunetea, Berberidion, shrub communities, Crimea.

Постановка проблеми. Чагарникові угруповання – своєрідний «синтаксономічний екотон», який відрізняється від інших типів рослинності особливою життєвою формою і має азональне розповсюдження. Певною мірою ці угруповання є сполучною ланкою, яка поєднує лісову рослинність зі степовою. В Європі дослідження чагарникових угруповань розпочалися досить давно [19; 24; 27; 29]. За флористичною класифікацією Браун-Бланке цей тип рослинності в Україні майже зовсім не вивчався. Окремими авторами наводилися лише загальні характеристики чагарникових угруповань, які відносили їх до союзу Prunion spinosae [9; 6; 7; 1; 12].

Актуальність дослідження. Для Криму В.В. Корженевским були описані угруповання, що формуються на молодих і старих зсувах, у депресіях, в жолобах видування прислонених дюн і мають широке розповсюдження на Керченському півострові і Тарханкуті [3]. Нами надано характеристику деяких чагарникових угруповань Криму, але за недостатньої кількості описів не було змоги виділити синтаксони нижчого рангу [13; 15]. Підсумки синтаксономічних досліджень були підведені у «Продромусі рослинності України» [11]. Угруповання класу Rhamno-Prunetea в Україні представлені 1 порядком, 6 союзами,

30 асоціаціями, із яких 1 союз і 14 асоціацій описані вперше та є новими для науки [11; 14; 16].

У Криму чагарникові зарості приурочені до кам'янистих, еродованих коричневих ґрунтів із підстилаючими карбонатними породами, які зростають в умовах посушливого середземноморського клімату, формуючи як узлісся, так і окремі чагарникові комплекси на місці пухнасто-дубових, ялівцевих і фісташкових рідколісь [2; 4].

Деградація пухнасто-дубових лісів, ялівцевих і фісташкових рідколісь призводить до утворення чагарникових угруповань, які, у свою чергу, можуть змінитися на трав'янисті ценози або на значно еродовані екотопи залежно від крутизни схилів і зволоження. Але за сприятливих екологічних умов і зменшення антропогенного впливу чагарникові угруповання можуть стати осередком відновлення лісової рослинності.

Метою роботи є характеристика нових для науки синтаксонів чагарникової рослинності, які сприятимуть розвитку класифікації класу *Rhamno-Prunetea* у Криму та в Україні загалом.

Матеріали і методи роботи. Дослідження проводилися протягом 2003 та 2007 років у південно-східній частині гірського Криму маршрутним методом із використанням еколого-флористичних критеріїв опису рослинних угруповань. Ділянки для геоботанічних описів не мали стандартного розміру, а залежали від цілісності і сформованості чагарникових ценозів (але не менше 2м x 2м). Загалом для аналізу залучено близько 100 геоботанічних описів. Оцінка кількісної участі видів у ценозах проводилася за модифікованою шкалою Б.М. Міркіна [5], де + – менше 1%, 1 – 1-5%, 2 – 6-15%, 3 – 16-25%, 4 – 26-49%, 5 – 50% і більше. В якості програмного носія бази даних використано TURBO(VEG) [20]. На основі отриманого масиву був сформований експортний файл, який у подальшому проаналізовано із використанням програмного пакету JUICE 7.0 [26] і розділено на фітоценози різної ієрархічної спорідненості. За основу одиниць вищого рангу ми взяли класифікацію рослинності, наведену у «Продромусі рослинності України» [11]. Окрім того, враховано синтаксономічні побудови провідних європейських фітоценологів [17; 18; 21; 22; 23; 25; 28]. Опис нових синтаксонів здійснено згідно з Кодексом фітосоціологічної номенклатури [30]. Види рослин подано за визначником рослин [8].

Виклад основного матеріалу. Досліджувані чагарникові угруповання локалізовані на схилах Головної гряди, на ділянках із бурими гірськими щербенистими ґрунтами та південно-бережних ділянках (заповідник Карадаг) із коричневими щербенистими ґрунтами різного ступеня карбонатності. Клімат перехідний від середземноморського до помірно-континентального (середньорічна температура – +9-+11°C, середньорічна кількість опадів – 300-500 мм) [4; 10].

Опрацювавши геоботанічні матеріали, нами отримано синтаксономічну схему чагарникової рослинності, яку наводимо нижче. Три асоціації наводяться уперше.

Rhamno-Prunetea Rivas Goday et Carb. 1961

Prunetalia spinosae R. Tx. 1952

Berberidion vulgaris Br.-Bl. 1950

Junipero (oxycedri)-Ligustretum (vulgari) Fitsailo ass. nova hoc loco

Corno (maris)-Crataegetum taurici Fitsailo ass. nova hoc loco

Bromopsidoso (cappadocicae)-Cotoneastretum (taurici) Fitsailo ass. nova hoc loco

***Junipero (oxycedri)-Ligustretum (vulgari)* Fitsailo ass. nova hoc loco**

Номенклатурний тип асоціації: таблиця, опис № 738 (holotypus) виконаний Т.В. Фіцайло 31.05.2007 р. на схилі з бурими карбонатними кам'янисто-щербенистими ґрунтами масиву Агармиш, Білогірського р-ну, АР Крим. Опис здійснено на схилі (<10°) південно-західної експозиції. Зімкнутість чагарників становить 1.0, проєктивне покриття трав'яного ярусу – 15%, видова насиченість – 14 видів.

Діагностичні види: *Juniperus oxycedrus* L., *Ligustrum vulgare* L., *Berberis vulgaris* L., *Rhamnus cathartica* L., *Euonymus verrucosa* Scop., *Galium album* Mill., *G. biebirsteinii* Ehrend., *Geranium sanguineum* L.

Склад і структура. Чагарниковий ярус угруповань зімкнутістю 0,6-1,0 формують *Juniperus oxycedrus*, *Ligustrum vulgare*, *Berberis vulgaris*, із значною участю *Rhamnus cathartica*, *Euonymus verrucosa* *Cotoneaster tauricus* Pojark. В угрупованні також добре представлені (із постійністю II і III бали) *Prunus stepposa* Kotov, *Rosa rubiginosa* L., *Cotinus coggygria* Scop., *Swida australis* (C.A. Mey.) Pojark. ex Grossh. Зрідка зустрічаються *Rosa turcica* Rouy, *R. pimpinellifolia* L., *Amygdalus nana* L., *Jasminum fruticans* L. Трав'яний покрив (ПП 5-20%) утворюють, крім діагностичних видів, *Teucrium chamaedrys* L., *Festuca valesiaca* Gaudin, *Melampyrum arvense* L., *Cruciata taurica* (Pall. ex Willd.) Soo, *Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce, *Filipendula vulgaris* Moench.

Місцезростання і поширення. Угруповання поширені на ділянках східних, західних та південно-західних схилів крутизною 5-20° з бурими карбонатними кам'янисто-щербенистими ґрунтами та фрагментарно (на ділянках з крутизною 15-20°) із сірими гірськими еродованими ґрунтами.

***Corno (maris)-Crataegetum taurici* Fitsailo ass. nova hoc loco**

Номенклатурний тип асоціації: таблиця, опис № 862 (holotypus) виконаний Т.В. Фіцайло 06.06.2007 р. на північному схилі хр. Узун-Сирт, Феодосійського р-ну АР Крим. Опис здійснено на схилі (< 5°) північної експозиції. Зімкнутість чагарників становить 1.0, проєктивне покриття трав'яного ярусу – 5%, видова насиченість – 14 видів.

Діагностичні види: *Cornus mas* L., *Crataegus taurica* Pojark., *Rosa corymbifera* Borkh., *Paeonia tenuifolia* L., *Viola hirta* L., *Thalictrum minus* L.

Склад і структура. Чагарниковий ярус (зімкнутість 0,9-1,0) угруповань сформований, окрім діагностичних видів, також *Cotinus coggygia*, *Prunus stepposa*, *Rosa rubiginosa* із незначною домішкою *Ligustrum vulgare*, *Rhamnus cathartica*, *Crataegus microphylla* K. Koch, *C. stevenii* Pojark., *Rosa jundzillii* Besser. У трав'яному покриві (ПП 5-15%) переважають *Paeonia tenuifolia* L., *Filipendula vulgaris*, трохи меншу участь у формуванні ценозів беруть *Medicago romanica* Prodan, *Agrimonia eupatoria* L., *Origanum vulgare* L.

Місцезростання і поширення. Угруповання переважно поширені на хр. Узун-Сирт і фрагментарно – на хр. Сюрю-Кая на ділянках з бурими карбонатними кам'янисто-щебенистими і темно-сірими карбонатними ґрунтами.

***Bromopsidoso (cappadocicae)-Cotoneastretum (taurici) Fitsailo* ass. nova hoc loco**

Номенклатурний тип асоціації: таблиця, опис №26 (holotypus) виконаний Т.В. Фіцайло 28.07.2003 р. на Північному перевалі, у *Карадазькому* природному заповіднику, Феодосійського р-ну АР Крим. Опис здійснено на схилі (<15°) північної експозиції. Зімкнутість чагарників становить 1.0, проєктивне покриття трав'яного ярусу – 25%, видова насиченість – 20 видів.

Діагностичні види: *Cotoneaster tauricus*, *Bromopsis cappadocica* (Boiss. et Bal.) Holub, *Rosa*

canina L., *Crataegus ceratocarpa* Kossyach, *Elytrigia nodosa* (Nevski) Nevski.

Склад і структура. Чагарниковий ярус формують *Cotoneaster tauricus*, *Rosa canina*, *Crataegus ceratocarpa* із незначною участю *Cotinus coggygia*, *Pyrus elaeagnifolia* Pall., *Rosa rugosa* M. Bieb. Трав'яний покрив (ПП 5-25%) формують *Bromopsis cappadocica*, *Teucrium chamaedrys*, *Medicago romanica*, із постійністю III бали зустрічаються такі види: *Asparagus verticillatus* L., *Melica transsilvanica* Schur, *Dactylis glomerata* L., *Phlomis taurica* Hartwiss ex Bunge.

Місцезростання і поширення. Угруповання цієї асоціації поширені на ділянках різної експозиції із крутизою <5-35° на бурих карбонатних щербенистих та сірих гірських еродованих ґрунтах у *Карадазькому* природному заповіднику.

Головні висновки. Отже, в межах термофільного союзу чагарникової рослинності Berberidion виділено три нові асоціації. Угруповання представляють різні ценотичні формування: від узлісних, шлейфових до відокремлених від лісу чагарникових ценозів, які заповнюють притаманні їм екологічні ніші. Описані угруповання виступають часто як сукцесійні стадії змін пухнасто-дубових та ялівцевих лісів, де на крутих схилах зі змивом ґрунтів відбувається зрідження деревостану і формування чагарникових ценозів з *Cotinus coggygia*, *Cotoneaster tauricus*, видів роду *Crataegus*, *Cornus mas*, *Prunus stepposa*, видів роду *Rosa*, *Ulmus suberosa*.

Література

- Гончаренко І.В. Флористична класифікація лісів лісостепової Сумщини. *Український фітоценологічний збірник*. Сер. А. 2001. Вип. 1 (17). С. 3-17.
- Дидух Я.П. Растительный покров Горного Крыма (структура, динамика, эволюция, охрана). Київ: Наук. думка, 1992. 256 с.
- Корженевский В.В. Кустарниковые сообщества Керченского полуострова (Класс Urtico-Sambucetea Doing 1962 em Pass. 1968). Структура флоры и растительности Крыма: *Труды Никит. ботан. сада*. 1997. Т. 117. С. 110-120.
- Кочкин М.А. Почвы, леса и климат Горного Крыма и пути их рационального использования. Москва: Колос, 1967. 368 с.
- Миркин Б. М., Розенберг Г. С., Наумова Л. Г. Словарь понятий и терминов современной фитоценологии. Москва: Наука. 1989. 223 с.
- Онищенко В.А. Рослинність природного заповідника «Медобори»: автореф. дис. ... канд. біол. наук: спец. 03.00.05. Київ, 2000. 19 с.
- Онищенко В.А. Флористична класифікація рослинності Українського Полісся. Фіторізноманіття Українського Полісся та його охорона; за ред. Т.Л. Андрієнко. Київ: Фітосоціоцентр, 2006. С. 43-84.
- Определитель высших растений Украины. Київ: Наук. думка, 1987. 548 с.
- Орлов О.О., Якушенко Д.М. Рослинний покрив проєктованого Коростишівського національного природного парку. Київ: Фітосоціоцентр, 2005. 180 с.
- Подгородецкий П.Д. Крым. Природа. Справ. изд. Симферополь. Таврия. 1988. 192 с.
- Дубина Д.В., Дзюба Т.П., Ємельянова С.М. та ін. Прогноз рослинності України. Київ: Наукова думка, 2019. 788 с.
- Соломаха В.А., Якушенко Д.М., Крамарець В.О. та ін. Національний природний парк «Сколівські Бескиди». Рослинний світ. Київ: Фітосоціоцентр, 2004. 240 с.
- Фіцайло Т.В. Чагарникові угруповання Карадагу. «Заповідники Крыма: заповедное дело, биоразнообразие, экообразование». Мат-лы III Крымской конференции, (22 апреля 2005 г., Симферополь, Крым) Ч. 1. География, заповедное дело, лесоведение. Симферополь: КРА «Экология и мир». 2005. С. 280-285.
- Фіцайло Т.В. *Lamio rugosae-Aegilion tatarici* – новий союз класу Rhamno-Prunetea Rivas Goday et Carb. 1961. *Вісник Львівського ун-ту*. Серія біологічна. 2007. Вип. 43. С. 115-125.
- Фіцайло Т.В. Скупієво-жасминові угруповання південно-східної частини Гірського Криму. «Заповідники Крыма-2007». Мат-лы IV Крымской междунар. научно-практической конф. (2 ноября 2007 г., Симферополь). Ч. 1. Ботаника. Общие вопросы охраны природы. Симферополь, 2007. С. 170-174.
- Фіцайло Т.В. Чагарникова рослинність Подільсько-Бессарабського Придністров'я. *Вісник Львівського ун-ту. Серія біологічна*. 2016. Вип. 71. С. 72-84.

