

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

3(30)



Видавничий дім
«Гельветика»
2020

Екологічні науки : науково-практичний журнал / Головний редактор Машков О.А. – К. : ДЕА,
2020. – № 3(30). – 206 с.

Головний редактор:

Машков О.А., доктор технічних наук

Редакційна колегія:

Азаров С.І., доктор технічних наук

Бондар О.І., доктор біологічних наук

Гандзюра В.П., доктор біологічних наук

Єрмаков В.М., доктор технічних наук

Захматов В.Д., доктор технічних наук

Іващенко Т.Г., кандидат технічних наук

Коніщук В.В., доктор біологічних наук

Лукаш О.В., доктор біологічних наук,

Машков В.А., доктор технічних наук

Михайленко Л.Є., доктор біологічних наук

Нецветов М.В., доктор біологічних наук

Ольшевський С.В., доктор технічних наук

Риженко Н.О., доктор біологічних наук

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

доктор географічних наук, доктор технічних наук

Улицький О.А., доктор геологічних наук

Фінін Г.С., доктор фізико-математичних наук

Шматков Г.Г., доктор біологічних наук

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

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

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

ЗМІСТ

ТЕОРЕТИЧНА ЕКОЛОГІЯ	7
Васютинська К.А., Барбашев С.В., Кімінчиджи М.І. Оцінка комплексного показника екологічної урбанізації регіонів України.....	7
Хлестова О.А., Єлістратова Н.Ю., Кальянов А.В., Волков Д.В. Використання математичної теорії катастроф у промисловій екології.....	15
Шевченко Р.Ю., Шевченко З.М. Геософічна (історико-філософська) парадигма моніторингу довкілля-простору.....	20
Яковишина Т.Ф. Удосконалення методології бонітування ґрунтів урбоєкосистем для оцінювання ступеня їх екологічної безпеки.....	25
ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ	30
Бондар О.І., Машков О.А., Міхєєв В.С. Системний підхід щодо створення системи підтримки екологічних рішень для забезпечення екологічної безпеки держави.....	30
Herasyunchuk O.L., Korbut M.B., Kotsiuba I.H. Analysis of the stability of woody plant species of urban ecosystem of Zhytomyr.....	39
Yermishev O.V. Functional and ecological expertise (FEE) in Chechelnyk district, Vinnytsia region.....	42
Прокопів Н.М., Мельниченко Г.М. Закономірності пилення видів роду <i>Ambrosia</i> в атмосферному повітрі басейну р. Бистриці у 2015–2017 роках.....	49
Русин І.Б., Медведєв О.В., Воронько В.В., Пашук А.В. Вплив забруднення важкими металами на біоелектричний потенціал біотопів.....	53
Салій І.В., Павленко О.І., Орехова О.В. Аналіз передчасної смертності населення еколого-небезпечного регіону.....	60
ЕКОЛОГІЯ ТА ЕКОНОМІКА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ	64
Мірошник Н.В., Лавров В.В., Грабовський М.Б., Грабовська Т.О., Тесленко І.К. Порівняльний аналіз екологічної структури фіторізноманіття полязахисних лісосмуг на полях органічного та традиційного виробництва.....	64
Снігінський В.В., Хірівський П.Р., Гнатів І.Р. Особливості формування поверхневого стоку гірських річок за вирубки лісів та розорювання схилів територій.....	73
ЕКОЛОГІЯ І ВИРОБНИЦТВО	78
Бондар О.І., Гончаренко М.І., Засельський В.Й., Пополов Д.В., Суєло Н.В., Зайцев Г.Л., Сагалай Д.В. Шлях зниження промислового пиловиділення під час підготовки вугільної шихти до коксування.....	78
Бондар О.І., Риженко Н.О., Салій І.В. Накопичення шлаків металургійних підприємств: оцінка впливу на довкілля та екологічно обґрунтоване поводження.....	83
Гапонич Л.С., Голенко И.Л., Топал А.И. Перспективы использования SRF и RDF на цементных заводах Украины.....	92
Горобей М.С. Екологічні шкоди карбоновмісного пилу та зменшення його негативного впливу на довкілля як складник сталого розвитку гірничовидобувної галузі.....	98
Шатоха В.І., Матухно О.В. Моделювання сценаріїв модернізації металургійної галузі України до 2030 року з метою скорочення викидів діоксиду вуглецю.....	104
ЕКОЛОГІЯ І ТРАНСПОРТ	110
Zaichenko S.V., Shalenko V.O., Zaichenko L.I., Krupa K.V. Improving the environmental performance of vehicles upgrading the cooling system of an internal combustion engine.....	110
Пилипчук О.Я., Висоцька Т.І., Пічкур Т.В. Сучасні шляхи зниження впливу залізничного транспорту на навколишнє середовище: проблема очищення ґрунту від нафтопродуктів.....	113

ЕКОЛОГІЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ.....	119
Борисенко М.М., Лукашов Д.В. Оцінка впливу роботи Канівської ГЕС у нижньому б'єфі на показники забрудненості води за біотичними індексами.....	119
Валерко Р.А., Герасимчук Л.О. Органічне сільське господарство як фактор впливу на вміст нітратів у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання сільських населених пунктів.....	124
Верголяс М.Р. Оцінка токсичності нітратів у воді з використанням цитоморфологічних показників тест-організмів.....	129
Крайнюков О.М., Деменко А.В. Дослідження актуальності використання мікроядерного тесту для захисту водної екосистеми від впливу небезпечних хімічних речовин.....	133
Саламатін Д.М., Дігтяр С.В. Застосування методів біотестування у моніторингових дослідженнях природних поверхневих та підземних, а також промислових стічних вод.....	138
Якименко Г.М. Вплив метеорологічних умов на скринінгові показники радіаційної безпечності води.....	143
ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ.....	148
Андрющенко Ю.О., Кошелєв О.І., Дядічева О.А., Кошелєв В.О., Попенко В.М., Черничко Й.І., Черничко Р.М., Винокурова С.В. Експертна оцінка стану орнітофауни та загроз для птахів на території проєктованої вітрової електростанції в Північно-Західному Приазов'ї.....	148
Гавриленко Н.О. Збереження созофітів світової флори ex situ на півдні України.....	166
Гетьман В.І. Мораль і мудрість заповідної природи.....	171
Калашнікова Л.В., Дорошенко Ю.В. Комплексна оцінка раритетних видів відділу Magnoliophyta колекції дендропарку «Олександрія».....	176
Мазура М.Ю., Лещенюк О.М., Тесленко І.К., Юрчук М.І. Аналіз чутливості пилку рослин <i>Canna L.</i> в умовах аеротехногенного пресингу.....	182
Трускавецька І.Я. Видове різноманіття лускокрилих родини Бражники (<i>Sphingidae</i>) в урочищі Рожена Криниця Канівського району.....	188
Шевчук Л.М., Билина Л.В., Бігнер Д.В. Стан популяцій двостулкових молюсків родин Unionidae та Pisidiidae (Mollusca: Bivalvia) у басейні Случі в умовах загострення екологічної ситуації.....	192
СИСТЕМА ЕКОЛОГІЧНОЇ ОСВІТИ ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ.....	197
Баштовенко О.А. Екологічний та здоров'язбережувальний складники освіти.....	197
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....	202

CONTENTS

THEORETICAL ECOLOGY	7
Vasyutinskaya E., Barbashev S., Kiminchigi M. Evaluation of the environmental urbanization's complex indicator of the Ukraine regions.....	7
Khlestov A., Elistratova N., Kalyanov V., Volkov D. Using the mathematical theory of disasters in industrial ecology.....	15
Shevchenko R., Shevchenko Z. Geospherical (historical-philosophical) paradigm of environmental-spatial monitoring.....	20
Yakovyshyna T. Improving the bonitet methodology for soils of the urban ecosystems to assess the degree of their ecological safety.....	25
GENERAL ENVIRONMENTAL SAFETY ISSUES	30
Bondar O., Mashkov O., Mikheev V. Systemic approach to creating a system of supporting environmental solutions to ensure the environmental safety of the state.....	30
Herasymchuk O., Korbut M., Kotsiuba I. Analysis of the stability of woody plant species of urban ecosystem of Zhytomyr.....	39
Yermishev O. Functional and ecological expertise (FEE) in Chechelnyk district, Vinnytsia region.....	42
Prokopiv N., Melnichenko G. Peculiarities of pollination of species of the Ambrosia genus in atmospheric air within the basin of the Bystrytsia river in 2015–2017 years.....	49
Rusyn I., Medvediev O., Voronko V., Pashuk A. Effect of heavy metal contamination on bioelectric potential of biotopes.....	53
Salii I., Pavlenko O., Oriekhova O. Analysis of premature mortality of the population of the ecological and dangerous region.....	60
ECOLOGY AND ECONOMICS OF NATURAL RESOURCE USE	64
Miroshnyk N., Lavrov V., Grabovskyi M., Grabovska T., Teslenko I. Comparative analysis of the ecological structure of phytodiversity of field protective forests in the fields of organic and traditional production.....	64
Snitynskyi V., Khirivskyi P., Hnativ I. Features of surface runoff formation of mountain rivers during deforestation and plowing of slope areas.....	73
ECOLOGY AND PRODUCTION	78
Bondar O., Goncharenko M., Zaselskiy V., Popolov D., Suslo N., Zajtsev G., Sahalai D. The way of reducing industrial dust emission during preparation of coal charge for coking.....	78
Bondar O., Ryzhenko N., Saliy I. Storage of metallurgical enterprises slags: environmental impact assessment and environmentally friendly management.....	83
Haponych L., Holenko I., Topal O. The prospects to use SRF and RDF at cement plant of Ukraine.....	92
Gorobei M. Ecological damages of carbon-containing dust and reduction of its negative impact on the environment as a component of sustainable development of the mining industry.....	98
Shatokha V., Matukhno E. Modeling the scenarios of Ukrainian steel industry modernization towards 2030 aimed at carbon dioxide emissions reduction.....	104
ECOLOGY AND TRANSPORT	110
Zaichenko S.V., Shalenko V.O., Zaichenko L.I., Krupa K.V. Improving the environmental performance of vehicles upgrading the cooling system of an internal combustion engine.....	110
Pylypchuk O., Vysotska T., Pichkur T. Modern ways to reduce the impact of railway transport on the environment: the problem of soil cleaning from petroleum products.....	113

ECOLOGY OF WATER RESOURCES	119
Borysenko M., Lukashov D. Estimation of the impact of the operation of the Kaniv Hydroelectric Power Plant in the downstream on the water pollution degree using biotic indexes.....	119
Valerko R., Herasymchuk L. Organic agriculture as a factor of influence on the content of nitrates in drinking water sources of non-centralized water supply of rural settlements.....	124
Vergolyas M. Assessment of nitrate toxicity in water using cytomorphological indicators of test organisms.....	129
Krainiukov O., Demenko A. Research of the relevance of using the micronuclear test to protect the aquatic ecosystem from exposure to hazardous chemicals.....	133
Salamatin D., Digtiar S. Application of biotesting methods in monitoring research natural surface and underground, and also industrial waste water.....	138
Yakymenko A. Meteorological conditions influence on radiation safety screening indices of water.....	143
PRESERVATION OF BIOLOGICAL AND LANDSCAPE DIVERSITY	148
Andryushchenko Yu., Koshelev O., Diadicheva O., Koshelev V., Popenko V., Chernichko I., Chernichko R., Vinokurova S. Expert estimation of the avifauna state and threats for birds within the area of planned wind electrical power station on the North-Western coast of the Sea of Azov....	148
Havrylenko N. Conservation of sozophytes of the world flora ex situ in the south of Ukraine.....	166
Getman V. Morality and wisdom of the reserved nature.....	171
Kalashnikova L., Doroshenko Yu. Comprehensive assessment of rare species of Magnoliophyta of the collection of dendrological park “Olexandria”.....	176
Mazura M., Leshcheniuk O., Teslenko I., Yurchuk M. Sensitivity analysis pollen of <i>Canna L.</i> plants under anthropogenic pressure.....	182
Truskavetska I. Species diversity of lepidóptera families Sphingidae in the tract Rozhena Krynytsia Kanivsky district.....	188
Shevchuk L., Bylyna L., Bitner D. State of populations of Bivalve Mollusks of the families Unionidae and Pisidiidae (Mollusca: Bivalvia) in Sluch River basin in the conditions of exacerbation of the ecological situation.....	192
ENVIRONMENTAL EDUCATION SYSTEM FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT	197
Bashtovenko O. Environmental and health component of education.....	197
AUTHORS’ CREDENTIALS	202

ТЕОРЕТИЧНА ЕКОЛОГІЯ

УДК 502.578+911.375: 314.92

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.3-30.1>

ОЦІНКА КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗНИКА ЕКОЛОГІЧНОЇ УРБАНІЗАЦІЇ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ

Васютинська К.А., Барбашев С.В., Кімінчиджи М.І.

Одеський національний політехнічний університет
пр. Шевченка, 1, 65044, м. Одеса

e.a.vasutinskaya@opu.ua, josik65@gmail.com, maria.kiminchidzi@gmail.com

Стаття присвячена розробленню методу індикаторної оцінки урбанізації регіонів України з огляду на взаємозв'язки між сталістю природно-техногенних систем та урбогенним насиченням територій. Україна належить до високоурбанізованих країн світу, але відрізняється від них хаотичністю урбанізації та різким скороченням чисельності населення, у тому числі міського. Представлений комплекс взаємозалежних складників урбанізаційного процесу, які мають позитивні та негативні наслідки для навколишнього середовища. Показано, що деградація довкілля під впливом різних чинників урбанізації охоплює ландшафти різного типу далеко за межами міст і приміських територій. Для оцінки комплексного впливу урбанізаційних процесів на екологічний стан системи «місто – прилеглі території» запропонований інтегральний показник – індикатор урбогенності. Структура індикатора урбогенності складається з груп показників промислово-технологічної, демографічної, екологічної, соціально-економічної урбанізації. Представлені критерії вибору показників, відповідно в методологічному, інтегральному і динамічному аспектах. Екологічна урбанізація визначена як чинник, що лімітує розвиток урбанізованих територій через обмеженість кількості та якості сировинних та територіальних ресурсів. Виконаний розрахунок та аналіз індексів екологічної урбанізації дав змогу диференціювати області України за рівнем урбогенного навантаження на території різного функціонального призначення і різного ступеню агрегації населення. Визначені чотири групи областей України залежно від значень індексів екологічної урбанізації, які не збігаються із загальним рівнем урбанізації. Показані переваги означеного підходу для екологічного оцінювання впливу урбанізації на територіальні системи: врахування прямих та зворотних зв'язків між міським середовищем та природними і квазіприродними системами прилеглих територій; комплексність оцінювання; розглядання міст та приміських територій як цілісних об'єктів впливу на довкілля. Введення в практику екологічних оцінок інтегрального індикатора урбогенності дасть змогу визначати ступінь багатогранних впливів урбанізаційних процесів на рівень екологічної безпеки територій, прогнозувати їх наслідки в планах сталого розвитку регіонів.

Ключові слова: урбанізаційний процес, екологічна урбанізація, індикаторна оцінка, інтегральний показник урбогенності.

Evaluation of the environmental urbanization's complex indicator of the Ukraine regions. Vasyutinskaya E., Barbashev S., Kiminchigi M.

The article is devoted to the development of an indicator assessment method for the urbanization of the Ukraine regions, which will take into account the coupling of the sustainability of natural-technogenic systems and the urban load of territories. Ukraine is of the highly urbanized countries but differs from them by chaotic urbanization and a fast reducing of population, including urban. The complex of inter-related components of the urbanization process that have positive and negative consequences for the environment is presented. Environmental degradation under the impact of various urbanization factors covers landscapes of various types far beyond the cities and suburban territories. The integral urbogenicity indicator was proposed to assess the complex effect of urbanization processes on the ecological state of the system "city – adjacent territories". The structure of the urbogenicity indicator consists of following groups of indices: industrial, demographic, environmental, socio-economic. The methodological, integral and dynamic aspects of indicators were characterized, and the criteria for their selection were presented. Ecological urbanization was defined as a factor limiting the development of urban areas due to the limited quantity and quality of raw materials and territorial resources. The performed calculation and analysis of ecological urbanization indexes made it possible to differentiate the regions of Ukraine according to the level of urban load on territories with various functional purposes and different degrees of population aggregation. Four groups of Ukraine regions were identified according to the values of ecological urbanization indexes, which haven't coincided with the general urbanization level. The advantages of this approach for ecological evaluation of the urbanization impact on territorial systems were represented: taking into account direct and inverse relationships between the urban environment, natural and quasi-natural systems of suburban territories; integral assessment; presentation of cities with surrounding territories as holistic objects of environmental impact. The introduction into practice of environmental assessments of the integral urbogenicity indicator makes it possible to define the degree of the multifactor effects of urbanization processes on the environmental safety level of territories, and predict their consequences in the plans for sustainable development of the regions.

Key words: urbanization process, ecological urbanization, integral indicator, indicator of urbanization.

Постановка проблеми. Глобальний характер урбанізації визначає більшість негативних процесів у навколишньому природному середовищі – тотальне забруднення всіх компонентів довкілля, деградацію ландшафтів, зміни характеру використання біологіч-

них ресурсів, порушення сталої рівноваги природних екосистем та біосфери загалом.

Україна належить до високоурбанізованих країн (69,4% за станом на 01.01.2020 [1]) та за цим показником займає 73 місце в рейтингу країн світу [2]. При

цьому є низка принципових відмінностей України від інших держав, що проявляється, по-перше, в різкому зменшенні чисельності населення, в тому числі міського (падіння в 1,33 раза усього населення та в 1,2 раза – міського [3]). Хаотичність урбанізації сприяла нерівномірному розподілу 461 міст за областями, територія яких займає лише 3% загальної площі країни.