17. Biondi E., Blasi C., Allegrizza M. et al. Plant communities of Italy: The Vegetation Prodrôme. Plant Biosystems – An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology. 2014. Vol.148 (4). P. 728-814.
18. De Foucault B., Julve Ph. Syntaxonomie des communaute's arbustives des Rhamno catharticae-Prunetea spinosae Rivas-Goday & Borja-Carbonell 1961 en Europe. Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich. 2001. Vol.138. P. 177–243.
19. Doing H. Sistematische Ordnung und floristische Zusammensetzung niederländischer Wald- und Gebüschgesellschaften. Wentia. 1962. No 8. P.1-85.
20. Hennekens S.M., Schaminée J .H.J. *TURBOVEG*, a comprehensive data base management system for vegetation data. *Journal of Vegetation Science*. 2001. No12. P. 589–591.
21. Matuszkiewicz W. Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 2001. 537 p.
22. Moravec J. a kol. Rostlinná spoločenstva České republiky a jejich ochrození. Severočes. Přír., Litoměřice, Příloha, 1995. 206 s.
23. Mucina L., Bültmann H., Dierßen K., et al. Vegetation of Europe: hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen, and algal communities. *Applied Vegetation Science*. 2016. Vol. 19 (1). P. 1-783.
24. Oberdorfer E. Süddeutsche Pflanzengesellschaften. Pflanzensoziologie. 1957. No 10. 564 s.
25. Sanda V., Öllerer K., Burescu P. Fitocenozele din România. Sintaxonomia, structură, dinamică și evoluție. București: Universitatea din București, 2008. 576 p.
26. Tichý L. JUICE, software for vegetation classification. *Journal of Vegetation Science*. 2002. No 13. P. 451–453.
27. Tüxen R. Hecken und Gebüsch. Mitt. Geogr. Ges. Hamburg. 1952. Vol. 50. P. 85-117.
28. Vegetace České republiky. 4., Lesní a křovinná vegetace = Vegetation of the Czech Republic 4, Forest and scrub vegetation / Milan Chytrý (editor). Vyd. 1. Praha: Academia, 2013. 551 s.
29. Weber H.E. Eine neue Gebüschgesellschaft in Nordwestdeutschland und Gedanken zur Neugliederung der Rhamno-Prunetea. Mitt. Naturwiss. Osnabrücker. 1974. No 13. P. 143-150.
30. Weber H.E., Moravec J., Theourillat D.-P. International code of phytosociological nomenclature. 3rd. editional. *Journal of Vegetation Science*. 2000. Vol. 11, No 5. P. 739-768.

УШКОДЖЕННЯ ТВЕРДОГО ТІЛА ПЕРЛІВНЕЦЕВИХ І КУЛЬКОВИХ ЯК ЧУТЛИВИЙ БІОІНДИКАЦІЙНИЙ ПОКАЗНИК

Шевчук Л.М.¹, Билина Л.В.¹, Куровська А.С.²

¹Житомирський державний університет імені Івана Франка
вул. В. Бердичівська, 40, 10008, м. Житомир

²Державний навчальний заклад «Центр сфери обслуговування м. Житомира»
вул. Корольова, 132, 10025, м. Житомир
shevchuk.biol@gmail.com, bylyna.lili@gmail.com

Проблема екологічного стану водних об'єктів є актуальною для усіх річкових басейнів України. Зміна гідрологічного і гідрохімічного режимів більшості водойм і водотоків є наслідком довготривалого, різнобічного і значного антропогенного впливу, який полягає у скиданні неочищених стоків і непродуманому зарегулюванні. Мінливість – це універсальна властивість живих організмів. Прояви мінливості природних популяцій живих організмів у змінених умовах довкілля є надзвичайно різноманітними, що ставить перед біологами проблему їх класифікації. Як окремих видів мінливості можна розглядати травматичну мінливість. У прісноводних двостулкових молюсків цікавим є вивчення травматичної мінливості твердого тіла (черепашки), яка найбільше контактує зі зміненим середовищем. Проте мінливість черепашок двостулкових молюсків під впливом антропогенних змін середовища майже не досліджувалася. Під час дослідження ми взяли молюсків двох родин: Перлівницеві (Unionidae) та Кулькові (Pisidiidae), оскільки вони продовжують залишатись однією з основних груп тварин-фільтраторів, які визначають якість води у місцях свого існування. До того ж вони є індикаторами стану водного середовища і у багатьох країнах використовуються під час біомоніторингових досліджень. Унаслідок візуального обстеження черепашок молюсків відмічено такі їх uszkodження, як зміна первинного кольору гіпостракуму (виникнення плям бурого та сірого кольору), формування пустотлих скульптурних утворень (здуття) гіпостракуму, деформування черепашки. Набуті uszkodження перешкоджають нормальному існуванню молюсків. Такі зміни можуть бути однією з причин зниження тривалості життя двостулкових молюсків та їх вимирання аж до повного зникнення із водойми. *Ключові слова:* травматична мінливість, черепашка, перлівницеві, кулькові, біоіндикація.

Damage to the solid body of Unionidae and Pisidiidae as a sensitive bioindication indicator. Shevchuk L., Bylyna L., Kurovska A.

The problem of the ecological state of waterbodies is relevant for all river basins of Ukraine. Changes in the hydrological and hydrochemical regimes of most waterbodies and watercourses are the result of a long, multifaceted, significant anthropogenic impact, consists of the discharge of untreated wastewater and ill-conceived regulation. The variability is a universal peculiarity of living organisms. The appearance of the variability of natural living organism populations of under changed environmental conditions is extremely diverse, which poses a problem for biologists to classify them. Traumatic variability can be considered as a separate type of variability. It is interesting to study the traumatic variability of the solid body (shells) of freshwater mollusks, which is most in contact with the altered environment. However, the variability of shells of bivalve mollusks under the influence of anthropogenic changes in the environment has hardly been studied. In the course of our research, we took mollusks of two families, Unionidae and Pisidiidae, because they are still to be one of the main groups of filter-feeding animals that determine the quality of water in their places of existence. Moreover, they are indicators of the condition of the aquatic environment and are used in biomonitoring studies in many countries. As a result of a visual examination of the mollusk shells, such damages were noted as a change in the original colour of the hypostracum (the appearance of spots of brown and gray colour), the formation of hollow sculptural formations (swelling) of the hypostracum, and deformation of the shell. The acquired damage interferes with the ordinary existence of mollusks. Besides, such changes can be one of the reasons for the decrease in the life expectancy of mollusks and their extinction until they completely disappear from the water reservoir. *Key words:* traumatic variability, shell, Unionidae, Pisidiidae, bioindication.

Постановка проблеми. Незважаючи на відмічену чітку тенденцію до зниження частоти поширення і щільності населення у прісних водоймах та водотоках України двостулкових молюсків родин Перлівницеві (Unionidae) та Кулькові (Pisidiidae), вони продовжують залишатись однією з основних груп тварин-фільтраторів, які визначають якість води у місцях свого існування. До того ж вони є індикаторами стану водного середовища і у багатьох країнах використовуються під час біомоніторингових досліджень [9]. Важливим показником екологічного стану водойм є видовий склад поселень двостулкових молюсків. Виконувати біоінди-

каційну функцію можуть і черепашки цих тварин (тверде тіло), що збереглися у музейних зборах або на берегах водойм. Зміни твердого тіла можуть свідчити про гідрологічні і гідрохімічні показники водойми [4; 9; 10], тому дедалі більше основним аспектом вивчення стає екологічна мінливість черепашки молюсків. Однак до цього часу була детально вивчена мінливість лише дуже невеликої кількості модельних видів, таких, наприклад, як види роду *Viviparus* [8; 12] або ставковик великий [6; 7; 14]. Двостулкові молюски в аспекті мінливості черепашки, зумовленої антропогенним впливом, не досить вивчені [2; 6].

Актуальність дослідження. Проблема екологічного стану водних об'єктів є актуальною для всіх річкових басейнів України. Істотні зміни гідрологічного і гідрохімічного режимів переважної більшості водойм і водотоків є наслідком довготривалого, різнобічного і значного антропогенного впливу, що полягає у скиданні неочищених стоків і непродуманому зарегулюванні. Прояви мінливості природних популяцій живих організмів у змінених умовах довкілля є надзвичайно різноманітними, що ставить перед біологами проблему їх класифікації. Як окремих видів мінливості можна розглядати травматичну мінливість. У прісноводних молюсків цікавим є вивчення травматичної мінливості твердого тіла (черепашки), яка найбільше контактує зі зміненим середовищем. Цей вид мінливості має біоіндикаційне значення. Тому важливим є дослідження черепашок цих тварин як у сучасних водоймах, так і в музейних колекціях.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Україна – одна із найменш забезпечених водою країн Європи, яка прагне інтеграції до Європейського Союзу. Нині основним документом у галузі водної політики ЄС є Директива № 2000/60/ЄС від 23 жовтня 2000 р., більше відома як Водна Рамкова Директива (ВРД) [5]. На відміну від чинної в Україні системи моніторингу водних ресурсів у ВРД застосовано принцип багаторівневого моніторингу, зокрема із використанням методів біоіндикації [1]. Отже, визначення якості води з використанням видів-індикаторів дедалі набуває все більшої актуальності поряд із використанням традиційних методів здійснення такого дослідження [10]. На нашу думку, прісноводні двостулкові молюски є одними із найкращих об'єктів біомоніторингу. До того ж цю функцію може виконувати і їхнє тверде тіло, що зберігається у музейних колекціях та на берегах водойм.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз літературних джерел дозволив встановити, що найповніше відхилення від норми у вигляді черепашки перлівниць у Радянському Союзі вивчалися у 20-30-х роках ХХ століття у зв'язку із питанням промислового використання черепашок для виготовлення гудзиків, клавіш фортепіано, поробок тощо [3]. Саме тоді вивчалися молюски із різних ділянок водойм Радянського Союзу та було встановлено, що найбільш якісною є сировина (черепашки без плям, наростів, деформацій) із тих ділянок, де водойма має достатню проточність і невисоку каламутність води. Загалом зазначалося, що максимальний відсоток перлівниць зі зміною первинного кольору гіпостракуму (внутрішнього шару черепашки) становив 25%, із його скульптурними утвореннями (здуттями) – 10%. У досить проточних ділянках водойми зазначених ушкоджень не було відмічено.

Травматична мінливість черепашок кулькових у вказаному аспекті не вивчалася.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Як неодноразово зазначено в малакологічній літературі, прісноводні двостулкові молюски є вдалим об'єктом для моніторингових досліджень. Водночас мінливість черепашок двостулкових молюсків під впливом антропогенних змін середовища майже не досліджувалась. Усе гостріше постає проблема екологічної мінливості черепашки. Цікавим вбачається вивчення мінливості аборигенних видів, які стрімко скорочують свою чисельність у водоймах України, та вида-вселенця, який успішно продовжує свою експансію в Європейських водоймах.

Викладення основного матеріалу. Під час дослідження матеріалом виступили черепашки (тверде тіло) двостулкових молюсків підродина Anodontinae родини Unionidae, а саме видів *Pseudanodonta complanata* Rossmassler, 1835, *Anodonta anatina* Linnaeus, 1758 та *A. cygnea* Linnaeus, 1758, *Sinanodonta woodiana* Lea, 1834. Загалом обстежено 317 екземплярів перлівниць. Відбір молюсків відбувався за останні десятиліття із різних річкових басейнів України. Досліджено тварин із 35 пунктів, розташованих у 8 річкових басейнах. Інформація про досліджений матеріал представлена у табл. 1. Окрім того, обстежено черепашки 113 екземплярів беззубок тих самих видів із колекції молюсків родини *Unionidae* Державного природознавчого музею НАН України (м. Львів). Для аналізу відібрано матеріал, зібраний до 1914 року, тобто до значних антропогенних змін водойм і водотоків. Окрім того, досліджено 1382 екземпляри черепашок кулькових тринадцяти видів, а саме: *Sphaerium corneum* Linnaeus, 1758, *Sp. solidum* Normand, 1844, *Sp. rivicola* Lamarck, 1818, *Sp. nitidum* Clessin, 1876, *Sp. nucleus* Studer, 1820, *Pisidium amnicum* Muller, 1774, *P. supinum* Schmidt, 1851, *P. casertanum*, Poli, 1791, *P. milium*, Held, 1836, *P. personatum*, Malm, 1855, *P. lilljeborgii*, Clessin, 1886, *P. pseudosphaerium*. Favre, 1927. *Musculium, lacustre*, Muller, 1774. Відбір молюсків відбувався у 2019-2021 роках із 48 пунктів, розташованих у 2 річкових басейнах. Інформація про кулькових, використаних у дослідженні, представлена у табл. 2. Окрім того, досліджено 982 екземплярів цих тварин до 1914 року, до збору фондів Державного природознавчого музею НАН України (м. Львів). Більшу частину інформації про матеріал дослідження перлівницьких і кулькових сучасних водойм внесено до бази даних [16].

Під час дослідження використовувався метод визначення виду тварин, їх віку [4; 11], а також метод огляду черепашок молюсків із метою виявлення ушкоджень.