Урбанізаційні процеси здійснюють багатofакторні, комплексні впливи на довкілля, зумовлюють ініціювання екологічних небезпек не тільки в містах, але й на прилеглих територіях. Деградація міського середовища за механізмом зворотного позитивного зв'язку [4] викликає цикл односпрямованих негативних процесів, які охоплюють ландшафти різного типу далеко за межами приміських територій та визначають стан екологічної безпеки регіонів загалом. Але сучасні методи екологічних оцінок різних за функціональним призначенням територій не враховують у комплексі всі особливості формування екологічного стану системи «місто – прилегли території» в умовах сполучення природних та урбогенно-техногенних взаємодій. Отже, виникає необхідність застосувати інтегральні показники для визначення ступеню урбогенності територій як визначального чинника сталості територіальних систем.

Мета та завдання дослідження – на основі аналізу аспектів урбанізації запропонувати методичні підходи до вимірювання рівнів урбогенності територій за допомогою інтегрального індикатора урбогенності, визначити особливості екологічної складової частини урбанізаційного процесу, оцінити урбогенність регіонів України за розрахованим індексом екологічної урбанізації.

Поставлена мета досягалась шляхом встановлення принципів виділення груп показників відповідно до різних аспектів урбанізації, розроблення критеріїв їх відбору та виконання відповідних розрахунків.

Актуальність дослідження. Сучасні урбанізаційні процеси є визначальним фактором формування стану екологічної безпеки територіальних угруповань різного рівня організації. Розроблення індексу урбанізації як інтегрального показника стану екологічної безпеки складної динамічної системи міста з прилеглими природними та квазіприродними територіями є актуальним та своєчасним завданням із реалізації концепції сталого та безпечного розвитку регіонів.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження відповідає стратегічним цілям та завданням, які визначені в Законі України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» [5], а саме: завданню «зменшення негативного впливу процесів урбанізації на навколишнє природне середовище» (Ціль 2 – «Забезпечення сталого розвитку природно-ресурсного потенціалу України») [5]. Удосконалення та подальший розвиток індикаторних методів оцінювання дає змогу комплексно враховувати потенціали небезпек урбогенного походження для довкілля, життя і здоров'я населення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивчення взаємозалежності стану навколишнього середовища та процесів прискореної урбанізації, які охопили багато країн Азії, Америки, Європи, є «топ-темою» наукових міжнародних досліджень.

Бурхливий розвиток міст із різким зростанням чисельності населення найбільш притаманний Китаю. У багаточисельних дослідженнях урбанізована територія цієї країни розглядається як осередок нагромадження проблем хімічного та шумового забруднення довкілля, дефіциту якісної питної води, накопичення виробничих і побутових відходів та інших проблем, пов'язаних із зростаючим дисбалансом природного середовища та урбанізованої території. Так, у роботі [6] на прикладі 350 префектурних одиниць Китаю встановлені кореляції між економічними та екологічними підсистемами. Показано, що неврахування екологічних цілей буде обмежувати промисловість виробництвом та переробкою первинної продукції, що виснажує природні ресурси країни. У роботі [7] індикаторний підхід для оцінки еволюційного рівня урбанізації протягом 2005–2012 років запропонований для Пекіну. Індекси оцінюють різне значення міського будівництва, економічного розвитку, змін екологічного середовища та сільського господарства для «швидкості» і «якості» процесів урбанізації.

Питання сталої безпеки територій багатьох країн розглядаються, як правило, за допомогою індикаторів, запропонованих міжнародними організаціями [8], серед яких «Індекс живої планети» (Living Planet Index); показник «Екологічний слід» (Ecological Footprint) та «Водний слід» (Water Footprint); «Індекс екологічної сталості» (Environmental Sustainability Index), система індикаторів ООН «Екологічна ціль» (Millennium Development Goals) та інші. Наприклад, у дослідженнях, присвячених екологічній безпеці міст і регіонів Європи, часто застосовують індикатор «Екологічний слід» [9], який базується на оцінках екологічного потенціалу території через здатність протистояти різноманітним впливам антропогенно-техногенного характеру.

На прикладі міст Італії [10] обґрунтована система індикаторів DPSIR (Driving-Pressure-State-Impact-Response – Рушійна сила-Тиск-Стан-Вплив-Відгук), які можна представити як комплекс показників реакцій екологічного стану міських систем на антропогенні навантаження різного генезису. Індекси DPSIR визначаються на основі статистичних даних, належать до відомої системи індикаторів PSR (Pressure-State-Response – Тиск-Стан-Реакція), яка розроблена Організацією Економічного Співтовариства та Розвитку (ОЕСР) [11]. Модель PSR є загальноприйнятою в багатьох методах визначення комплексних індексів та дає змогу здійснювати їх ієрархічну обробку.

Загалом індикатори покликані бути основою запровадження узгоджених заходів для мінімізації та запобігання негативних змін довкілля, погіршення загальної безпеки. Їх втілення в реальну політику зарубіжних

країн спрямоване на вирішення глобальних проблем подолання бідності, забезпечення високої якості життя і безпеки міського населення.

Дослідження вітчизняних науковців, в яких застосовується індексний підхід, присвячені в основному порівнянню адміністративних областей країни за ознаками напруженості екологічної ситуації внаслідок техногенних впливів чи природних катастроф [12; 13]. Зазначимо, що перевагами індикаторного методу є широке застосування математичних моделей і сучасних інформаційних технологій, що дає змогу не тільки оцінювати, але й прогнозувати стан урбогенних систем. Такий підхід застосований авторами роботи [14] під час оцінювання рівня природно-техногенних небезпек регіонів України. Комплексний показник небезпеки враховує чисельність населення регіону та сумарну кількість надзвичайних ситуацій природного, техногенного та соціального характеру на основі методу векторно-статистичного аналізу.

Але загальноприйняті оцінки обмежуються критеріями односторонніх негативних впливів міст на навколишнє середовище та не включають зворотні кумулятивні ефекти при глобальному охопленні геосистеми урбанізаційними процесами.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Проведений нами в попередніх дослідженнях аналіз методів ранжування регіонів України [15] виявив значну розбіжність у результатах оцінок, які отримані як методами індексних, так й методами ризикових показників, що суперечить принципу системності та знижує ефективність управління екологічною безпекою на рівні держави. Досліджені в зазначених роботах регіональні «безпекові» рейтинги не виділяють внесок міських систем у процесі формування загального стану екологічної безпеки області. Відсутність деталізації територіальних особливостей впливів міст як цілісних об'єктів на навколишні природні системи не дає змогу оцінити межі їх сталості в умовах хронічного урбогенно-техногенного навантаження.

Методологічне та загальнонаукове значення. Впровадження індикатора урбогенності доповнює методологію екологічної безпеки урбанізованих територій новою технологією їх комплексного оцінювання. Включення в систему екологічних оцінок індексу екологічної урбанізації дає змогу розширити методичний інструментарій визначення рівнів екологічної безпеки регіонів України, використати такий інтегральний показник у процесі розробки і втілення програм сталого розвитку та практики відтворювання природних систем.

Виклад основного матеріалу. У роботі використані методи статистичного аналізу. Статистичні дані для оцінки показників урбанізації [1; 3] були стандартизовані та нормалізовані за алгоритмом, який був використаний авторами в роботі [16]. Розрахунки та нормалізація статистичних даних виконані із застосуванням бібліотеки Пандапакету Python, серія DataFrame,

версія v0.22.0 (December 29, 2017) [17]. Графічний аналіз виконувався із застосуванням програмного забезпечення MS Office Excel.

Визначення особливостей урбанізаційного процесу в Україні. Після 1991 року урбанізаційний процес в Україні через спад економічної активності проходив в умовах скорочення міських бюджетів і руйнування міської інфраструктури. Саме соціально-економічні чинники зумовили різке зниження загальної чисельності населення, в тому числі міського. Розміщення міст України нині відповідає тому господарському комплексу, який склався ще за часів існування СРСР, хоча їх кількість зросла, але незначно (з 434 в 1989 році до 461 в 2018 році [3]). Міста та міські агломерації в Україні розвивались в умовах економічної стагнації, яка зумовила хаотичність урбанізації. Сукупність чинників ландшафтного розмаїття та територіальної диференціації господарської діяльності за масштабами навантаження на довкілля призвело до формування вкрай неоднорідних за екологічним станом територій, серед яких міста являють собою осередки екологічних небезпек.

Традиційно урбанізацію розглядають у термінах переходу до міського способу життя, що концентрує населення в містах, значення яких у соціально-економічному розвитку держав переважає. Регіональні урбанізаційні процеси розглядаються через систему розселення у великих, середніх, малих містах та мегаполісах [18]. Демографічні зміни відповідають характеру постіндустріального розвитку країни, але не віддзеркалюють всі взаємопов'язані аспекти урбанізаційного процесу, складники якого представлені на рис. 1.