Для дослідження використано саме черепашки беззубок, а не перлівниць, оскільки вони є більш чутливими до змін умов навколишнього середовища. Перегляд черепашок беззубок дозволив виявити такі типи ушкоджень черепашки: зміна

Інформація про досліджених перлівницевих сучасних водойм і водотоків

Місце збирання	Кількість досліджених особин, екз.	Ушкодження твердого тіла		
		Скульптурні утворення гіпостракуму, екз.	Деформація черепашки, екз.	Зміна первинного кольору гіпостракуму, екз.
<i>Anodonta anatina</i>				
Річковий басейн Прип'яті				
м. Баранівка, р. Случ	17	3	5	10
смт. Миропіль, р. Случ	17	9	4	7
с. Кикова, р. Случ	12	9	5	7
Річковий басейн Дніпра				
м. Полтава, р. Ворскла	10	1	4	9
Київ, р. Дніпро	7	6	5	7
м. Радомишль, ставок	21	11	10	14
смт. Семенівка, р. Крива Руда	6	2	–	5
Річковий басейн Вісли				
с. Судова Вишня, р. Вишня	2	1	1	1
Річковий басейн Дністра				
с. Заліщики, р. Дністер	17	10	7	12
с. Черляни, ставок	7	5	1	7
Річковий басейн Дунаю				
с. Вилкове, р. Дунай (канал ПМК)	1	–	–	1
Річковий басейн Західного Бугу				
смт. Шацьк, озеро Люцимер	1	1	–	1
Річковий басейн Сіверського Дінця				
смт. Станично-Луганське, р. Сіверський Донець	7	4	–	4
<i>Anodonta cygnea</i>				
Річковий басейн Дніпра				
смт. Ружин, р. Роставиця	2	1	–	1
с. Гришківці, р. Гнилоп'ять	4	1	1	3
м. Житомир, гідропарк	22	12	7	17
<i>Pseudanodonta complanata</i>				
Річковий басейн Дніпра				
с. Климентове, р. Ворскла	2	–	–	–
с. Н. Каховка, Київське водосховище	1	1	–	–
с. Омельник, р. Псел	10	–	–	–
м. Суми, р. Псел	4	–	–	1
с. Ворсівка, р. Возня	1	–	–	1
Річковий басейн Південного Бугу				
с. Берізки-Бершадські, р. Південний Буг	9	1	–	4
с. Пробужани, р. Південний Буг	4	–	–	–
с. Пробужани, р. Південний Буг	1	1	–	–
м. Хмільник, р. Південний Буг	6	2	1	2
с. Привільне, р. Інгул	1	–	1	1
Річковий басейн Прип'яті				
с. Ушомир, р. Уж	3	–	–	1
с. Кишин, р. Уборть	26	4	6	20
с. Кишин, р. Уборть	8	–	3	5
м. Баранівка, р. Случ	2	1	–	1
смт. Миропіль, р. Случ	3	–	–	–

Продовження таблиці 1

Річковий басейн Сіверського Донця				
с. Андріївка, р. Сіверський Донець	2	1	–	–
С. Станично- Луганське, р. Сіверський Донець	7	1	1	–
с. Нова Баварія, р. Уди	2	–	–	1
Річковий басейн Дністра				
м. Троїцьке, р. Турунчук	10	4	8	8
с. Маяки, р. Дністер	3	–	1	3
с. Чортків, р. Серет	12	2	–	–
<i>Sinanodonta woodiana</i>				
Річковий басейн: Дунай				
с. Приморське, канал Дунай-Сасик	24	11	7	3
с. Матроска, р. Репіда	13	6	3	4
с. Вилкове, р. Дунай (канал ПМК)	6	5	3	–
м. Рені, канал	5	3	–	–

Таблиця 2

Інформація про досліджених кулькових сучасних водойм і водотоків

Місце збирання	Кількість досліджених особин, екз.	Ушкодження твердого тіла		
		Скульптурні утворення гіпостракуму, екз.	Деформація черепашки, екз.	Зміна первинного кольору гіпостракуму, екз.
<i>Sphaerium rivicola</i>				
Річковий басейн Прип'яті				
смт. Миропіль, р. Случ	10	–	2	–
м. Баранівка, р. Случ	1	–	–	–
с. Понінки, р. Хомора	27	–	–	–
смт. Полонне, р. Хомора	4	–	–	–
смт. Любар, р. Случ	4	–	–	–
с. Поліське, р. Уж	10	–	–	–
с. Гуничі, р. Норинь	2	–	–	–
с. Нова Чортгорія, р. Случ	8	–	–	–
с. Пилиповичі, р. Случ	10	–	1	–
с. Весняне, р. Корчик	5	–	–	–
с. Устя, р. Корчик	14	–	2	–
с. Соснове, р. Случ	7	–	–	–
с. Гоща, р. Горинь	6	–	–	–
с. Олександрія, р. Горинь	9	–	–	–
с. Великий Житин, р. Кустинка	7	–	1	–
м. Тучин, р. Горинь	4	–	–	–
с. Степанець, р. Горинь	3	–	–	–
м. Березне, р. Случ	4	–	–	–
Річковий басейн Дніпра				
с. Чоповичі, р. Ірша	6	–	2	–
с. Рея, р. Гнилоп'ятка	447	–	107	–
с. Мирославка, р. Гнилоп'ятка	24	–	6	–
м. Житомир, р. Кам'янка	17	–	4	–
с. Глибочок, р. Ів'янка	29	–	7	–
с. Бондарці, р. Лісова	14	–	–	–

<i>Sphaerium nucleus</i>				
Річковий басейн Дніпра				
с. Глибочок, р. Ів'янка	167	–	16	–
с. Понінки, р. Хомора	6	–	–	–
Річковий басейн Прип'яті				
с. Поліське, р. Уж	14	–	–	–
м. Коростень, р. Уж	36	–	–	–
с. Ігнатпіль, р. Жерев	74	–	–	–
с. Гуничі, р. Норинь	5	–	–	–
м. Олевськ, р. Уборть	6	–	–	–
с. Нова Чорторія, р. Случ	10	–	–	–
м. Корець, р. Корчик	7	–	–	–
<i>Sphaerium corneum</i>				
Річковий басейн Прип'яті				
м. Новоград-Волинський, р. Случ	9	–	–	–
село Смілка, р. Смілка	1	–	–	–
м. Баранівка, р. Случ	9	–	–	–
с. Понінки, р. Хомора	7	–	–	–
смт. Любар, р. Случ	6	–	–	–
с. Весняне, р. Корчик	2	–	–	–
с. Устя, р. Корчик	7	–	1	–
с. Соснове, р. Случ	3	–	–	–
<i>Sphaerium nitidum</i>				
Річковий басейн Прип'яті				
село Смілка, р. Смілка	3	–	–	–
с. Понінки, р. Хомора	3	–	–	–
смт. Полонне, р. Хомора	4	–	–	–
м. Малин, р. Ірша	–	–	–	–
с. Щекічин, р. Стави	4	–	–	–
с. Забороль, р. Кустинка	1	–	–	–
Річковий басейн Дніпра				
м. Житомир, р. Кам'янка	34	–	–	–
с. Бондарці, р. Лісова	24	–	–	–
<i>Sphaerium solidum</i>				
Річковий басейн Прип'яті				
с. Понінки, р. Хомора	5	–	–	–
смт. Любар, р. Случ	1	–	–	–
с. Ремчиці, р. Горинь	4	–	–	–
с. Берестя, р. Горинь	22	–	1	–
с. Колки, р. Случ	15	–	–	–
с. Тинне, р. Случ	4	–	–	–
Річковий басейн Дніпра				
с. Чоповичі, р. Ірша	21	–	–	–
<i>Musculium lacustre</i>				
Річковий басейн Прип'яті				
с. Левківка, р. Гусак	11	–	–	–
с. Олександрія, р. Горинь	3	–	–	–
Річковий басейн Дніпра				
смт. Полонне, р. Хомора	5	–	–	–
с. Понінки, річка Хомора	4	–	–	–
с. Хажин, р. Гнилоп'ять	21	–	–	–
с. Щекічин, р. Стави	2	–	–	–

<i>Pisidium amnicum</i>				
Річковий басейн Дніпра				
с. Бондарці, р. Лісова	1	–	1	–
с. Чоповичі, р. Ірша	14	–	–	–
Річковий басейн Прип'яті				
с. Поліське, річка Уж	3	–	–	–
м. Коростень, річка Уж	5	–	–	–
18 км. від смт. Народичів, р. Жерев	4	–	–	–
смт. Народичі, р. Уж	11	–	–	–
смт. Лугини, р. Жерев	1	–	–	–
м. Олевськ, р. Уборть	3	–	–	–
с. Гоща, р. Горинь	2	–	–	–
с. Забороль, р. Кустинка	7	–	–	–
с. Олександрія, р. Горинь	8	–	–	–
с. Великий Житин, р. Кустинка	1	–	–	–
м. Тучин, р. Горинь	5	–	–	–
с. Диражне, р. Горинь	2	–	–	–
с. Велунь, р. Случ	3	–	–	–
м. Дубровиця, р. Горинь	1	–	–	–
м. Березне, р. Случ	7	–	2	–
<i>Pisidium supirum</i>				
Річковий басейн Дніпра				
м. Житомир, р. Кам'янка	16	–	–	–
Річковий басейн Прип'яті				
с. Ігнатпіль, р. Жерев	6	–	–	–
с. Гуничі, р. Норинь	1	–	–	–
смт. Лугини, р. Жерев	3	–	–	–
с. Весняне, р. Корчик	12	–	–	–
с. Устя, р. Корчик	4	–	–	–
с. Олександрія, струмок	5	–	–	–
с. Великий Житин, р. Кустинка	1	–	–	–
м. Тучин, р. Горинь	1	–	–	–
с. Диражне, р. Горинь	2	–	–	–
с. Велунь, р. Горинь	4	–	–	–
с. Тинне, р. Случ	1	–	–	–
<i>Pisidium milium</i>				
Річковий басейн Прип'яті				
с. Гоща, р. Горинь	7	–	–	–
<i>Pisidium casertanum</i>				
Річковий басейн Прип'яті				
с. Олександрія, р. Горинь	1	–	–	–
<i>Pisidium personatum</i>				
Річковий басейн Прип'яті				
с. Злазне, струмок	13	–	–	–
<i>Pisidium lilljeborgi</i>				
Річковий басейн Прип'яті				
с. Яполоть, р. Горинь	2	–	–	–
с. Велунь, р. Горинь	2	–	–	–
<i>Pisidium pseudosphaerium</i>				
Річковий басейн Прип'яті				
с. Тиниця, р. Случ	1	–	–	–

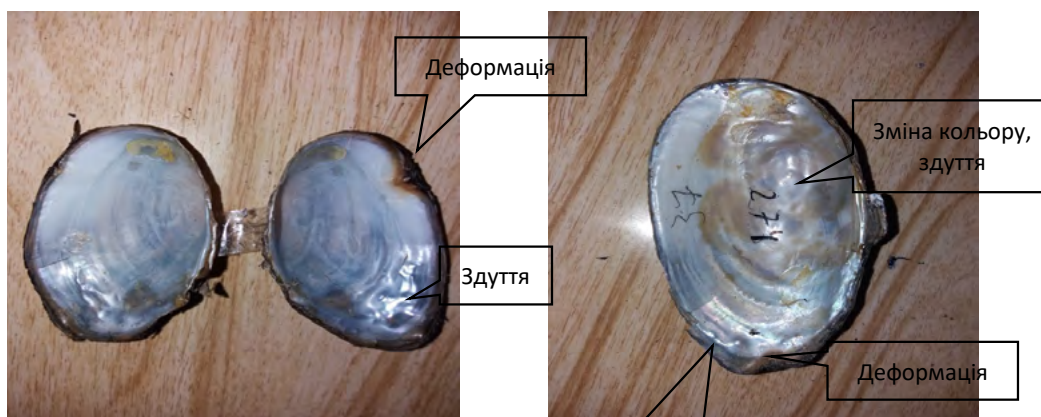


Рис. 1. Ушкодження черепашки беззубок із сучасних водойм (власне фото)

первинного кольору гіпостракуму (виникнення плям бурого та сірого кольору), формування пустотілих скульптурних утворень (здуття) гіпостракуму, деформування черепашки (рис. 1). У подальшому такі ушкодження перешкоджають нормальній життєдіяльності моллюсків. Такі ушкодження спричинені умовами конкретного пункту дослідження і є загальними для особин видів.

Для перевірки висунутої нами гіпотези про травматичний характер мінливості, спричиненої антропогенним впливом, ми проаналізували у зазначеному аспекті черепашки із колекції моллюсків родини *Unionidae* Державного природознавчого музею НАН України, зібрані до 1914 року, тобто до значних зрушень у гідроценозах. Аналіз характеру зміни черепашки цих тварин і тих, що мешкали у водоймах за останні десятиліття, дозволив установити, що характер змін твердого тіла тварин львівської колекції має низку принципів відмінностей. Здуття гіпостракуму таких моллюсків у 33% випадків під час обстеження *P. complanata* та 4% – *A. cygnea* мали вигляд так званих «несправжніх перлинок», їхній колір відповідає кольору решти гіпостракуму (рис. 2). Зміна кольору цього шару черепашки має вигляд світло-коричневих плям переважно верхівкової ділянки; такі зміни відмічались у близько 20% особин кожного із трьох видів. Після механічного ушкодження черепашки двох особин *A. anatina* (4% від обстежених) її колір

не змінився (рис. 2). Щоправда, у 2% випадків під час обстеження *A. anatina* та *A. cygnea* відмічено здуття гіпостракуму і зміну кольору у вигляді сірих або бурих плям, як це зафіксовано у тварин сучасних водойм.

Причинами появи відмічених нами ушкоджень твердого тіла тварин за останні десятиліття ми вважаємо зміну хімічного складу води, її закислення; забруднення довкілля хімічними речовинами, які впливають на ріст і розвиток тварин; механічний вплив водних мас і субстрату, наприклад, налипання піщинок на тіло. Водночас ми вважаємо, що подібні здуття гіпостракуму і зміну його кольору навіть можна класифікувати як своєрідні «новоутворення» твердого тіла, враховуючи, що вони не мають клітинної будови. На нашу думку, деформація черепашки також спричинена втратою нею первинної міцності. Адже на відміну від ушкоджень, відмічених у тварин, зібраних у XVIII – на початку XIX століття, після такого впливу нормальний ріст черепашки не відбувається. Це свого роду підвищена чутливість до найменших механічних впливів. Раніше деформації черепашки виникали лише у разі значних механічних впливів. Ушкоджена ділянка має інший колір і структуру. У подальшому такі ушкодження перешкоджають нормальному існуванню моллюсків. Такі зміни можуть бути однією із причин зниження тривалості життя моллюсків та їх вимирання аж до повного зникнення із водойми.



Рис. 2. Ушкодження черепашки беззубок із водойм XVIII – початку XIX століття (власне фото)

Ушкодження відзначені тільки у статевозрілих беззубок із відносно великими розмірами черепашок. Ювенільні особини виявилися вільними від аномалій. Отже, ймовірність їх контакту із факторами негативного впливу зростає із зростанням часу перебування особини у забрудненому середовищі, тобто відмічені ушкодження черепашок дорослих особин не є вродженими, а виникають на певних стадіях індивідуального розвитку під дією чинників середовища.

Отримані результати показують, що частота виявлення різних типів травматичної мінливості відрізняється серед видів беззубок і змінюється з віком. Зокрема, в особин *A. anatina* відмічено тенденцію до зростання з віком частоти усіх видів травматичної мінливості. Серед 12-річних тварин усі 100% мали скульптурні здуття гіпостракуму і зміну його первинного кольору, а серед 13-річних – усі 100% тварин мали деформовану черепашку. Серед *A. cygnea* така динаміка не простежується.

Аналіз травматичної мінливості черепашок *P. complanata* показує зростання її частоти з віком. Щоправда, черепашка однорічної особини вже мала змінений колір гіпостракуму, що підтверджує вибагливість цього виду до місць існування та високу чутливість до антропогенних впливів, що стало причиною його зникнення із багатьох водойм України та Європи [13; 15]

Аналіз твердого тіла вида-вселенця *S. woodiana* показав, що незалежно від віку тварин частота виявлення особин зі здуттями гіпостракуму є високою, що узгоджується з екологічною пластичністю виду-вселенця щодо каламутності води. Адже, як відомо,

такі ушкодження формуються під час потрапляння сторонніх предметів між черепашкою і мантиєю. Деформовані черепашки також відмічені у представників різного віку, а змінений первинний колір гіпостракуму мають переважно особини середнього віку.

Аналіз частоти виявлення трьох видів ушкоджень серед трьох аборигенних видів беззубок та вида-вселенця показав, що в аборигенних видів найчастіше відмічається зміна первинного кольору гіпостракуму: *A. anatina* – 68% досліджених особин, *A. cygnea* – 81%, *P. complanata* – 41%, що підтверджує їх чутливість до забруднення води хімічними сполуками. Проте серед *S. woodiana* найбільша частка особин (52%) має здуття гіпостракуму.

Аналіз частоти поширення серед трьох аборигенних видів кожного виду травматичної мінливості засвідчив, що усі її види відмічені частіше серед *A. anatina* та *A. cygnea*; вид *P. complanata* є найвибагливішим до умов існування і у забрудненому чи зміненому середовищі не відмічається. *P. complanata* у майже 20% пунктів збору жодних аномалій не мала, що може бути показником задовільних умов існування.

Виявлення міжвидових відмінностей за частотою ушкоджень не можна вважати несподіваними. Установлено, що навіть близькоспоріднені види беззубок по-різному реагують на вплив того ж самого зовнішнього фактора, що проявляється у їхній різній екологічній пластичності, витривалості під час негативних впливів. Цю обставину пояснюють відмінностями у системі гомеостазу видів, які проявляються у вигляді не лише неоднакової схильності до виникнення ушкоджень черепашки, але і різної витривалості в умовах забруднення середовища.

Таблиця 3

Частота ушкодження твердого тіла видів беззубок

Вид молюска	Кількість досліджених особин, екз.	Типи травматичної мінливості черепашки		
		Скульптурні утворення гіпостракуму, екз. (%)	Деформація черепашки, екз. (%)	Зміна первинного кольору гіпостракуму, екз. (%)
<i>A. anatina</i>	126	60(58)	42(33)	86(68)
<i>A. cygnea</i>	26	14(54)	8(31)	21(81)
<i>P. complanata</i>	117	18(15)	21(18)	48(41)
<i>S. woodiana</i>	48	25(52)	13(27)	7(15)

Рис. 3. Ушкодження черепашки *Sp. rivicola* із річки Гнилон'ятка (власне фото)

Ушкодження твердого тіла кулькових

Вид молюска	Кількість досліджених особин, екз.	Типи травматичної мінливості черепашки		
		Скульптурні утворення гіпостракуму, екз (%)	Деформація черепашки, екз. (%)	Зміна первинного кольору гіпостракуму, екз. (%)
<i>Sp. rivicola</i>	645	–	138(21)	–
<i>Sp. nucleus</i>	325	–	16 (5)	–
<i>P. amnicum</i>	78	–	2 (2)	–
<i>Sp. corneum</i>	44	–	1(2)	–
<i>Sp. solidum</i>	72	–	1(1)	–
<i>Sp. nitidum</i>	73	–	–	–
<i>P. supinum</i>	56	–	–	–
<i>Ms. lacustre</i>	46	–	–	–
<i>P. casertanum</i>	1	–	–	–
<i>P. milium</i>	7	–	–	–
<i>P. personatum</i>	13	–	–	–
<i>P. lilljeborgii</i>	4	–	–	–
<i>P. pseudosphaerium</i>	1	–	–	–

Цікавим завданням було проаналізувати травматичну мінливість кулькових, які мають короткий життєвий цикл (до 2 років) на відміну від перлівницевих, котрі у сучасних українських водоймах можуть жити більше 10 років [2; 11]. Саме тому час контакту дрібних двостулкових молюсків зі змінним середовищем обмежений. Аналіз ушкоджень тіла кулькових дозволив констатувати лише механічні ушкодження, тобто деформацію черепашки. Зміни первинного кольору і скульптурні утворення гіпостракуму не спостерігалися.

Загалом під час обстеження *Sp. rivicola* механічні ушкодження черепашки мали 17% тварин та 5% *Sp. nucleus* (табл. 4). За обстеження *P. amnicum* було виявлено тільки 1 незначну деформацію черепашки із 40 досліджених тварин, що становить 2,5%. Ушкодження черепашки реєструвалися лише в дорослих особин, так само, як і у перлівницевих.

Аналіз матеріалів Державного природознавчого музею НАН України (м. Київ та м. Львів) молюсків родів *Sphaerium*, *Pisidium* (*Euglesa*) та *Musculium* дозволив установити, що понад 100 років тому кулькові також мали лише механічні пошкодження черепашки. Загалом відсоток особин із деформацією черепашки у музейних колекціях не перевищував 5%, тобто був нижчим від максимально зафіксованого у сучасних водоймах. Це підтверджує, що кулькові вибагливі до умов існування, тому можуть виконувати біоіндикаційну роль. Вони зустрічаються на ділянках із проточною водою, піщаним або піщано-кам'янистим дном без мулу. Саме тому нами відмічена чітка тенденція до їх зникнення у сучасних українських водоймах та водотоках.

Головні висновки.

1. Аналіз твердого тіла трьох аборигенних та одного адвентивного виду беззубок (*Pseudanodonta complanata* Rossmassler, 1835, *Anodonta anatina* Linnaeus, 1758, *A. cygnea* Linnaeus, 1758, *Sinanodonta*

woodiana Lea, 1834), дозволив виділити такі типи травматичної мінливості черепашки: зміна первинного кольору гіпостракуму (виникнення плям), формування пустотілих скульптурних утворень (здуття) гіпостракуму, деформування черепашки.

2. У всіх видів беззубок відмічено всі види ушкоджень твердого тіла. Несправжня беззубка *P. complanata* у майже 20% пунктів збору жодних ушкоджень не мала, що підтверджує її чутливість і вибагливість до умов існування.

3. Відмічено зростання відсотка беззубок зі скульптурними утвореннями гіпостракуму за останні 100 років майже у 6 разів і зі змінами його первинного кольору (більш ніж утричі).

4. В аборигенних видів найчастіше відмічалася зміна первинного кольору гіпостракуму, натомість у вида-вселенця найчастіше (52%) траплялися пустотілі скульптурні здуття черепашки, що підтверджує байдужість вселенця до ступеня каламутності води.

5. У кулькових відмічено лише деформацію черепашки. Відсоток тварин із таким ушкодженням становив у сучасних біотопах 1-21%, а у представників, зібраних до 1914 року, не перевищував 5%. Травматичну мінливість зафіксовано лише у трьох із тринадцяти досліджених видів кулькових, а саме *Sphaerium rivicola*, Lamarck, 1818, *S. nucleus*, Studer, 1820, *Pisidium amnicum*, Muller, 1774.

Перспективи використання. Підтверджено можливість використання черепашок перлівницевих та кулькових із метою біологічної індикації стану водного середовища. Окрім того, виявлення у музейних зборах черепашок аборигенного виду *P. complanata* та молюсків родів *Sphaerium*, *Pisidium* (*Euglesa*) та *Musculium* може свідчити про наявність течії та насичення води киснем у водоймі у період дослідження. Виявлення *A. cygnea* може також слугувати підтвердженням доброго екологічного стану водойми.

Література

1. Адаптація системи моніторингу поверхневих вод Державної гідрометеорологічної служби України МНС України до положень Водної рамкової директиви ЄС. Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту: Зб. наук. пр., 2008. Вип. 257. С. 146–161.
2. Алимов А. Ф. Заметки по изменчивости некоторых моллюсков сем. Sphaeriidae. Гидробиологические исследования самоочищения водоемов. Ленинград, 1976. С. 119–128.
3. Бартош А. А. Биология и запасы перловиц реки Кубни. *Зап. о-ва естествоиспытателей при Казан. ун-те*. 1938. Вып. 3/4. С. 69–94.
4. Васильєва Л. А. Перлівницеві Unionidae (Bivalvia) фауни України: алозимна й морфологічна мінливість: автореф. дис. ... канд. біол. наук: 03.00.08. Київ, 2011. 23 с.
5. Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС. Основні терміни та їх визначення: Вид. офіційне. Київ: Твій формат, 2006. 240 с.
6. Голиков А. Н. Некоторые закономерности роста и изменчивости на примере моллюсков. Гидробиологические исследования самоочищения водоемов. Ленинград, 1976. С. 97–118.
7. Жадин В. И. К изучению изменчивости пресноводных моллюсков. *Limnaea stagnalis* L. var. Goktschana. *Русский гидробиологический журнал*. 1928. № 7. С. 146–150.
8. Жадин В. И. Исследования по морфологии и изменчивости *Vivipara fasciata* Mull. Монографии Волжской биологической станции. 1928. № 3. С. 1–94.
9. Мальцев В. Визначення якості води методами біоіндикації: науково-методичний посібник. Київ : Науковий центр екомоніторингу та біорізноманіття мегаполісу НАН України, Недержавна наукова установа Інститут екології (ІНЕКО) Національного екологічного центру України, 2011. 112 с.
10. Рындович С. Определение экологического состояния водных экосистем на основе анализа видового состава беспозвоночных: практическое пособие. Барановичи, 2015. 27 с.
11. Стадниченко А. П. Фауна України. Перлівницеві. Кулькові (Unionidae, Cycladidae). Київ: Наук. думка, 1984. Т. 29, вип. 9. 384 с.
12. Franz V. Viviparus. Morphometrie, Phylogenie und Geographie der europaischen, fossilen und rezenten Paludinen. *Denkschriften der Medizinisch-Natur-wissenschaftlichen Gesellschaft zu Jena*. 1932. № 18 (1). S. 1–160.
13. Mcivor A. L. The reproductive biology of depressed river mussel, *Pseudanodonta complanata* (Bivalvia: Unionidae), with implications for its conservation. *J. Moll. Stud.* 2007. Vol. 73. Issue 3. P. 259–266.
14. Mozley A. The variation of *Limnaea stagnalis* (Linne). *Proceedings of the Malacological Society of London*. 1939. № 23 (5). P. 267–269.
15. Zettler M. L. The situation of the freshwater mussel *Unio crassus* (Philipsson, 1788) in north-east Germany and its monitoring in terms of the EC Habitats Directive. *Mollusca*. 2007. Vol. 25. P. 165–174.
16. Harbar O., Shevchuk L., Harbar D., Vlasenko R., Onychuk I., Kotsyuba I., Korchunova O., Chernychova T., Demchuk N., Bylina L., Susol T., Chechet I., Lasarthuk O. Database of animal species of the laboratory of analysis and expertise of biotic resources (Ivan Franko Zhytomyr State University, Ukraine). 2021. Zhytomyr Ivan Franko State University. Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/c3yvy5> accessed via GBIF.org on 2021-03-21
17. <https://www.gbif.org/dataset/2530a330-a579-4335-aea4-56e3c3fad9b0> (дата звернення 25.09.2021 р.)

ВОДНИЙ РЕЖИМ ЛИСТКА ДЕРЕВНИХ РОСЛИН В УМОВАХ ПРОМИСЛОВОГО РЕГІОНУ ПРАВОБЕРЕЖНОГО СТЕПОВОГО ПРИДНІПРОВ'Я

Юхименко Ю.С., Бойко Л.І., Данильчук Н.М.

Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України
вул. Маршака, 50, 50089, м. Кривий Ріг, Дніпропетровська область
yukhimenkoj@gmail.com, ludmilaboyko@meta.ua, danilchuk.natal@gmail.com

У статті розглянуто водний режим листка *Crataegus submollis* L. та *Betula pubescens* L. вуличних насаджень м. Кривий Ріг та ландшафтних композицій Криворізького ботанічного саду (умовний контроль). Кривий Ріг належить до регіонів із дуже сильним техногенним навантаженням, адже його головною містоутворюючою галуззю є чорна металургія. Складність екологічної ситуації поглиблюється кліматичними умовами, що характеризуються високими літніми температурами разом із тривалими бездошовими періодами. Дослідження фізіології водообмінних процесів листка проведено протягом червня-вересня 2020 року, який визначився рекордно малою кількістю опадів: за вказані чотири місяці випало лише 74 мм.

Установлено взаємозв'язок між отриманими показниками і ступенем забруднення місця зростання рослин. За умов більшого урботехногенного навантаження відмічено менший уміст загальної води у листках у серпні-вересні: у *B. pubescens* на 4,55–5,91%, у *C. submollis* на 2,7–3,2% відповідно. Установлено більший уміст зв'язаної води (на 0,77–1,61%) у серпні-вересні у листках рослин за умов більшого урботехногенного навантаження. Співвідношення зв'язаної/вільної вода підвищувалося із червня до вересня на обох ділянках у рослин цих видів. Показник водного дефіциту зростав протягом періоду вегетації на обох ділянках, але через урботехногенне навантаження досягав більших значень порівняно з контролем. У серпні-вересні відмінності становили: для *B. pubescens* – 7,7–7,9%, для *C. submollis* – 6,5–7,2%. Водовіддача протягом серпня-вересня інтенсивнішою була у рослині вуличних насаджень за умов більшого урботехногенного навантаження, зокрема втрата води за перші 30 хвилин визначення водозатримувальної здатності перевищувала для *B. pubescens* на 3,2–3,9%, а для *C. submollis* – на 6,4–6,5% порівняно із контрольною ділянкою.

Під час дослідження встановлено, що в умовах більшого забруднення довкілля існує тенденція до зменшення загальної обводненості листка та водозатримувальної здатності, збільшення водного дефіциту і перерозподілу фракційного складу у бік збільшення вмісту зв'язаної води. **Ключові слова:** *Crataegus*, *Betula*, водний режим листка, стійкість, урботехногенне середовище, Кривий Ріг, Правобережне Степове Придніпров'я.

Water regime of leave of tree plants in the conditions of the industrial region in the Right-bank Dnieper Steppe. Yukhimenko Y., Boyko L., Danilchuk N.

The article considers the water regime of leaves of *Crataegus submollis* L. and *Betula pubescens* L. in street plantations of Kryvyi Rih and landscape compositions of Kryvyi Rih Botanical Garden (conditional control). Kryvyi Rih belongs to the regions with a very strong man-made pressure, because its main city-forming industry is ferrous metallurgy. The complexity of the ecological situation is exacerbated by climatic conditions, which are characterized by high summer temperatures in combination with long rainy periods. Studies of the physiology of water exchange processes of the leaf were carried out during June–September 2020, which was determined by a record low amount of precipitation – only 74 mm of precipitation fell during these four months.

We ascertained the relationship between the obtained indicators and the degree of contamination of the plant growth site. Under conditions of higher urban pressure, the total water content in the leaves was lower in August–September – in *B. pubescens* by 4.55–5.91%, in *C. submollis* by 2.7%–3.2%, respectively. A higher content of bound water (by 0.77–1.61%) was found in the leaves of plants in August–September under conditions of higher urban pressure. The bound / free water ratio increased from June to September in both areas in both species. The water deficit rate increased during the growing season in both areas, but due to the urban pressure reached higher values compared to the control. In August–September, the differences were 7.7–7.9% for *B. pubescens* and 6.5–7.2% for *C. submollis*. Water yield during August–September was more intensive in street plantations under conditions of higher urban pressure, namely water loss in the first 30 minutes of determination of water holding capacity exceeded for *B. pubescens* by 3.2–3.9%, and for *C. submollis* – by 6.4–6.5%, compared to the control area.