Усі складники, серед яких демографічна урбанізація кількісно оцінюється через відсоток міського населення, взаємозалежні та в комплексі визначають стан безпеки територіальних систем. Характер впливів кожної складової частини має як негативні, так й позитивні сторони. Так, *індустріальна урбанізація* поєднує промислову і технологічну урбанізацію. Якщо *промислова* урбанізація безпосередньо асоційована з негативними процесами забруднення довкілля, кліматичними та ландшафтними змінами та іншими деструктивними процесами, то *технологічна* урбанізація через структурно-технологічну модернізацію промислового сектора економіки пом'якшує наслідки індустріалізації. При сучасному виробництві складних товарів (машини, обладнання, інструменти), інформаційних послуг (патентів, ліцензій, програмних продуктів) знижується тиск на всі компоненти довкілля в порівнянні, наприклад, із відходами добувної та переробної галузей. Міські підприємства отримують позитивні ефекти від урбанізації шляхом концентрації трудових, фінансових, матеріальних і природних ресурсів, інтенсивного інформаційного обміну, кращих інноваційних та інвестиційних умов. Скорочуються інфраструктурні витрати внаслідок локалізації промислових зон, утворення агломерацій тощо.



Рис. 1. Структурна схема складників урбанізаційного процесу (складене авторами): → – внесок складника в загальний урбанізаційний процес; ← – лімітуючий вплив екологічної урбанізації



Рис. 2. Структурна схема показників індикатора урбогенності (складена авторами)

Соціально-культурна урбанізація супроводжує і частково зумовлює науково-технологічну еволюцію переважно міст. Необхідність забезпечення зростаючих потреб (продукти харчування, вода, сировина та ін.) міських жителів стимулює урбанізацію сільськогосподарського виробництва. Зростання міст вимагає сталого землеустрою, відмови від екстенсивних форм розвитку землеробства, сучасного екологічно чистого виробництва всіх видів сільськогосподарської продукції. Урбанізація економічної діяльності є основою активізації інноваційного розвитку регіонів України [19]. Вона забезпечує використання сучасного еколого-економічного інструментарію в реалізації програм сталого розвитку, управлінні безпекою міського середовища.

У системі складників урбанізаційного процесу необхідно зазначити дуалізм екологічної урбанізації (Визначення екологічної урбанізації наводиться нижче). З однієї сторони, навколишнє природне середовище, (включаючи людину) є основним реципієнтом багатofакторного впливу всіх складників урбанізації (на рис. 1 такий вплив позначений прямою стрілкою),

що викликає деградацію і порушення меж сталості системи «місто – навколишнє середовище».

Але зміна якості ресурсів природного середовища накладає обмеження на їх придатність до використання, що опосередковано стримує обсяги ресурсокористування. Ще більш важливим для поширення урбогенних територій є встановлення екологічних кордонів, які зумовлені необхідністю зберігання визначеної частини екосистем, так званої «дикої природи», для збереження глобальної сталості біогеоценозів та біосфери загалом. З іншої сторони, саме екологічна урбанізація через обмеженість сировинних та територіальних ресурсів ставить перешкоди соціально-економічному, науково-технічному розвитку суспільства і, таким чином, лімітує інтенсивність усього процесу урбанізації (на рис. 1 позначений зворотною стрілкою).

Методологія визначення комплексного індикатора урбогенності. Комплексну оцінку складних і неоднозначних взаємозв'язків між станом територіальних систем та урбогенним навантаженням на них, на наш погляд, можна реалізувати через використання індикатора урбогенності.

Індикатор урбогенності – інтегральний показник інтенсивності впливу комплексу урбанізаційних процесів на екологічний стан і рівень безпеки території. Індикатор включає оціночні показники комплексного урбогенного впливу на людину, компоненти міського середовища та природні ландшафти, які формуються в умовах цих впливів і, таким чином, відображають ступінь їх деградації. Включення до системи оцінок показників потенційної сталості ландшафту дає змогу враховувати чинник відновлення природних ландшафтів як основу стабілізації екологічної рівноваги та компенсації негативних техногенно-урбогенних впливів.

Відповідно до охарактеризованих вище основних складників урбанізаційного процесу індикатор урбогенності складається з чотирьох основних груп показників (рис. 2).

Як було показано авторами раніше [20], критерії відбору оціночних показників мають відповідати методологічному, інтегральному і динамічному аспектам та включати адекватність цілям оцінювання, актуальність і корисність для використання в системах екологічних оцінок, аналітичну обґрунтованість, динамічність у часі і просторі, можливість для кількісного вимірювання та порівняння.

Оцінки показників відповідно до означених аспектів мають:

- застосовуватись для регіонального чи національного виміру, диференціювати регіони України за рівнями екологічної небезпеки з урахуванням урбогенності території;
- прогнозувати інтенсивність небезпек для середовища та ризиків для населення за умови зберігання тенденцій урбанізаційного процесу;
- демонструвати динамічні зміни умов навколишнього середовища в місті і за його межами, забезпечувати

оцінку будь-яких, у т. ч. стресових навантажень на всі компоненти довкілля;

– ґрунтуватись на міжнародних екологічних стандартах та бути порівняними з аналогічними показниками в інших країнах світу.

Визначення та розрахунок індексу екологічної урбанізації за регіонами. З урахуванням фундаментального для сталості природно-техногенних геосистем значення екологічної урбанізації необхідно, насамперед, провести визначення та оцінку відповідних показників (показники третьої групи, рис. 2) та інтегрувати їх у комплексний індекс екологічної урбанізації.

Під екологічною урбанізацією автори статті розуміють сукупність негативних процесів і явищ, а саме: деградацію і виснаження природних ресурсів, ландшафтні втрати, зміни природних циклів, що відбуваються не тільки в містах, але і поширюються далеко за межі міських поселень та визначають ступінь перетворення природних систем під тиском урбогенно-техногенних впливів. Екологічна урбанізація, по суті, збігається з просторовою урбанізацією та вимірюється як частка урбанізованої території від загальної площі регіону чи країни.

Першим кількісним показником у такому разі виступає площа непроникної поверхні, яка не бере участь

у природному кругообігу, порушує режим водного стоку [21] і, як наслідок, приводить до несприятливих природних явищ та деструктивних процесів, що руйнують глобальну сталість території. Розширення таких територій у межах міст і міських агломерацій пов'язане з транспортною інфраструктурою, будівництвом та частково змінами характеру землекористування. У роботі прийняте допущення, що вся територія міста є непроникною, оскільки навіть міські зелені зони здебільшого належать до штучно створених систем, в яких природні процеси змінені та підпорядковані антропогенній діяльності. На погляд авторів, показник частки території, зайнятої містами, щодо загальної території регіону відображає рівень урбогенного навантаження та дає змогу надалі визначити екологічні кордони урбанізації.

Крім територіального чинника, для визначення індексу екологічної урбанізації має значення фактор щільності міського населення, який безпосередньо впливає на інтенсивність використання природно-ресурсного потенціалу території, в тому числі визначає характер землекористування.

Тому в роботі на основі статистичних даних [1; 3] розраховані та нормалізовані за методом [16] значення двох показників урбогенності областей України (представлені в табл. 1):

Таблиця 1

Розраховані та нормалізовані показники урбогенності регіонів України та індекс екологічної нормалізації

№	Область	Показник S_{urb}		Показник $\rho_{pop,urb}$		Показник $I_{ec,urb}$
		розраховане значення	нормалізоване значення	розраховане значення	нормалізоване значення	
1	Вінницька	1,23	0,05	2,47	0,80	0,425
2	Волинська	0,89	0	3,03	1,0	0,500
3	Дніпропетровська	4,29	0,47	1,96	0,62	0,540
4	Донецька	8,15	1	1,75	0,55	0,775
5	Житомирська	1,80	0,13	1,35	0,40	0,265
6	Закарпатська	1,88	0,14	1,10	0,32	0,230
7	Запорізька	2,52	0,22	1,59	0,49	0,355
8	Івано-Франківська	6,56	0,78	0,66	0,16	0,470
9	Київська	3,19	0,32	1,22	0,36	0,34□0
10	Кіровоградська	1,72	0,12	1,41	0,42	0,270
11	Луганська	5,26	0,60	1,34	0,40	0,500
12	Львівська	3,30	0,33	0,21	0	0,165
13	Миколаївська	1,56	0,09	2,03	0,64	0,365□
14	Одеська	4,59	0,51	1,04	0,29	0,400
15	Полтавська	2,17	0,18	1,40	0,42	0,300
16	Рівненська	1,26	0,05	2,18	0,70	0,375
17	Сумська	4,10	0,44	0,77	0,20	0,320
18	Тернопільська	2,10	0,17	2,02	0,64	0,405
19	Харківська	3,18	0,32	2,17	0,69	0,505
20	Херсонська	1,03	0,02	2,17	0,695	0,358
21	Хмельницька	1,37	0,06	2,58	0,84	0,450
22	Черкаська	3,73	0,39	0,88	0,24	0,315□
23	Чернівецька	3,03	0,29	1,59	0,49	0,390
24	Чернігівська	1,61	0,10	1,28	0,38	0,24□0
25	АР Крим	немає даних				

– показник співвідношення урбанізованої та незайнятої міськими населеними пунктами територій за регіонами – S_{urb} , (тис. км² / тис. км²) · 10⁻²;

– показник щільності міського населення регіону – $\rho_{pop,urb}$, (тис. люд. / тис. км²) · 10⁻⁴.

Комплексний показник урбогенного навантаження регіонів – індекс екологічної урбанізації ($I_{ec,urb}$) – розрахований як лінійна комбінація показників щільності урбанізованого населення ($\rho_{pop,urb}$) та частки території, зайнятої міськими населеними пунктами (S_{urb}), взятих із ваговими коефіцієнтами 0,5, за методологією [15]. Рівні вагові коефіцієнти для обох показників віддзеркалюють, на думку авторів, співвідносність їх внесків в індекс екологічної урбанізації.

Результати розрахунків індексу екологічної урбанізації $I_{ec,urb}$ також представлені в табл. 1.

Ранжування регіонів України за означеним індексом показано на діаграмі рис. 3. Графічний аналіз показує, що Донецька область кардинально відрізняється від інших та характеризується найбільшим значенням індексу екологічної урбанізації $I_{ec,urb}$ як за рахунок максимальної частини території, зайнятої містами, $(S_{urb})^n = 1$, так і доволі високим значенням щільності міського населення, $(\rho_{pop,urb})^n = 0,55$.

Інші області за діапазонами індексу умовно поділяються на 4 групи.

Дніпропетровська, Харківська, Луганська становлять I групу і характеризуються максимальним

значенням індексу екологічної урбанізації за обома складниками. Области належать до високоурбанізованих (рівень демографічної урбанізації, відповідно, 0,84, 0,81, 0,87 [3]) із високою концентрацією важкої та переробної промисловості, транспорту, енергетики.

Волинська, Івано-Франківська, Хмельницька, Вінницька, Тернопільська області становлять II групу та характеризуються доволі високим рівнем індексу $I_{ec,urb}$ при низьких значеннях відсотка міського населення (рівень демографічної урбанізації, відповідно, 0,52, 0,44, 0,56, 0,51, 0,45 [3]), яке щільно розміщене в невеликих за територією містах. Винятком є Івано-Франківська область, територія якої насичена містами майже так само щільно, як і Донецька.

До III групи належать Одеська, Чернівецька, Рівненська, Миколаївська, Херсонська, Запорізька, Київська, Сумська, Черкаська, Полтавська області. Група різномірна як за рівнями демографічної урбанізації, так й складниками індексу екологічної урбанізації. В основному (крім Запорізької) група складається із центральних та південних областей із середнім рівнем демографічної урбанізації та переважним розвитком сільського господарства та промисловості групи «Б» – легкої, харчової, деяких галузей переробної.

Групу IV становлять Кіровоградська, Житомирська, Чернігівська, Закарпатська, Львівська області із значенням індексу $I_{ec,urb}$ менше 0,3 за раху-

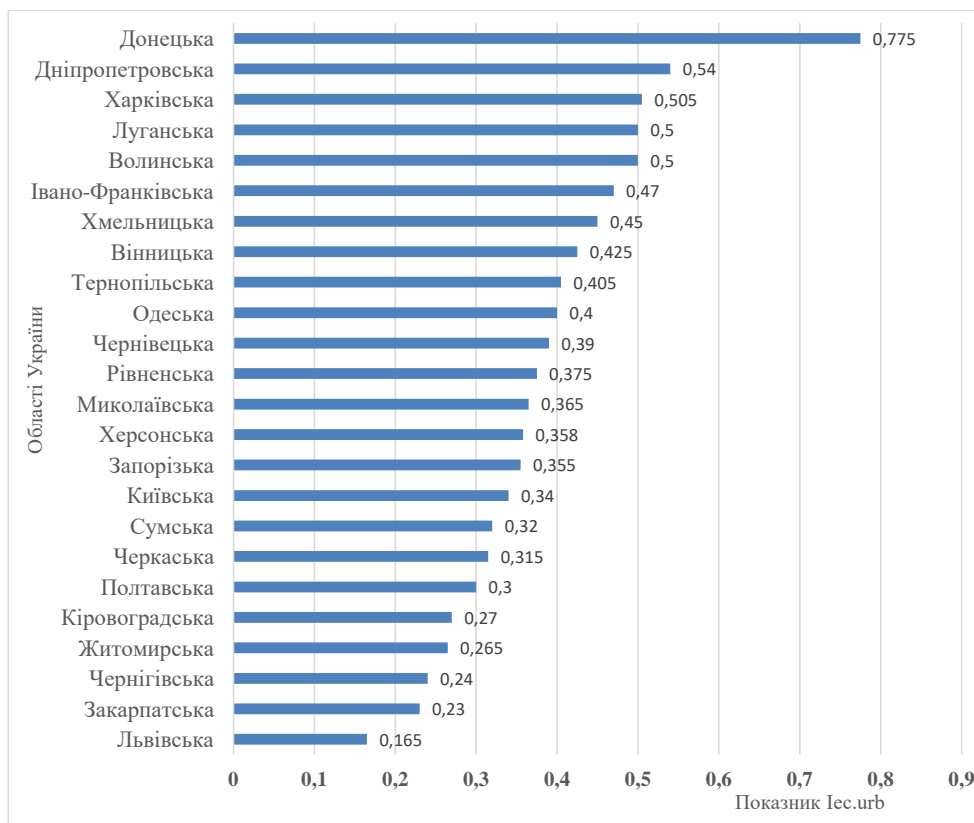


Рис. 3. Ранжування регіонів України за індексом екологічної урбанізації $I_{ec,urb}$

нок низького значення показнику частки зайнятої містами території. Натомість відсоток міського населення областей (крім Закарпатської) доволі високий [3]: 0,63, 0,59, 0,65, 0,37, 0,61 відповідно.

Проведений аналіз індексів екологічної урбанізації дав змогу диференціювати області за рівнем урбогенної насиченості територій різного функціонального призначення і різного ступеню агрегації населення. Незважаючи на те, що обрані показники не можуть дати повну картину всіх екологічних проблем, пов'язаних із зростанням і соціально-економічним розвитком міст, вони важливі для визначення ключових тенденцій і являють собою перший крок у створенні індексів індикатора урбогенності, здатних вимірювати екологічну стійкість території.

Головні висновки та перспективи використання результатів дослідження. Парадокс сучасного урбанізаційного процесу, який охоплює всі аспекти людської діяльності, полягає в тому, що він одночасно є і фактором безпрецедентного розвитку, і фактором зростаючого ризику для населення, підвищення агресивності та небезпеки навколишнього середовища.

Запропонована методологія екологічного оцінювання впливу урбанізації на територіальні системи ґрунтується на таких основних положеннях:

1) прямий та зворотний зв'язок між міським середовищем та природними системами прилеглих територій розвивається за механізмом зворотної позитивної дії, яка спрямована на порушення рівноваги геосистеми, збільшуючи загальний потенціал небезпек, та підсилює їх негативні наслідки;

2) сполучений зв'язок між станом міста та прилеглими природними і квазіприродними територіями вимагає комплексних оцінок у контексті «вплив – реакція – відгук»;

3) місто розглядається як цілісний об'єкт впливу. Це дасть змогу уникнути спрощення процедури оцінювання, пов'язаної з оцінками односторонніх зв'язків між урбанізацією та деградацією окремих компонентів довкілля, навіть якщо такі впливи підсумовуються.

У роботі виділені різні сторони урбанізаційного процесу (демографічний, індустріальний чи промислово-технологічний, екологічний, сільськогосподар-

ського виробництва, соціально-економічний тощо), які як позитивно, так й негативно впливають на формування стану екологічної безпеки територій. Екологічна складова частина виступає лімітуючим фактором усіх еволюційних змін через обмеженість кількості та якості природних ресурсів.

З метою врахування особливостей системи «місто – прилегли території» у сукупності сполучених взаємодій запропоновано в систему екологічних показників ввести індикатор урбогенності. До критеріїв вибору індикатора зараховані адекватність цілям оцінювання, актуальність і корисність для використання в системах екологічних оцінок, аналітична обґрунтованість, можливість кількісного вимірювання та порівняння.