Studies have shown that in conditions of higher environmental pollution, there is a tendency to reduce the overall water content of the leaf and water holding capacity, increase water deficit and redistribution of fractional composition in the direction of increasing the content of bound water. **Key words:** *Crataegus*, *Betula*, leaf water regime, resistance, urban technogenic environment, Kryvyi Rih, Right-bank Dnieper Steppe.

Постановка проблеми. У промисловому регіоні Правобережного степового Придніпров'я рослини відчувають нестачу вологи не лише через зміну кліматичних умов, але і через забруднення довкілля. Кривий Ріг характеризується високою концентрацією виробництва на обмеженому просторі, адже у місті працює 8 із 11 підприємств України із

видобутку і перероблення залізорудної сировини: один із найбільших у світі металургійних комбінатів – «АрселорМіттал Кривий Ріг», п'ять гірничо-збагачувальних комбінатів, а також підприємства з обслуговування головного виробництва. Головною містоутворюючою галуззю є чорна металургія, частка якої становить 86% від загальних розмірів

промислового виробництва у місті. Тому Кривий Ріг належить до регіонів із дуже сильним техногенним навантаженням. Екологічна ситуація у місті Кривий Ріг ускладнюється високими літніми температурами разом із тривалими бездошовими періодами (особливо у другій половині літа) [1]. За ґрунтово-кліматичним районуванням Дніпропетровська область належить до типового степу [2]. У літній період рівень зволоження низький, випаровування переважає над кількістю опадів: гідротермічний коефіцієнт у середньому становить 0,66 [3].

Посушливість кліматичних умов у регіоні дослідження з кожним роком поглиблюється, кількість опадів на Криворіжжі порівняно із серединою ХХ століття скоротилась удвічі. У 2020 році відмічено рекордно малу кількість опадів за рік – 201,0 мм, тоді як середній багаторічний показник становить 401 мм [1]. Деревна рослинність за таких умов виявляє тенденцію до прискореного старіння і втрати декоративності. Тому наразі гостро постає проблема виявлення загальних реакцій дерев та кущів на умови промислового міста у поєднанні із посушливістю клімату, ефективності використання поширених у його насадженнях видів, розроблення заходів із відновлення або заміни іншими, більш посухостійкими видами для стабілізації екологічної ситуації у місті.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Тематиці впливу промислового забруднення на водний режим листка деревних рослин у посушливих умовах Середнього Придніпров'я (м. Дніпро) присвячена низка робіт. Зокрема І.О. Зайцевою вивчено оводненість тканин рослин 40 видів родів *Acer L.*, *Deutzia Thunb.*, *Philadelphus L.*, *Syringa L.* [4]. У її роботі викладено показники кількості вологи ($W_{\text{екстр.}}$), потрібної для нормального функціонування окремих видів деревно-чагарникових рослин в умовах певного температурного режиму, а також установлений зв'язок розрахованих критеріїв із посухостійкістю рослин, що дозволяє прогнозувати реакцію інтродуцентів на стресові умови зростання. В умовах м. Дніпро О. В. Черніковою вивчено загальну обводненість, водний дефіцит, фракційний склад води, водозатримувальна здатність трьох видів та одного культивуру таволги. Під час її досліджень установлено, що дія ксенобіотиків і гідротермічних умов змінює показники водообміну та функціональний стан рослин [5]. Аналіз таких показників, як загальна обводненість, водний дефіцит, інтенсивність транспірації, водозатримувальна здатність, фракційний склад води у 14 видів роду *Acer L.* у різних екологічних умовах м. Дніпро проводила М.М. Поворотня. Автором установлено, що антропогенні та екологічні чинники індукують водний стрес у рослин, що виражається у зниженні загального рівня оводненості внаслідок підвищення інтенсивності транспірації, що спричинює, у свою чергу, підвищення удвічі денного водного дефіциту й осмотичного потенціалу [6].

Виділення раніше не вирішених питань.

Водний режим листка деревних рослин не досить досліджено в умовах забруднення викидами саме металургійною промисловістю. Середньомісячні концентрації шкідливих речовин в атмосфері Кривого Рогу перевищують гранично допустимі концентрації (ГДК) за пилом у 2,7 рази, за двооксидом азоту – у 2,5 рази, за фенолом – у 2 рази, за аміаком – у 4 рази, за формальдегідом – у 3,8 рази. Загальні викиди забруднюючих речовин в атмосферу міста становлять близько 600 тис. тонн, серед яких 490,5 тис. тонн припадає на частку газоподібних речовин і 86,6 тис. т пилу [7]. Близько 7% валових викидів становлять відпрацьовані гази автомобільного транспорту [8]. Тому метою дослідження є вивчення впливу забруднення довкілля на водний режим листка деревних рослин саме в умовах Криворіжжя. Завдання дослідження – проаналізувати загальну обводненість, фракційний склад води, водний дефіцит і водозатримувальну здатність у листках *Crataegus submollis L.* та *Betula pubescens L.* для визначення впливу стресових факторів урбо-техногенного середовища на їхнє функціонування.

Новизна. У статті вперше висвітлено вплив забруднення довкілля на водний режим листка таких видів, як *Crataegus submollis* та *Betula pubescens*, в умовах промислового регіону Правобережного степового Придніпров'я.

Матеріали та методи. Для дослідження водного режиму листка *Crataegus submollis L.* та *Betula pubescens L.* були обрані такі показники: загальна обводненість, фракційний склад води, водний дефіцит і водозатримувальна здатність. За контроль (умовно чиста ділянка) обрано колекцію Криворізького ботанічного саду НАН України, за дослідну ділянку – вуличні насадження з інтенсивним рухом автотранспорту (вздовж вулиці Костенка Металургійного району м. Кривий Ріг). Матеріалом для дослідження слугували листки однорічних пагонів, відібраних із 30-річних рослин *Crataegus submollis* та *Betula pubescens*.

Визначення зв'язаної і вільної води у рослинному матеріалі проводили рефрактометричним методом за Н. А. Гусевим [9]. Наважку рослинного матеріалу поміщали у розчин сахарози певної концентрації. За зниженням концентрації цього розчину після перебування у ньому листка можна встановити, скільки води вийшло у розчин із тканин. Вода, що відійшла у розчин, може бути лише вільною (точніше, вільна та слабо зв'язана), яка може бути розчинником. Зв'язана вода утримується з великою силою і залишається у клітинах. У паралельній наважці ми визначали загальний уміст води і за різницею знаходили кількість зв'язаної води. Водночас визначали загальну кількість води у таких самих висічках із листків, які поміщали у бокси і висушували у сушильній шафі до постійної ваги за температурою 100-105°C.

Визначення водозатримувальної здатності листка деревних рослин ми виконували методом «в'янення» [10]: зважували всі листки разом на технічних вагах, через 30 хвилин, одну та дві години зважують їх знову. Втрата маси показує абсолютну кількість втраченої води за певні інтервали часу. Розраховували кількість води, яка випаровувалась, у відсотках до початкової маси.

Визначення водного дефіциту, який демонструє недостатню кількість води для повного насичення клітин, проводили за такою методикою. Приблизно 1 г висічок листка поміщали у сухі бюкси і зважували, після чого переносили на поверхню води у закриті чашки Петрі і залишали до насичення тканин водою на 2 години [10]. Тургисцентні висічки із листків просушували фільтрувальним папером і зважували, після цього визначали масу абсолютно сухої тканини. Бюкс із наважкою ставили на 5 годин у сушильну шафу за температури 105°C, потім охолоджували в ексикаторі (бюкс має бути відкритим) і зважували закритий бюкс. Так повторювали доти, доки маса бюкса із матеріалом не буде постійною. На підставі одержаних показників розраховували водний дефіцит рослин за різних умов забезпеченості водою.

Виклад матеріалу дослідження. Дослідження проводились у 2020 році протягом червня-вересня за рекордно малій кількості опадів – за вказані чотири місяці випало лише 74 мм. У серпні та вересні дощі були майже відсутніми – випало 9,0 та 10,2 мм відповідно, тоді як денні температури повітря досягали значень +34,6°C у червні, +38,2°C – у липні та +35,7°C – у серпні. Зволоженість ґрунту у кореневмісному шарі за таких умов знижується до критичного рівня – до близько 30% від сирової маси, що є справжнім випробуванням для деревних рослин, які зростають без штучного зрошування.

Визначення загального вмісту води у різні строки вегетації дає уявлення про функціональний стан рослин і варіює залежно від умов вологозабезпеченості, освітленості, температурного режиму, дії стресових екологічних факторів [11]. Здатність підтримувати оптимальний вміст води зумовлена колоїдно-хімічними та осмотичними властивостями рослин, стійких до посушливого клімату. Посухостійкі рослини мають дещо нижчу обводненість клітин, за якої зберігається їх стабільне функціонування [12]. Реакція рослин на присутність у повітрі токсичних і кислих газів також проявляється у зниженні загального вмісту води у тканинах.

У червні загальна обводненість листків *B. pubescens* та *C. submollis* була доволі високою (61,3–64,9%) на обох ділянках, що пояснюється активністю ростових процесів і погодними умовами у період відбору проб (у першій декаді місяця). Цей показник знижувався впродовж вегетаційного періоду і у вересні дорівнював 48,9–57,5% (табл.1). В умовах вуличних насаджень відмічено менший вміст загальної води у серпні-вересні, що може бути пов'язано із біль-

шою інтенсивністю випаровування води у листках під дією викидів автотранспорту і промисловості. Ця різниця збільшується з поглибленням спекотних умов і досягає максимуму у вересні, а діапазон значень між двома ділянками упродовж червня-вересня становить у *B. pubescens* 1,1-5,9%, *C. submollis* 2,6-3,2%. Взагалі показники загальної обводненості наближені в обох видів, проте у *B. pubescens* початковий вміст води у листках (у червні) порівняно з *C. submollis* дещо більший: у колекції КБС на 6,9%, у вуличних насадженнях – на 1,3%. У вересні ця різниця досягла свого максимуму і в колекції КБС вміст загальної води у *B. pubescens* був більшим порівняно з *C. submollis* на 13,4%, у вуличних насадженнях – на 18,4%. що може свідчити про більшу витривалість *B. pubescens* порівняно з *C. submollis*, тобто найбільш уразливий вид скоріше втрачає вологу за рахунок вільної води, внаслідок чого має ураження листків у період посухи (низький тургор, крайовий некроз, часткове або повне опадання листя).

Одним із найважливіших показників водного обміну, на думку багатьох дослідників, є фракційний склад води, за допомогою якого можна визначити ступінь пристосування рослин до дії високих і низьких температур, а також до забрудненості довкілля [13; 14; 15]. Максимальні величини зв'язаної води у листках рослин зазвичай виявляються у разі найбільшого напруження таких основних факторів середовища, як нестача води у ґрунті, заморозки великої інтенсивності, тривалі посухи, антропогенні навантаження. Стійкі до зневоднення види реагують на водний дефіцит підвищенням кількості зв'язаної води [16; 17]. У видів, менш пристосованих до нестачі вологи у ґрунті, переважає вміст вільної води [18]. Перерозподіл вмісту форм води протягом вегетації є однією із форм регуляції водного балансу і запобігання клітинами швидкого зневоднення під час зміни гідротермічного режиму [11].

Аналіз фракційного складу води у листках *B. pubescens* та *C. submollis* показав, що індекс співвідношення вільної і зв'язаної води зростав протягом червня-вересня від значення 1,8 до 4,05 (табл. 2). Тобто упродовж літньої посухи відбувалося різке збільшення зв'язаної води на тлі зменшення загальної обводненості листків. У вуличних насадженнях індекс співвідношення двох фракцій води є більшим упродовж липня-вересня в обох видів порівняно із КБС, що свідчить про більш інтенсивне втрачання вільної води під дією стресу урботехногенних чинників. Вміст вільної води у листках деревних рослин на обох ділянках знижувався упродовж вегетаційного періоду у межах від 34,5–35,6% (у червні) до 19,8–22,8% (у вересні). В умовах КБС виявлено більшу кількість вільної води порівняно із вуличними насадженнями: у беріз упродовж червня-вересня ця різниця варіює від 0,9 до 8,7%, у глодів – від 1,1 до 12,7%. В. В. Гриненко [19] у своїй роботі зазначає, що скорочення кількості вільної води є заходом,

який зменшує ріст і розвиток асиміляційної поверхні та загальної біологічної продуктивності. Слід зазначити, що глоди мають дещо більший вміст зв'язаної води у посушливий період, ніж берези, що пов'язано із більш інтенсивним випаровуванням вологи листям.

Дефіцит води у листках деякі автори вважають показником, який найкраще вказує на ступінь пристосованості рослини до конкретних умов зростання [20; 21]. Виникнення навіть незначного водного дефіциту призводить до зменшення вмісту слабо зв'язаної води. Показник водного дефіциту листків *B. pubescens* та *C. submollis* на обох дослідних ділянках зростає упродовж літнього періоду, найвищі його значення зафіксовано за умов найбільшої інтенсивності транспірації у серпні. Найбільше значення водного дефіциту у *B. pubescens* становить 10,20% у КБС та 11,03% у міських насаджен-

нях, у *C. submollis* – 15,42% та 16,75% відповідно (табл. 3). Тобто в умовах урботехногенного навантаження відмічено більший водний дефіцит листків деревних рослин порівняно із контролем. Зокрема, протягом червня, липня і вересня різниця відмінностей цього показника між двома ділянками коливається в межах 6,5–6,9%, а у серпні становить 7,5% у *B. pubescens* та 7,9% – у *C. submollis*.