Розробка та впровадження груп показників індикатора урбогенності в практику управління екологічною безпекою країни і регіонів дасть змогу ширше застосовувати компенсаторні механізми шляхом обліку позитивних аспектів урбанізації. Запропоновані показники загалом дають змогу не тільки враховувати територіальну нерівномірність техногенно-урбогенного навантаження, але й оцінювати фактори сталості і компенсаційні можливості природних ландшафтів, їх здатність впливати на динаміку геосистем. Таким чином, методологічна база екологічних оцінок удосконалюється та розширюється завдяки комплексному функціонально-територіальному підходу до управління екологічною безпекою та реалізації безпекових заходів.

Обґрунтований та розрахований індекс екологічної урбанізації є фундаментом системи вимірювання екологічної стійкості території. Проведений аналіз дав змогу диференціювати області України за рівнем урбогенного навантаження територій різного функціонального призначення і різного ступеню агрегації населення. Ранжування регіонів країни за розрахованим індексом дає змогу враховувати комбіновані впливи, оцінювати характер регіонального розподілу небезпек.

Загалом індикатор урбогенності, визначений на основі сукупності індексів, розширює систему оперативного аналізу небезпек, їх просторового розподілу і виявлення територіальних осередків концентрування природно-техногенних та техногенних загроз.

Література

1. Публікації документів Державної служби статистики України. URL: https://ukrstat.org/uk/operativ/operativ2010/ds/kn/kn_u/kn1210_u.html (Дата звернення 24.03.2020).
2. Публікації документів The United Nations Department of Economic and Social Affairs Рейтинг стран мира по уровню урбанизации (Urban Population Index). URL: <https://www.un.org/en/development/desa/> (Дата звернення 14.03.2020).
3. Статистичний щорічник України за 2018 рік. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2019/zb/11/zb_yearbook_2018.pdf (Дата звернення 03.02.2020).
4. Васютинська К.А. Екологічна оцінка урбогенності регіонів України. / К.А. Васютинська, С.В. Барбашев, М.І. Кімінчиджи. *Сталий розвиток – стан та перспективи* : матеріали II Міжнародного наукового симпозиуму SDEV'2020, Львів-Славське, Україна, 12–15 лютого 2020 року. Львів, 2020. С. 22–26. URL: http://science.lpnu.ua/sites/default/files/attachments/2019/19110/importantdoc/sdev2020proceedings_1.pdf (Дата звернення 05.04.2020)

5. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року : Закон України від 28.02.2019 р. № 2697-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19> (Дата звернення 07.02.2020).
6. Ma L. Spatial coupling analysis of regional economic development and environmental pollution in China / L. Ma, F. Jin, Zh. Song, Yi. Liu. *J. Geogr. Sci.* 2013. 23(3). p. 525–537. DOI: 10.1007/s11442-013-1026-6. URL: <https://sci-hub.tw/https://link.springer.com/article/10.1007/s11442-013-1026-6> (Accessed 16 Jan 2020).
7. Zhao, J., & Chai, L. A novel approach for urbanization level evaluation based on information entropy principle: A case of Beijing. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*. 2015. P. 114–125. doi: 10.1016/j.physa.2015.02.039 (Accessed 20 Dec 2019).
8. Wilson J. Contrasting and comparing sustainable development indicator metrics / J. Wilson, P. Tyedmers, R. Pelot. *Ecological Indicators*. 2007. 7. P. 299–314. URL: https://www.researchgate.net/publication/223804576_Contrasting_and_comparing_sustainable_development_indicator_metrics. (Accessed 10 Feb 2020)
9. Bauer E.M. Estimating and mapping impervious surface area by regression analysis of landsat imagery / E.M. Bauer, Loeffelholz B.C., Wilson B. *Qihao Weng (Ed.), Preprint of chapter in Remote Sensing of Impervious Surfaces, CRC Press, Boca Raton, FL*. 2007. URL: <https://rs.umn.edu/sites/rs.umn.edu/files/Mapping%2520Impervious%2520Surface%2520Area%2520-%2520book%2520chapter.pdf> (Accessed 14 Feb 2020).
10. Cammarota M., Pierantoni I. Urban Environmental Indicators in the Driving Pressure-State-Impact-Response (DPSIR). *Istat, Via A. Ravà 150, 00142 Rome, Italy*. URL: <http://old.sis-statistica.org/files/pdf/atti/CIME0905p219-222.pdf> (Accessed 23 Jan 2019).
11. Brambila, A., Flombaum, P. Comparison of environmental indicator sets using a unified indicator classification framework. *Ecological Indicators*. 2017. 83, p. 96–102. doi: 10.1016/j.ecolind.2017.07.023 (Accessed 27 Jan 2019).
12. Іванюта С.П. Про інтегральну оцінку екологічної безпеки регіонів України. *Екологічна безпека та природокористування*. 2013. Вип. 13. С. 34–34. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ebp_k_2013_13_6. (Дата звернення 01.03.2020).
13. Варламов С.М., Толстих Я.О. Аналіз формування та використання еколого-економічних показників та індикаторів для оцінки сталого розвитку регіону. *Системи обробки інформації*. 2011. Вип. 3 (93). С. 165–168. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi_2011_3_40. (Дата звернення 23.02.2020).
14. Тютюнник В.В., Іванець Г.В., Горелишев С.А. Методика оцінювання рівня техногенно-природно-соціальної небезпеки адміністративно-територіальних одиниць України. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. 2016. Вип. 1 (27). С. 29–37. URL: <http://repositc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/2372> (Дата звернення 10.03.2020).
15. Vasutynska K.A., Barbashev S.V. The analysis of the principles and methods evaluation of environmental safety levels in regional context. *Odes'kyi Politechnichniy Universytet. Pratsi*. 2017. № 3(53). P. 114–121.
16. Vasutynska K., Barbashev S. Analysis of dynamics of man-made fires in conditions of urbanization in Ukraine. *Technology Audit and Production Reserves*. 2018. № 4/3 (42). P. 16–23. DOI: 10.15587/2312-8372.2018.141376.
17. URL: <http://pandas.pydata.org/pandas-docs/stable/whatsnew.html#pipe> (Дата звернення 24.01.2020).
18. Венгрін Д.В., Сегіда К.Ю. Типізація регіональних урбанізаційних процесів в Україні. *Вісник Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна, сер. «Геологія. Географія. Екологія»*. 2017. Вип. 47. С. 71–77. DOI: [org/10.26565/2410-7360-2017-47-08](https://doi.org/10.26565/2410-7360-2017-47-08).
19. Комарницька Г.О., Шипуліна Ю.С., Ілляшенко Н.С. Вплив урбанізації на інноваційний розвиток регіонів України. *Маркетинг і менеджмент інновацій*. 2017. № 3. С. 336–345. URL: <http://mmi.fem.sumdu.edu.ua/>. (Дата звернення 26.01.2020).
20. Васютинська К.А. Визначення індикатора урбогенності як комплексного показника стану екологічної безпеки системи «Місто – прилеглі території» / Васютинська К.А., Барбашев С.В., Бутенко О.Г., Сурков С.В. *Проблеми екологічної безпеки* : Матеріали VSS Міжнародної науково-технічної конференції, м. Кременчук, 2–4 жовтня 2019 р. / КН . Кременчук, 2019. С. 212–215.
21. Vasutynska K.A., Barbashev S.V. Analysis of urbanization impact on the dynamics of emergencies and risks for population in Ukraine. *Odes'kyi Politechnichniy Universytet. Pratsi*. 2018. № 2 (55). P. 137–144.

ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ ТЕОРІЇ КАТАСТРОФ У ПРОМИСЛОВІЙ ЕКОЛОГІЇ

Хлєстова О.А., Єлістратова Н.Ю., Кальянов А.В., Волков Д.В.

Приазовський державний технічний університет

вул. Університетська, 7, 87555, м. Маріуполь, Донецька область

helga26122016@gmail.com, elistratova.n.y@gmail.com, kalyanov.anat@ukr.net, fullmetallchemist2016@gmail.com

У цій роботі розглянуто зв'язок математичної теорії катастроф із промисловою екологією за наявності фотохімічних реакцій над мегаполісом для моделювання проблемних екологічних процесів. Використана теорія катастроф дає змогу дослідити певні процеси в навколишньому середовищі, що залежать від великої кількості факторів й розвивається шляхом стрибкоподібних змін. Основними критеріями обрано приземну прозорість повітря, яка чим більше, тим екологічний стан краще, та приземну концентрацію характерних для смогу домішок повітря – фотооксидантів, яких чим більше, тим екологічний стан стає гірше. Для дослідження закономірності поведінки системи навколишнє середовище – техносфера під дією зовнішніх впливів застосовано теорію бифуркацій диференціальних рівнянь (динамічних систем) і теорію особливостей гладких відображень. Проведено моделювання еволюції атмосфери за допомогою математичної теорії катастроф щодо розвитку фотохімічного смогу від техногенного навантаження. Встановлено локальні мінімуми, за якими можна судити про наближення критичних точок. Наведено результати моделювання еволюції атмосфери мегаполіса у двох ситуаціях: докритичній та закритичній. Маючи таку досить просту модель еволюції атмосфери щодо розвитку фотохімічного смогу, можна якісно оцінити можливості переходу, пов'язані зі збільшенням з якихось причин загального забруднення повітря, причому можна варіювати рівень факторів, пов'язаних зі природою атмосфери, що склалася в мегаполісі, наприклад, температурною інверсією повітряних шарів, вологістю, швидкістю вітру тощо. Представлена якісна модель дає змогу точніше поставити завдання управління загальним рівнем забруднень, аби не допустити катастрофічного розвитку подій і визначити основні функціональні зв'язки системи управління і моніторингу. *Ключові слова:* математична теорія катастроф, промислова екологія, теорія бифуркацій, фотохімічний смог, стрибкоподібні зміни, моделювання еволюції атмосфери.