Показник водозатримувальної здатності характеризує інтенсивність втрати води ізольованими листками під час випаровування протягом тривалого часу – кількох годин. Найшвидше і легше випаровується вільна вода, що знаходиться у міжклітинниках. За дії несприятливих гідротермічних умов тканини листя втрачають насамперед легку рухливу воду. Якщо фракція вільної води є великою, то і ступінь в'янення листків буде більшим. Водночас швид-

Таблиця 3

Водний дефіцит у листках деревних рослин за різних умов техногенного навантаження

Ділянка	Водний дефіцит за місяцями, % від сирової ваги							
	Червень		Липень		Серпень		Вересень	
	М±m	V, %	М±m	V, %	М±m	V, %	М±m	V, %
<i>Betula pubescens</i> L.								
КБС	4,15±0,62	7,54	5,26±0,52	7,92	10,20±0,51	8,55	6,05±0,42	7,48
Міські насадження	4,28±0,54	7,61	5,63±0,45	7,65	11,03±0,43	10,63	6,50±0,56	8,37
<i>Crataegus submollis</i> L.								
КБС	5,45±0,42	8,55	6,05±0,37	8,95	15,42±0,72	11,27	11,5±0,45	9,29
Міські насадження	5,83±0,65	8,26	6,49±0,5	8,52	16,75±0,54	11,65	12,3±0,56	11,28

Таблиця 4

Водозатримувальна здатність деревних рослин за різних умов урботехногенного навантаження

Дослідна ділянка	Місяці	Початковий вміст води, %	Кількість втраченої води тканинами листка, % (від початкового вмісту у листках)		
			30 хв.	60 хв.	120 хв.
			М±m	М±m	М±m
<i>Crataegus submollis</i> L.					
КБС	червень	62,6±0,87	5,0±1,17	8,4±0,65	13,9±0,74
	липень	61,4±1,08	7,6±0,84	10,3±0,92	18,3±0,78
	серпень	52,7±1,82	14,5±0,35	20,5±0,32	29,4±0,41
	вересень	49,8±2,39	10,1±0,25	15,3±0,37	24,1±0,55
Міські насадження	червень	61,3±0,92	5,1±0,58	8,6±0,78	15,2±0,45
	липень	59,3±1,25	8,4±1,12	11,5±1,45	19,3±1,25
	серпень	51,3±1,56	15,3±1,01	21,2±0,94	30,4±1,04
	вересень	48,2±2,31	10,8±1,22	16,3±1,45	25,2±2,05
<i>Betula pubescens</i> L.					
КБС	червень	64,9±0,46	4,5±0,66	8,9±0,53	17,2±0,52
	липень	63,0±0,87	5,2±0,61	10,4±0,78	22,1±0,88
	серпень	61,0±1,25	11,7±0,95	17,2±1,12	27,3±1,51
	вересень	57,5±1,59	9,0±1,12	14,9±1,21	23,6±1,32
Міські насадження	червень	63,4±0,52	4,9±0,49	2,9±0,52	5,1±0,45
	липень	62,3±1,27	6,5±1,35	12,4±1,28	24,0±1,36
	серпень	59,1±1,15	12,3±0,98	18,3±0,87	28,3±1,31
	вересень	56,5±0,95	9,3±0,87	16,1±0,93	25,0±1,22

кість водовіддачі буде високою, а стійкість тканин до зневоднення оцінюється як низька [22]. Висока стійкість до зневоднення забезпечується достатньою кількістю колоїдно-зв'язаної води.

За кількістю втраченої води у перші 30 хвилин судять про водозатримувальну здатність рослин. Рослини вважаються стійкими, якщо за 30 хвилин вони втрачають не більше 4–5% води від своєї маси [23, 24]. Наші дослідження показали, що протягом дослідного періоду втрата води за перші 30 хвилин у *C. submollis* коливалась у межах 5,0–14,5% в умовах КБС та 5,1–15,3% – в умовах вуличних насаджень міста, у *B. pubescens* – 4,5–11,7% та 4,9–12,3% відповідно (табл. 4). Найбільші значення спостерігалися у серпні та були дещо вищими в урботехногенному середовищі. Максимальну різницю (за перші 30 хвилин) між ділянками дослідження відмічено у серпні, а саме 3,2% у *B. pubescens* та 6,5% – у *C. submollis*. Подальша водовіддача у листках *B. pubescens* варіює від 3,1 до 5,8% за кожний інтервал часу, у *C. submollis* – від 3,2 до 6,1%. Наразі берези втрачали вологу дещо повільніше за глуди, що може свідчити про їхню більшу стійкість до умов навколишнього середовища.

Подібна тенденція до зниження водозатримувальної здатності із підвищенням антропогенного навантаження підтверджується показниками інших дослідників [5, 25–27]. Зокрема, Л.М. Тимошенко [25] відзначає загальну тенденцію до зниження показників водозатримувальної здатності листового апарату багатьох досліджуваних деревних рослин (*Acer platanoides* L., *Aesculus hippocastanum* L., *Betula pendula* Roth., *Tilia cordata* Mill. та інших) у липні і серпні, що, вірогідно, зумовлено комплексом негативних чинників: підвищеною температурою повітря, максимальним рівнем забруднення. Крім того, ним виявлено більш інтенсивне зниження водозатримувальної здатності деревних рослин, які зростали у несприятливих умовах.

Головні висновки. Дослідження фізіології водообмінних процесів листка у *Betula pubescens* та *Crataegus submollis* у ландшафтних композиціях Криворізького ботанічного саду і вуличних насадженнях м. Кривий Ріг виявили взаємозв'язок між отриманими показниками і ступенем забруднення місця зростання рослин. За умов більшого урботехногенного навантаження відмічено менший вміст загальної води у листках у серпні-вересні: у *B. pubescens* на 4,55–5,91%, у *C. submollis* на 2,7%–3,2%.

В умовах більшого забруднення довкілля встановлено більший вміст зв'язаної води (на 0,77–1,61%) у серпні-вересні у листках рослин. Перерозподіл фракцій води у листках рослин значною мірою проявляється в умовах забруднення інгредієнтами викидів автомобільного транспорту і промисловості, що сприяє збереженню більш високої обводненості рослин під дією стресових факторів і є показником їх стійкості.

Показник водного дефіциту зростав протягом періоду вегетації на обох ділянках, але в умовах більшого урботехногенного навантаження досягав більших значень порівняно із контролем. У серпні-вересні відмінності становили: для *B. pubescens* – 7,7–7,9%, для *C. submollis* – 6,5–7,2%. Водозатримувальна здатність у серпні-вересні виявлена слабкішою у рослин вуличних насаджень: втрата води за перші 30 хвилин досліді переважувала контрольні значення для *B. pubescens* на 3,2–3,9%, для *C. submollis* – на 6,4–6,5%.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження водного режиму деревних рослин в умовах промислового регіону, які ускладнюються посушливим кліматом Правобережного степового Придніпров'я, є необхідною мірою екологічного моніторингу довкілля. Отримані результати дають змогу прогнозувати довговічність зелених насаджень та окреслити перспективи розвитку процесів оптимізації урботехногенного середовища.

Література

1. Агроклиматический справочник по Днепропетровской области. Ленинград : Гидрометеиздат, 1958. 88 с.
2. Дячук В.А., Бабіченко В.М., Бондаренко З.С., Рудішина С.Ф. Клімат України / під ред. В.М. Липінського. Київ : Видавництво Раєвського, 2003. 342 с.
3. Бельгард А.Л. Степное лесоведение. Москва : Лесная промышленность, 1971. 321 с.
4. Зайцева І.О. Моделювання стану оводненості тканин листів різних за посухостійкістю деревних рослин. *Наукові доповіді НУБіП*, 2010. Вип. 2, №18. URL: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2010-2/10zioddr.pdf>.
5. Чернікова О.В. Вплив промислового забруднення на водний режим рослин роду *Spiraea* L. *Питання біоіндикації та екології*. Запоріжжя: ЗНУ, 2011. Вип. 16, № 2. С. 98–105.
6. Поворотня М.М. Еколого-фізіологічний аналіз стійкості видів роду *Acer* у техногенних умовах теплових електростанцій Дніпропетровщини. Дис. ... канд. біол. наук: 03.00.16. Дніпропетровськ, 2016. 150 с.
7. Лысый А.Е., Рыженко С.А., Козьрин И.П. и др. Экологические и социально-гигиенические проблемы и пути оздоровления крупного промышленного региона (на примере Криворожского железорудного бассейна). Кривой Рог, 2007. 428 с.
8. Багрий І.Д., Білоус А.М., Вилкул Ю.Г. Досвід комплексної оцінки та картографування факторів техногенного впливу на природне середовище міст Кривого Рогу та Дніпродзержинська. Відп. ред. В.М. Палій. Інститут геологічних наук НАН України. Київ : Фенікс, 2000. 145 с.
9. Гусев Н.А. Некоторые методы исследования водного режима растений. Ленинград : Всесоюз. ботан. ощество, 1960. 62 с.
10. Бессонова В.П. Практикум з фізіології рослин. Дніпропетровськ : РВВ ДДАУ, 2006. 316 с.
11. Зайцева І.О., Долгова Л.Г. Фізіолого-біохімічні основи інтродукції деревних рослин у Степовому Придніпров'ї: монографія. Дніпропетровськ : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту, 2010. 388 с.

12. Емельянов Л. Г., Анкул С. А., Осерко С. Н. Особенности саморегуляции водообмена у растений в условиях различного водного стресса. *Регуляция водного обмена растений*: Зб. наук. пр. Київ : Наук. думка, 1984. С. 82-85.
13. Физиологические основы устойчивости растений. Курс лекций под ред. О.А. Зауралова. Саранск, 1989. 70 с.
14. Ахматов К. А. Адаптация древесных растений к засухе. Фрунзе : Илим, 1976. 196 с.
15. Шматько И. Г., Слухай С. И., Шевченко Н. Н. Водный режим растений в связи с действием факторов среды. Київ : Наукова думка, 1983. 199с.
16. Алексеев А. М. Влияние состояния воды в растительных клетках на ход физиологических процессов. *Физиология и биохимия культурных растений*. 1969. Вып. 1. С. 16–21.
17. Гусев Н.А. О характеристике состояния воды в растениях. *Физиология растений*. 1962. Т.9, №4. С. 80–86.
18. Гусейнов Б. З., Масиев А. М., Наджафов Ш. Г. Водный режим древесных реликтов Тальша. Москва : Наука, 1971. С. 250–255.
19. Гриненко В.В. Значение авторегуляции водного режима в адаптации к природным факторам. *Физиология засухоустойчивости*. 1971. С. 115–123.
20. Дмитренко В. П., Чекина Т.А. Водный дефицит растений и его связь с гидрометеорологическими условиями. *Регуляция водного обмена растений*. Зб. наук. праць. Київ : Наук. думка, 1984. С. 80–82.
21. Антоненко В. С., Гойса Н. И., Митрофанов Б.А. Водный дефицит как характеристика степени влагообеспеченности растений. *Регуляция водного обмена растений*. Зб. наук. пр. Київ : Наукова думка, 1984. С. 48–50.
22. Самуилов Ф.Д. Водный обмен и состояние воды в растениях. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1972. 282 с.
23. Летние практические занятия по физиологии растений / под ред. М. С. Миллера. Москва : Просвещение, 1973. 208 с.
24. Баславская С. С., Трубецкова О. М. Практикум по физиологии растений. Москва : Изд-во Моск. ун-та. 1964. 328 с.
25. Тимошенко Л. М. Особливості водоутримної здатності листового апарату дендрофітів в умовах урбосередовища. *Збалансоване природокористування*. 2018. С. 98-105. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zp_2018_3_14
26. Гнатишин І. І. Водний режим листя в умовах урбанізованого середовища. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2015. Т. 25, № 8. С. 49–52.
27. Нестерова Н. Г. Особливості водного режиму деревних видів рослин в екологічних умовах м. Київ. *Збалансоване природокористування*. 2013. № 2–3. С. 89–95. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zp_2013_2-3_17.

ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ

УДК 322.2

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.5-38.21>

ЕКОЛОГО-ТЕХНІЧНІ ЗАСАДИ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ЗЕМЕЛЬ ЗАКРИТИХ ПОЛІГОНІВ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ (ТПВ)

Русіна Н.Г., Люльчик В.О., Петрова О.М., Кушнірук О.М., Рудько О.М.

Відокремлений структурний підрозділ «Рівненський коледж

Національного університету біоресурсів і природокористування України»

вул. Коперника, 44, 33001, м. Рівне

RusinaN@i.ua; midaff80@ukr.net; po04081964@gmail.com;

o.m.kushniruk@gmail.com; o.rudko@ukr.net

Статтю присвячено дослідженню еколого-технічних засад рекультивації земель закритих полігонів твердих побутових відходів (ТПВ). Метою дослідження є розроблення еколого-технічних засад рекультивації полігонів твердих побутових відходів і створення технологічної схеми рекультивації земель полігонів ТПВ, спрямованої на відновлення ландшафту.

Проаналізовано проблему смітників в Україні як одну із найважливіших і найактуальніших проблем забруднення навколишнього середовища. Найбільший негативний вплив відходів на навколишнє середовище спостерігається після 3-4 років від початку експлуатації звалища; вплив їх не припиняється і протягом наступних 15-20 років після закриття звалища.

Установлено, що рекультивацію землі проводять після стабілізації закритого полігону ТПВ. Рекультивація повертає порушені землі до сільськогосподарського, лісогосподарського або будівельного використання, що зменшує їх негативний вплив на довкілля. Напрями використання земель визначають обсяги робіт рекультивації із урахуванням усіх несприятливих факторів, супутніх звалищам: із повним або частковим видаленням ґрунту звалища і заміною його нормативно-чистим ґрунтом або без видалення із прикриттям його зверху нормативно-чистим ґрунтом.

Розроблено технологічну схему рекультивації земель полігонів ТПВ, яка містить поетапне проведення робіт із технічної та біологічної рекультивації, спрямованих на відновлення ландшафту. До процесів технічного етапу рекультивації відносяться такі: стабілізація, виположування і терасування (планування чаші полігону), спорудження системи дегазації, створення багатофункціонального покриття, установлення обладнання для збору фільтрату і стічних вод, передача ділянки для проведення біологічного етапу рекультивації. Підкреслено важливість захисного екрану. Сучасні захисні екрани виготовляються із геомембран і теплоніту (геосинтетичних матеріалів), які мають високу пластичність і гідроізоляційні властивості, потрібні для забезпечення екологічної безпеки під час взаємодії полігону ТПВ із навколишнім середовищем. Визначено біологічний етап рекультивації як комплекс агротехнічних і фітомеліоративних заходів, спрямованих на відновлення порушених земель і повернення їх до господарського обігу. *Ключові слова:* рекультивація земель, тверді побутові відходи, полігони захоронення ТПВ, технічний етап рекультивації, біологічний етап рекультивації.

Ecological and technical principles of municipal solid waste landfill recultivation. Rusina N., Liulchik V., Petrova O., Kushniruk O., Rudko O.