Using the mathematical theory of disasters in industrial ecology. Khlestov A., Elistratova N., Kalyanov V., Volkov D.

In this paper, we consider the relationship between the mathematical theory of disasters and industrial ecology in the presence of photochemical reactions over a metropolis to model problematic environmental processes. The used catastrophe theory allows us to study certain processes in the environment, which depend on many factors, and develops by abrupt changes. The main criteria were chosen for surface transparency of air, the higher the environmental condition, the better the surface concentration of airborne impurities characteristic of smog – photooxidants, the higher the environmental condition, the worse. To study the laws of behavior of the environment-technosphere system under the influence of external influences, the theory of bifurcations of differential equations (dynamical systems) and the theory of features of smooth mappings are used. The atmosphere evolution was simulated using the mathematical theory of catastrophes regarding the development of photochemical smog from anthropogenic load. Local minima are established by which one can judge the approximation of critical points. The results of modeling the evolution of the atmosphere of a metropolis in two situations: subcritical and supercritical. Having such a fairly simple model of atmospheric evolution for the development of photochemical smog, one can qualitatively assess the transition possibilities associated with an increase, for some reason, of general air pollution, and it is possible to vary the level of factors related to the nature of the atmosphere prevailing in the metropolis, for example, temperature inversion of air layers, humidity, wind speed and the like. The presented qualitative model allows, more precisely, to set the tasks of controlling the general level of pollution in order to prevent a catastrophic development of events and to determine the main functional relationships of the control and monitoring system. *Key words:* mathematical theory of disasters, industrial ecology, bifurcation theory, photochemical smog, spasmodic changes, modeling of atmospheric evolution.

Постановка проблеми. Екологічне середовище і техносфера (промислова екологія) є динамічною системою, схильною до змін. Стрибкоподібні зміни, що виникають при змінах значень параметрів вивчає математична теорія катастроф (МТК), яка є частиною якісної теорії складних нелінійних систем. МТК знайшла своє застосування в різних галузях знань: математиці, фізиці, біології, психології, економіці, соціології та екології. У промисловій екології МТК може бути використаний для моделювання критичних точок для розуміння і передбачення катастрофічного розвитку подій, раптових стрибкоподібних змін, пов'язаних із фотохімічним смогом та іншими фізико-хімічними про-

цесами в атмосфері над технополісом та їх впливом на навколишнє середовище.

Актуальність дослідження. Актуальність роботи зумовлена тим, що, незважаючи на наявні дослідження, питання використання математичної теорії катастроф у промисловій екології, а саме щодо розвитку фотохімічного смогу та інших фізико-хімічними процесів в атмосфері, вивчено недостатньо і вимагає виявлення і розкриття проблемних екологічних процесів, де очікується «катастрофічний» розвиток подій, при плавній зміні екологічних факторів для подальшого аналізу і теоретичного осмислення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивченню теорії катастроф присвячена низка робіт

зарубіжних і російських вчених. Термін «теорія катастроф» був уведений Р. Томом і К. Зіманом на початку 1970-х років. Нині відомо сім фундаментальних типів катастроф під назвами, які надав їм Р. Том [1]. Розвиток теорії катастроф в 1970–1980-і роки пов'язаний із діяльністю англійського математика Т. Постона (теорія особливостей і біфуркацій і їх додатків) [2]. Вивченню теорії катастроф і застосуванню її методів у фізиці, математиці, механіці і термодинаміці присвячена монографія відомого американського вченого Р. Гилмора [3]. Докладно описаний математичний опис катастроф – стрибкоподібних змін у вигляді раптової відповіді системи на зміну зовнішніх умов у роботі російського вченого В. Арнольда [4]. Разом із тим варто зазначити, що зв'язок теорії катастроф із промисловою екологією є найменш вивченою проблемою і являє собою актуальну задачу екологічної науки, оскільки дає змогу передбачати стрибкоподібні зміни динамічних зв'язків у середині системи навколишнє середовище – техносфера і спрогнозувати вплив «катастрофічного» перебігу подій.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. У роботі досліджено зв'язок теорії катастроф із промисловою екологією за наявності фізико-хімічних процесів та фотохімічних реакцій в атмосфері над мегаполісом для моделювання проблемних екологічних процесів. Можливі шляхи застосування МТК визначаються цілком – «зв'язати» в один математичний опис три об'єкти: характеристику, що описує екологічний стан оточення; одну або дві координати процесу функціонування; один або кілька параметрів, зміни яких впливають на хід процесу або навіть керують їм.

Новизна. Вперше досліджено модель еволюції атмосфери за допомогою МТК щодо розвитку фотохімічного смогу від техногенного навантаження. Якісна модель дає змогу варіювати рівень факторів, пов'язаних із природою атмосфери, наприклад, температурною інверсією повітряних шарів, вологістю, швидкістю вітру тощо, а також визначити основні функціональні зв'язки системи управління і моніторингу.

Методологічне або загальнонаукове значення. Для дослідження закономірності поведінки системи навколишнє середовище – техносфера під дією зовнішніх впливів застосовано теорію біфуркацій диференціальних рівнянь (динамічних систем) і теорію особливостей гладких відображень. Встановлені локальні мінімуми, за якими можна судити про наближення критичних точок. Запропонована модель еволюції атмосфери щодо розвитку фотохімічного смогу та інших фізико-хімічних процесів в атмосфері.

Виклад основного матеріалу. Математична теорія катастроф (далі – МТК) впевнено посідає важливе місце серед досить нових розділів математики, бо

дає змогу дослідити певні процеси в навколишньому середовищі, що залежать від великої кількості факторів й розвиваються шляхом стрибкоподібних змін. У цьому випадку термін «катастрофа» означає різкі стрибкоподібні зміни, що виникають при плавних змінах значень параметрів [5]. У популярних виданнях МТК рекламується як переворот у математиці, який можна порівняти з винаходом диференціального обчислення. Опубліковано безліч робіт, в яких моделі МТК застосовувалися в економіці, психології, лінгвістиці, соціології [6]. Однак щодо екологічних моделей досягнення МТК використовуються досить стримано. Можливо, це пояснюється традиційною «відчуженістю» екологів від складної математики.

Один з провідних російських математиків В.І. Арнольд [4] зазначає, що застосування МТК суттєво залежить від обґрунтованості вихідних посилок. Найчастіше неприємним сюрпризом для спостерігача виявляється ситуація, в якій невеликі, поступові зміни параметрів ведуть до несподівано різкої, обвальної зміни поведінки системи. Більшість екологічних проблеми мають біологічну природу й «плавні» еволюційні зміни змінних, але є також процеси, що мають потенціал нелінійного, «катастрофічного» розвитку.

Наприклад, перехід повільного збільшення забруднення атмосфери мегаполісу може раптово привести до розвитку фотохімічного смогу, що цілком вкладається в «катастрофічний» розвиток подій, що описується МТК. Однією з найбільш популярних моделей теорії катастроф є катастрофа «збірка» [1], топологія якої наведена на рис. 1.

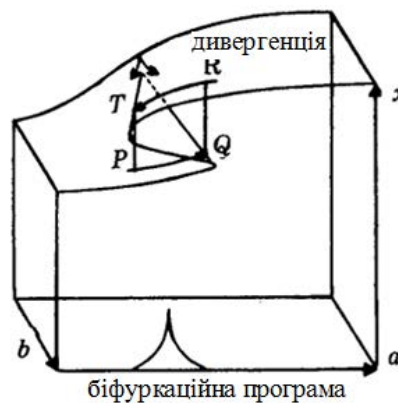


Рис. 1. Катастрофа «збірка»

Тут наочно продемонстровані якісні особливості катастрофічної поведінки систем. По осях a й b відкладені значення незалежних змінних, а по осі x – залежної. Можливим положенням системи відповідає поверхня катастроф. Проекція цієї поверхні на площину (a, b) дає біфуркаційну криву (від лат. *Bifurcus* – роздвоєний).

Припустимо, що безперервній зміні значень параметрів a і b на рис. 1 відповідає рух по кривій

RT. У точці *T* відбувається катастрофа – система стрибком переходить із верхнього листа на нижній у точку *P*.