The article is sanctified to research ecological and technical principles of closed solid waste landfills reclamation. The aim of the study was the development of ecological and technical principles reclamation solid waste and creating technological scheme reclamation of landfill, which is aimed at restoring the landscape. The problem of landfills in Ukraine as one of the most important and urgent among the problems of environmental pollution is analyzed. The greatest negative impact of waste on the environment is observed after 3-4 years from the start of landfill operation. Their impact does not stop in the next 15 -20 years after the closure of the landfill. It is established that land reclamation is carried out after stabilization of the closed landfill. Reclamation returns disturbed lands to the agricultural, forestry production or building use, which reduces their negative impact on the environment. Areas of land use determine the scope of reclamation work, taking into account all adverse factors associated with landfills: with full or partial removal of landfill soil and its replacement with normatively clean soil or without removal with its overlap by normatively clean soil. The technological scheme of the land recultivation of solid waste landfills has been developed, which includes the gradual implementation of works on technical and biological reclamation aimed to restore the landscape. Stabilization, flatter, terrace building (landfill bowl planning), construction of degassing systems, creation of a multifunctional covering, installation an equipment for collecting and filtration sewage disposal, transfer the sites for carrying out the biological stage of reclamation are refer to the processes of the technical stage of the recultivation. The importance of protective screen is underlined and it is multi-layered. Modern protective screens are made of geomembranes and thermonite (geosynthetic materials), which have high plastic property and waterproofing abilities necessary to ensure environmental safety in the interaction of the landfill with the environment. The biological stage of reclamation is defined as a set of agrotechnical and phytomeliorative measures aimed to restore disturbed lands and returning them to commercialization. *Key words:* land reclamation, solid household waste, solid waste landfills, technical stage of reclamation, biological stage of reclamation.

Постановка проблеми. Протягом останнього десятиріччя в Україні триває прогресуюче накопичення як промислових, так і побутових відходів. У країні щорічно утворюються понад 50 млн.м³ твердих побутових відходів (ТПВ). На території держави нараховуються майже 6 000 полігонів ТПВ, а стихійних і неконтрольованих – до 30 000 (за різними оцінками), що приблизно 7% від усієї площі України (більше площі об'єктів природно-заповідного фонду держави). У 2020 році виявлено 22,6 тис. несанкціонованих звалищ на площі 0,56 тис. га. Загальний обсяг відходів на усіх полігонах разом із промисловими становить понад 450 мільйонів тонн за рік, більшість із яких є небезпечними. Окрім того, 99% сміттєзвалищ не відповідають екологічним вимогам, зокрема перевантаженими серед них є близько 25% [1]. У таких умовах особливу важливість набуває проблема забезпечення екологічної безпеки зберігання і видалення відходів.

Актуальність дослідження. Загальні проблеми, пов'язані із поводженням, зберіганням і видаленням відходів, знайшли відображення у працях відомих закордонних і вітчизняних науковців, таких як Т. Ашіхмін, П. Купрієнко, Т. Овчінников, М. Пінчук, Б. Трушін, С. Максимов, Т. Галаган, О. Швець, Н. Новохацька, О.Ликасов, І. Мінніахметов, Б.Мурзабулатов. Проте, незважаючи на численні розробки, питання рекультиватії полігонів і сміттєзвалищ залишаються актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У наукових працях дослідників схарактеризовано сучасний екологічний стан поводження із відходами, проаналізовано шляхи їх видалення, а також запропоновано способи повернення земель до придатного для експлуатації стану. Варто відмітити наукові доробки Л. Соломенка, присвячені вивченню екологічної культури та етичних взаємовідносин людини і довкілля. Науковець представив проект, який сприяє зменшенню утворення побутових відходів і покращенню екологічної ситуації у населених пунктах України, даючи змогу співпрацювати із органами місцевого самоврядування, впливати на свідомість населення освітньо-виховними заходами завдяки засобам масової інформації, активно проводити агітаційні та екологічні заходи серед місцевого населення [2].

У своєму дослідженні «Технологія інвентаризації місць видалення відходів методами дистанційного зондування Землі» Н. Новохацька та О.М. Трофимчук запропонували розроблену інформаційну технологію інвентаризації сміттєзвалищ, використовуючи методи ДЗЗ для створення єдиної бази даних і реєстру сміттєзвалищ, яка дозволяє виявляти і розпізнавати несанкціоновані стихійні сміттєзвалища, оперативно отримувати достовірну інформацію про поточний стан досліджуваної території, проводити своєчасний контроль, прогнозувати розвиток негативних явищ і процесів, що значно підвищує рівень

екологічної безпеки на регіональному і державному рівні, дозволяючи розробити комплекс заходів щодо зменшення впливу ТПВ на довкілля [3].

Група науковців розглядає полігони твердих побутових відходів (ТПВ) як екологічно небезпечні об'єкти, вплив яких на навколишнє природне середовище визначається на основі методів тематичного дешифрування космічних знімків і технологій геоінформаційних систем (ГІС). Космічні знімки і векторні електронні карти дозволяють проаналізувати індивідуальні особливості розміщення полігонів ТПВ відносно населених пунктів і природно-техногенних систем; визначити умови, в яких відбувається складування відходів, та їхню взаємодію із навколишнім середовищем, зокрема умови міграції забруднювальних речовин, що утворюються під час експлуатації звалищ [4].

Сміттєзвалища та полігони є джерелами поширення забруднюючих речовин, які впливають на всі компоненти природного середовища: атмосферу, гідросферу, літосферу, ґрунт, біосферу. Найбільш негативний вплив відходів на навколишнє середовище спостерігається після 3-4 років від початку експлуатації звалища; їхній вплив не припиняється і протягом наступних 15-20 років після закриття звалища. Території під звалищами та полігонами можуть використовуватися для житлової забудови, створення комунальної або промислової зони, будівництва доріг і майданчиків, для рекреаційних цілей після їх рекультиватії. Ці умови визначають обсяги робіт рекультиватії із урахуванням усіх несприятливих факторів, супутніх звалищам: із повним або частковим видаленням ґрунту звалища і заміною його нормативно-чистим ґрунтом або без видалення із прикриттям його зверху нормативно-чистим ґрунтом [5; 6].

Кількість перевантажених сміттєзвалищ становить 261 од. (4,3%), а 868 од. (14%) не відповідають нормам екологічної безпеки. Неналежним чином проводиться робота із паспортизації та рекультиватії сміттєзвалищ. Із 1542 сміттєзвалища, які потребують паспортизації, у 2020 році фактично паспортизовано 93 одиниці, а із 424 сміттєзвалища, котрі потребують рекультиватії, фактично рекультивовано 24 одиниці [1]. Окрім того, Г. Виговська та С. Гільбран надають розгорнутий аналіз показників «Регіональних доповідей про стан природного довкілля» щодо відходів, називають основні фактори стримування розвитку і модернізації інфраструктурного забезпечення поводження із відходами та виділяють чотири базові заходи із забезпечення вирішення проблеми твердих побутових відходів, зокрема екологічно безпечно полігонне захоронення відходів або залишкових продуктів переробки сміття [7].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Відзначимо, що значну частину рекомендацій, нормативних матеріалів, наукових

розробок присвячено рекультивациі порушених земель, але залишаються поза увагою питання про рекультивацию полігонів твердих побутових відходів і сміттєзвалищ.

Отже, вивчення науково-методичних підходів до рекультивациі полігонів твердих побутових відходів і сміттєзвалищ зумовлює актуальність, своєчасність і нагальність наукового пошуку із урахуванням їх впливу на довкілля і подальшого використання.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Запропоновані нами науково-методичні підходи до рекультивациі полігонів твердих побутових відходів і сміттєзвалищ можуть використовуватися для розроблення робочих проєктів, здійснення цілей сталого розвитку, створення належної системи і будівництва інфраструктури для ефективного поводження із відходами, що є важливим кроком для об'єднаних територіальних громад і відповідає Національній стратегії управління відходами в Україні до 2030 року.

Новизна. Метою дослідження є розроблення еколого-технічних засад рекультивациі полігонів твердих побутових відходів і сміттєзвалищ відповідно до екологічного та земельного законодавства України, технічних умов Державних будівельних норм «Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проєктування». Одним із завдань дослідження для виконання поставленої мети було створення технологічної схеми рекультивациі земель полігонів ТПВ, спрямованої на відновлення ландшафту.

Методологічне або загальнонаукове значення. Стан проблеми рекультивациі земель після закриття полігонів ТПВ відповідає загальнодержавним інтересам, пов'язаним із раціональним використанням

земельних ресурсів і покращенням екологічного стану країни. Обраний напрям дослідження узгоджується із Законами України «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про відходи», «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення».

Викладення основного матеріалу. Тверді побутові відходи (ТПВ) є відходами сфери споживання, що утворюються внаслідок побутової діяльності населення. Вони містять вироби та матеріали, непридатні до подальшого використання у побуті. У Законі України «Про відходи» указано, що «побутові відходи – це відходи, які утворюються під час життя і діяльності людини у житлових і нежитлових будинках (тверді, великогабаритні, ремонтні, рідкі, крім відходів, пов'язаних із виробничою діяльністю підприємств) і не використовуються за місцем їх накопичення». Вони поділяються на тверді і рідкі [8]. Полігони захоронення ТПВ – інженерно-екологічні комплекси, призначені для централізованого приймання ТПВ, їх знешкодження і захоронення, котрі запобігають поширенню забруднюючих речовин у компоненти природного середовища.

Оскільки полігони обмежені терміном експлуатації, тому ще на етапі розроблення проєкту передбачається їх рекультивация, що проводиться і в тому випадку, коли термін експлуатації їх не закінчився, але вони досягли максимальних обсягів відходів. Рекультивация полігонів ТПВ є комплексом робіт, спрямованих на відновлення народногосподарської цінності і продуктивності відновлюваних територій. Методи рекультивациі можна умовно поділити на три групи: витяг, видалення і захоронення; знищення на місці; фіксація забруднювачів.

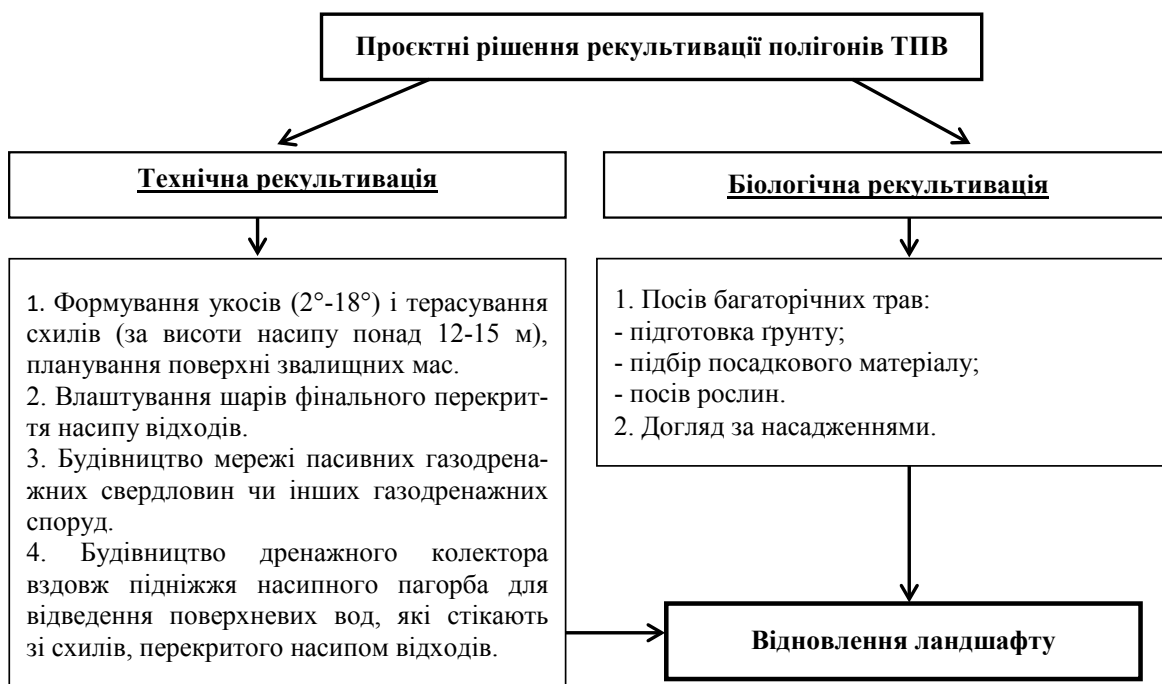


Рис. 1. Схема технології рекультивациі земель полігонів ТПВ

Рекультивация є завершальним етапом життєвого циклу полігону і здійснюється після закінчення його експлуатації у разі досягнення ним стійкого стану. Строки процесу стабілізації залежать від виду рекультивациі та кліматичних зон України, триваючи від 1 до 10 років [9]. Усі роботи здійснюються у два етапи: – технічний і біологічний (рис.1). Розробці проекту рекультивациі має передувати комплекс інженерно-екологічних вишукувань.

До процесів технічного етапу рекультивациі відносяться стабілізація, виположування і терасування (планування чаші полігону), спорудження системи дегазації, створення багатофункціонального покриття, встановлення обладнання для збору фільтрату і стічних вод, передача ділянки для проведення біологічного етапу рекультивациі.

Екран поверхні є важливим складником проекту рекультивациі сміттєзвалища, метою якого є відведення звалищного газу, що утворюється під час розкладання відходів; запобігання проникненню зливових вод із метою перешкоджання утворенню надлишкового забрудненого фільтрату всередині карти полігону; формування рекультивованого ґрунтового шару; екологічне залучення об'єкта у наявний ландшафт або екосистему. Змінами до ДБН В.2.4-2-2005 «Полігони твердих побутових відходів. Основи проектування» зазначено, що захисний екран влаштовується зверху технологічного екрана, встановленого під час експлуатації полігону ТПВ, і містить такі шари [10]:

- рекультивацийний шар із родючого ґрунту та перехідного шару із суглинку загальною товщиною не менше ніж 0,5 м;
- дренажний шар із піску не менше ніж 0,3 м;
- захисний шар для захисту геосинтетичної (геомембранної) гідроізоляції із дрібного піску, подрібненого суглинку або дрібнозернистих промислових відходів (IV класу небезпеки) із розміром зерна не більше 0,5 мм і завтовшки 0,3 м. Альтернативний варіант: захисний шар із геотекстилю з поверхневою щільністю 300-800 г/м²;
- вторинний бар'єр – геосинтетична (геомембранна) гідроізоляція завтовшки не менше ніж 1,5 мм із коефіцієнтом фільтрації води не більше ніж 10–9 м/с. На укосах поверхні полігону для надійного зчеплення захисного ґрунту із поверхнею геомембран потрібно використовувати геомембрани із текстурованою поверхнею;
- первинний бар'єр із мінеральних матеріалів із коефіцієнтом фільтрації води не більше ніж 10–9 м/с: із глини завтовшки не менше ніж 0,5 м або із трьох бентонітових матів із поверхневою щільністю бентоніту 3700 г/м²;
- газовий дренаж (щебінь фракцій від 20 до 40 мм або геокомпозит) завтовшки не менше ніж 0,3 м;
- технологічний екран (суглинистий) завтовшки не менше ніж 0,2 м.

Сучасні захисні екрани виготовляють із геомембран і теплоізоляції – геосинтетичних матеріалів, які мають високу пластичність і гідроізоляційні властивості, потрібні для забезпечення екологічної безпеки під час взаємодії полігону ТПВ із навколишнім середовищем; їхня товщина коливається від 0,5 до 5 мм. До основних переваг використання геосинтетичних матеріалів можна віднести такі: високу стійкість до різних хімічних речовин і можливих механічних впливів на неї, що збільшує період їх експлуатації; простий монтаж через їхню невелику вагу, рулонний матеріал і доступні матеріали для зварювання (будівельні фени та гарячі клини); матеріали збільшують ємність полігонів ТПВ, а також значно знижують обсяги використання глини, щебеню і піску на їхній території. Усі ці переваги дозволяють знизити витрати на їх транспортування, монтаж і ремонтні роботи за тривалого застосування. У країнах Європи засипку полігону переважно проводять спеціально розробленими геосинтетичними матеріалами, такими як бентонітові мати, захисний геотекстиль і дренажні мати [6]. Цей досвід широко застосовується у Німеччині.

Біологічний етап рекультивациі передбачає комплекс агротехнічних і фітомеліоративних заходів, спрямованих на відновлення порушених земель. Цей етап здійснюється після інженерно-технічного етапу рекультивациі і триває чотири роки. Рекультивовані землі і прилегла до них територія після завершення всього комплексу робіт повинна представляти собою оптимально організований та екологічно збалансований стійкий ландшафт.

Головні висновки. Рекультивация територій закритих полігонів дозволяє частково відновити родючість ґрунтів і з часом використовувати ці території в інших цілях. Технічна і біологічна рекультивация за методами проведення і подальшого використання рекультивованих ділянок містить такі напрями: лісогосподарський, сільськогосподарський, рекреаційний, будівельний. На вибір одного чи декількох способів впливають такі моменти: особливості природних умов; географічне розташування території; технічні умови рекультивациі земель; перспективна експлуатація оновленої площі; термін виконання. Технічний напрям рекультивациі поділяється на такі різновиди: 1) проектно-структурний, сутність якого полягає у розробленні проектів формування нових ландшафтів і поверхонь (профільовання, терасування, планування у вертикальному напрямку та інших); 2) хімічний, що передбачає застосування різноманітних хімічних речовин (вапно, гіпс, глини, сорбенти, мінеральні добрива та інші), які, впливаючи на поверхню ґрунту, сприяють відновленню її властивостей і параметрів; 3) гідротехнічний використовує гідротехнічні роботи, що позбавляють ґрунт зайвої вологи; 4) теплотехнічний, який передбачає збирання біогазу за системою пасивної дегазації і проектування газового дренажу.

Роботи із рекультивації закритих полігонів мають починатися на стадії експлуатації полігону, зокрема формування укосів, закладення дренажних колекторів і газодренажних систем. Адже експлуатація переважної більшості полігонів ТПВ здійснюється зі значними відхиленнями від затверджених проєктів, що супроводжується постійним негативним впливом полігонів на навколишнє середовище, які у низці випадків мають катастрофічні масштаби. Проведення рекультивації на таких полігонах після завершення їхньої експлуатації у деяких випадках просто неможлива без застосування нестандартних проєктних рішень.

Перспективи використання результатів дослідження. До основних завдань потрібно віднести розроблення заходів із рекультивації несанкціонованих або стихійних звалищ, яких в Україні нараховується

32 984 об'єктів [11]. Окрім того, важливим напрямом наукового розгляду є можливість повторного використання рекультивованих полігонів для складування відходів, тобто багаторазового використання майданчиків захоронення ТПВ. Такий вид рекультивації дозволить вирішити проблему відведення нових територій під полігони ТПВ, санувати старі звалища і забезпечити виконання чинних нормативних вимог до об'єктів захоронення ТПВ; багаторазово використовувати відведені території для захоронення ТПВ; зберігати природні ресурси за рахунок використання вторинної сировини (скло, метали, пластики) та рециркуляції отриманого під час сортування звалищного ґрунту для пересипання ТПВ і рекультивації; виключити можливість розроблення кар'єрів ґрунту; скоротити витрати на стадії інвестицій, а також капітальні та постексплуатаційні витрати.

Література

1. Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2020 рік. UDR: <https://www.minregion.gov.ua/paryamki-diyalnosti/zhkh/terretory/stan-sfery-povodzhennya-z-pobutovymy-vidhodamy-v-ukrayini-za-2020-rik-2/>
2. Розумнюк Я.В., Соломенко Л.І. Сміття як важлива екологічна проблема на шляху до сталого розвитку. UDR: <http://eztuir.ztu.edu.ua/123456789/5427>
3. Новохацька Н.А., Трофимчук О.М. Технологія інвентаризації місць видалення відходів методами дистанційного зондування Землі. *Екологічна безпека та природокористування*. 2014. Вип.14. С. 31–40.
4. Шевякіна Н.А., Трофимчук О. М., Красовський Г. Я., Клименко В.І. Методи і моделі космічного моніторингу зон впливу полігонів твердих побутових відходів на довкілля. *Космічна наука і технологія*. 2019. Т.25, № 1. С. 62-72 .
5. Лыкасов О.Н., Миннихметов И.С., Мурзабулатов Б.С. Рекультивация земель, нарушенных несанкционированными свалками. UDR: <http://kadastr.org/conf/2017/pub/monitprir/rekultivaciya-zemel-narushen-nesankc-svalkami.htm>
6. Куприенко П.С. Рекультивация закрытых полигонов ТБО. UDR: <https://cyberleninka.ru/article/n/rekultivatsiya-zakrytyh-poligonov-tbo>
7. Виговська Г.П., Гільбран С.В. Оцінка техніко-екологічного стану об'єктів інфраструктури щодо поводження із твердими побутовими відходами (ТПВ). *Екологічні науки*. 2020. Т. 1, № 2(29). С.158-163.
8. Про відходи: Закон України від 5 березня 1998 р. № 187/98-ВР / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/187/98-%D0%B2%D1%80#Text>
9. Державні будівельні норми «Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проєктування». URL: <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2017/03/DBN-V.2.4-2-2005.pdf>
10. ДБН В.2.4-2-2005 Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проєктування. Зміна № 2. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=89799/
11. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 р.: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р. URL: zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-p.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Антоняк Галина Леонідівна (Львів) – доктор біологічних наук, професор, професор кафедри екології, Львівський національний університет імені Івана Франка;

Афанасьєва Ольга Олександрівна (Київ) – аспірантка кафедри екології, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Билина Лілія Вікторівна (Житомир) – аспірант кафедри зоології, біологічного моніторингу та охорони природи, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

Білецький Олег Олександрович (Київ) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теоретичної електротехніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Бойко Людмила Іванівна (Кривий Ріг) – кандидат біологічних наук, старший наук. співробітник, завідувач відділу інтродукції та акліматизації рослин, Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України;

Волошин Олексій Григорович (Чернігів) – аспірант кафедри екології та охорони природи природничо-математичного факультету, Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка;

Волошина Наталія Олексіївна (Київ) – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри екології, Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова;

Галушкіна Тетяна Павлівна (Київ) – доктор економічних наук, професор, заслужений економіст України, професор кафедри зеленої економіки та природокористування, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Гордій Наталія Михайлівна (Кам'янець-Подільський) – кандидат біологічних наук, старший викладач кафедри екології, Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка;

Горобей Марина Сергіївна (Київ) – кандидат технічних наук, директор центру діджиталізації освітньої та наукової діяльності, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Данильчук Наталія Михайлівна (Кривий Ріг) – кандидат біологічних наук, молодший науковий співробітник відділу інтродукції та акліматизації рослин, Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України;

Дубінський Денис Валерійович (Київ) – аспірант кафедри екології факультету природничо-географічної освіти та екології, Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова;

Дячок Василь Володимирович (Львів) – доктор технічних наук, професор кафедри екології та збалансованого природокористування, Інститут сталого розвитку імені В'ячеслава Чорновола Національного університету «Львівська Політехніка»;

Закорчевна Наталія Борисівна (Київ) – кандидат економічних наук, завідувачка кафедри водних екосистем і біоресурсів, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Іващенко Тарас Григорович (Київ) – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри екологічного аудиту та експертизи, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Климчик Ольга Миколаївна (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри екологічної безпеки та економіки природокористування, Поліський національний університет;

Коротецький Василь Павлович (Київ) – асистент кафедри водних екосистем і біоресурсів, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Котовський Віталій Йосипович (Київ) – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри загальної фізики та моделювання фізичних процесів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Красовський Володимир Васильович (Хорол) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, директор, Хорольський ботанічний сад;

Куровська Анастасія Євгенівна (Житомир) – студентка IV курсу, Державний навчальний заклад «Центр сфери обслуговування м. Житомира»;

Кушнір Володимир Володимирович (Луцьк) – старший викладач кафедри економіки та туризму, Академія рекреаційних технологій і права;

Кушнірук Олександр Миколайович (Рівне) – викладач, Відокремлений структурний підрозділ «Рівненський коледж Національного університету біоресурсів і природокористування України»;

Любинський Олександр Іванович (Кам'янець-Подільський) – доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри екології, Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка;

Люльчик Вадим Олександрович (Рівне) – кандидат сільськогосподарських наук, завідувач технічним відділенням, Відокремлений структурний підрозділ «Рівненський коледж Національного університету біоресурсів і природокористування України»;

Максимова Наталія Миколаївна (Маріуполь) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології та економіки довкілля, Технічний університет «Метінвест Політехніка»;

Машков Олег Альбертович (Київ) – доктор технічних наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки України, Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, професор кафедри екологічної безпеки, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Ничай Стефан Тарасович (Львів) – студент I курсу, Інститут сталого розвитку імені В'ячеслава Чорновола Національний університет «Львівська політехніка»;

Новак Володимир Володимирович (Бар) – викладач циклової комісії природничих дисциплін, Комунальний заклад вищої освіти «Барський гуманітарно-педагогічний коледж імені Михайла Грушевського»;

Ольхова-Марчук Наталія Володимирівна (Луцьк) – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри економіки та туризму, Академія рекреаційних технологій і права;

Орлінська Ольга Вікторівна (Дніпро) – доктор геологічних наук, професор, професор кафедри цивільної інженерії, технологій будівництва і захисту довкілля, Дніпровський державний аграрно-економічний університет;

Перечений Володимир Леонідович (Київ) – завідувач проблемної науково-дослідної лабораторії прикладної екології, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Петрова Ольга Миколаївна (Рівне) – викладач, Відокремлений структурний підрозділ «Рівненський коледж Національного університету біоресурсів і природокористування України»;

Поліщук Олександр Ігорович (Львів) – аспірант кафедри екології, Львівський національний університет імені Івана Франка;

Рубановська Наталія Василівна (Кам'янець-Подільський) – кандидат біологічних наук, старший викладач кафедри біології та методики її викладання, Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка;

Руда Марія Віталіївна (Львів) – кандидат технічних наук, асистент кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності, Національний університет «Львівська політехніка»;

Рудько Ольга Миколаївна (Рівне) – викладач, Відокремлений структурний підрозділ «Рівненський коледж Національного університету біоресурсів і природокористування України»;

Русин Ірина Богданівна (Львів) – кандидат біологічних наук, доцент, докторант кафедри екології та збалансованого природокористування, Інститут сталого розвитку імені В'ячеслава Чорновола Національного університету «Львівська Політехніка»;

Русіна Неля Григорівна (Рівне) – кандидат педагогічних наук, викладач, Відокремлений структурний підрозділ «Рівненський коледж Національного університету біоресурсів і природокористування України»;

Святненко Вадим Анатолійович (Київ) – старший викладач кафедри теоретичної електротехніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Семерня Оксана Миколаївна (Кам'янець-Подільський) – доктор педагогічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка;

Сидоренко Олена Володимирівна (Київ) – доктор технічних наук, директор, Науково-дослідний інститут Держзвдекологія;

Скиба Діана Валеріївна (Горішні Плавні) – керівник програм поліпшення з екології, Приватне акціонерне товариство «Полтавський гірничо-збагачувальний комбінат»;

Стасевич Сергій Павлович (Львів) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності, Національний університет «Львівська політехніка»;

Сушко Дмитро Юрійович (Київ) – аспірант кафедри екології факультету природничо-географічної освіти та екології, Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова;

Терлецький Володимир Карлович (Луцьк) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри економіки та туризму, Академія рекреаційних технологій і права;

Трускавецька Ірина Ярославівна (Переяслав) – кандидат історичних наук, доцент кафедри біології і методики навчання, Університет Григорія Сковороди в Переяславі;

Тютюнник Оксана Сергіївна (Кам'янець-Подільський) – кандидат сільсько-господарських наук, старший викладач кафедри екології, Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка;

Федорчук Іван Вікторович (Кам'янець-Подільський) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка;

Фіцайло Тетяна Василівна (Київ) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник відділу геоботаніки та екології, Інститут ботаніки імені М.Г. Холодного Національної академії наук України;

Черняк Таїсія Василівна (Хорол) – завідувач сектору дендрології, розмноження рослин та еколого-освітньої діяльності, науковий співробітник, Хорольський ботанічний сад;

Чушкіна Ірина Вікторівна (Дніпро) – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри цивільної інженерії, технологій будівництва і захисту довкілля, Дніпровський державний аграрно-економічний університет;

Шевчук Лариса Миколаївна (Житомир) – доктор біологічних наук, професор, професор кафедри зоології, біологічного моніторингу та охорони природи, Житомирський державний університет імені Івана Франка;

Юхименко Юлія Станіславівна (Кривий Ріг) – кандидат біологічних наук, молодший науковий співробітник відділу інтродукції та акліматизації рослин, Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України.

Наукове видання

ЕКОЛОГІЧНІ НАУКИ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

5(38)

- *Теоретична екологія*
- *Екологічна освіта*
- *Екологія водних ресурсів*
- *Екологія і виробництво*
- *Загальні проблеми екологічної безпеки*
- *Збереження біологічного та ландшафтного різноманіття*
- *Поводження з відходами*

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. Інглєзі, 6/1
Тел. +38 (048) 709 38 69, +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua

Підписано до друку 18.11.2021. Формат 64x84/8.

Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman. Цифровий друк.
Ум. друк. арк. 15,57. Тираж 100. Замовлення № 1221/466.
Ціна договірна. Віддруковано з готового оригінал-макета