Зазначимо, що кожному значенню параметрів *a* і *b* всередині біфуркаційної кривої відповідають два різних стани системи (бімодальність). На поверхні катастроф можна спостерігати явище гістерезису, коли поведінка системи істотно залежить від передісторії процесу. Наприклад, у разі зміни стану системи уздовж кривої *RT* відбувається стрибок із верхнього листа на нижній – із точки *T* в точку *P*. Але при русі вздовж кривої *PQ* стрибок із нижнього листа на верхній відбудеться не в точці *P*, а в точці *Q*.

Такий тип катастрофи МТК може бути використаний у промисловій екології для моделювання проблемних екологічних процесів, де очікується «катастрофічний» розвиток подій, тобто різка зміна оточення при плавній зміні екологічних факторів.

Алгоритм отримання математичної моделі наступний. Спочатку треба визначитися з тим, що вважати критерієм екологічного стану. Якщо, наприклад, як негативне екологічне явище розглядати фотохімічний смог, то основними критеріями варто вважати, або приземну прозорість повітря (видимість, в метрах) – *L*, чим більше, тим екологічний стан краще, або приземну концентрацію характерних для смогу домішок повітря – фотооксидантів (в мг/м³) – *C*, чим більше, тим екологічний стан гірше.

Далі виберемо координату, що характеризує процес смогоутворення. Вочевидь, найбільш раціональним вибором буде загальний рівень повітряних забруднень *y*.

Цілком очевидно, що видимість *L* або концентрація *C* будуть залежати від загального рівня забруднень *y*, тобто можна записати, що:

$$L = f_1(y), \quad (1)$$

$$C = f_2(y), \quad (2)$$

де *f1* і *f2* – деякі функції, причому можна вважати, що видимість *L* і концентрація *C* є, в деякому сенсі, зворотними величинами або величинами, що мають різні математичні знаки. Якщо видимість *L* позитивна, то концентрацію *C* можна вважати негативною. Якщо видимість *L* зростає, то концентрація *C* зменшується і навпаки.

Ясно, що величини *L* і *C* залежать не тільки від рівня забруднення атмосфери *y*, а й від безлічі інших величин або керуючих параметрів, як вони називаються в теорії катастроф, наприклад, температури і вологості повітряних шарів, швидкості вітру, наявності температурної інверсії, рівня сонячного випромінювання тощо, тобто можна записати, що:

$$L = f_1(y, a_1, a_2, a_3, a_4, \dots), \quad (3)$$

$$C = f_2(y, a_1, a_2, a_3, a_4, \dots), \quad (4)$$

де *a1, a2, a3, a4, ...* – керуючі параметри.

В ідеалі для прогнозування розвитку фотохімічного смогу необхідно знати точні залежності *f1* і *f2* або модель процесу, тобто знати, яким змінам керуючих параметрів *a1, a2, a3, a4, ...* і рівня забруднення атмосфери *y* відповідає те чи інше значення, наприклад видимості *L*. Ясно, що таку модель збудувати вельми складно. Тому можна використати математичну теорію катастроф і отримати досить просту модель, виходячи з мінімуму знань про функції *f1* і *f2*.

Що відомо про стан атмосфери мегаполісу зі значним техногенним навантаженням, наприклад, Маріуполя або іншого розвиненого промислового комплексу, що успішно існує у сформованих реаліях? Відомо, фотохімічний смог – наявність в атмосфері високої концентрації оксидів азоту, вуглеводнів і інших забруднювачів у приземному шарі при потужній і протягом не менше доби підвищеної інверсії [7], утворюється час від часу, але не є постійним явищем. Це означає, що, з одного боку, відновлювальних природних властивостей атмосфери поки вистачає для «вирівнювання» екологічної ситуації, при цьому і соціум «намагається» знизити загальний рівень атмосферних забруднень і не «посилювати» екологічну ситуацію, в тому числі і розвиток фотохімічного смогу. І цей «стабільний» стан досягається при деякому середньому обсязі забруднень *y* і деяких значеннях керуючих параметрів *a1, a2, a3, a4, ...* Чисто якісно таку ситуацію можна пояснити рис. 2.

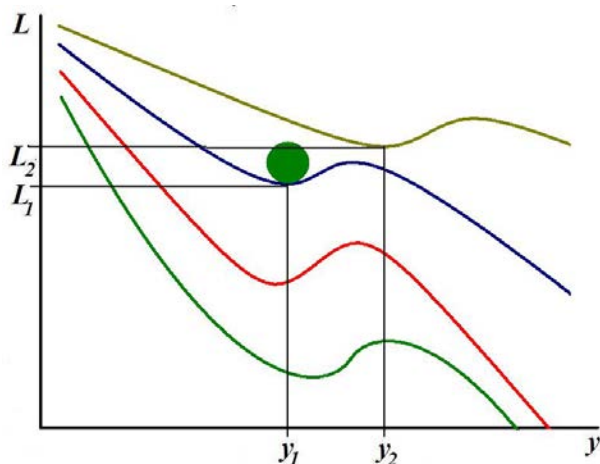


Рис. 2. Докритична залежність

На рис. 2 представлені 4 графіка залежності видимості *L* від рівня забруднення атмосфери *y*. Стан атмосфери умовно позначена кулякою. Графіки відрізняються різними наборами керуючих параметрів. У разі плавної зміни керуючих параметрів графіки зсуваються, їх гілки йдуть крутіше або пологіше, або трохи деформуються. Однак у них усіх залишається щось спільне: стійкий стан, у межах малих відхилень, що визначається локальним одним мінімумом кривої. Така область називається докритичною областю катастрофи.

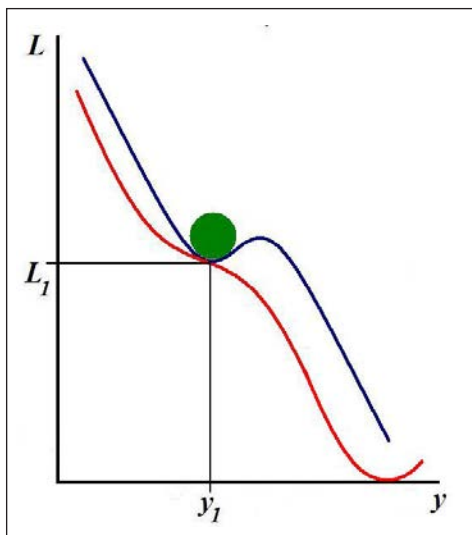


Рис. 3. Закритична залежність видимості L від рівня забруднення у видимості L від рівня забруднення у

Чи можливі інші гіпотетичні сценарії, які вже мали місце в інших точках планети в атмосфері сучасного промислового мегаполісу? Відомо те, що фотохімічний смог над технополісом може і не «розвіється», тобто відбудеться втрата стійкого екологічного стану. Це буде означати, що за умов певної комбінації параметрів крива втрачає «стійкий» характер – раніше згаданий локальний мінімум «випрямляється» і для «стану атмосфери» – кульки, більше немає стійкого становища в колишньому місці.

Будемо вважати, що катастрофа відбувається тоді, коли видимість L досягає якогось мінімального значення. Типологічно це виражається тим, що колишній, стійкий стан атмосфери стає нестійким, і атмосфера «звалюється» з нього в інший стійкий стан, але вже з нульовою видимістю (рис. 3). У цьому випадку при деякому іншому наборі керуючих параметрів крива видимості L (коричневий графік) має вже новий стійкий стан рівноваги, наприклад, із нульовою видимістю. Така ситуація називається закритичною областю катастрофи.

Таким чином, можна зробити висновок, що катастрофа означає зміну кількості і якості станів рівноваги, в яких може знаходитися атмосфера. Той набір параметрів, при якому відбувається катастрофа, називається критичним. Коли атмосфера наближається до цього стану, ймовірність катастрофи зростає.

Розглянемо простий приклад. Нехай є тільки два керуючих параметри: $a1$ і $a2$. Для однієї координати y і двох керуючих параметрів у математичній теорії катастроф є тільки одна стандартна, канонічна залежність для запису залежності функції мети:

$$V(y) = 0.25 y^4 - 0.5 a1 y^2 - a2 y, \quad (5)$$

де $V(y)$ – потенційна функція, якої може відображати видимість L або концентрацію C стосовно аналізованого завдання.

Катастрофа, що має таку потенційну функцію, називається катастрофою типу «збірки». Збірка має в докритичній області один стійкий стан рівноваги (одну ямку потенційної функції), а в закритичній області – два стійких і один нестійкий стан рівноваги (тобто дві ямки, розділені пагорбом).

Докритична і закритична області задаються набором параметрів:

$$\begin{cases} a1 < 0, -\infty > a2 > \infty \\ a1 > 0, |a2| > \frac{2a1}{3} \sqrt{\frac{a1}{3}} \end{cases} \text{ – докритична область}$$

$$a1 > 0, |a2| < \frac{2a1}{3} \sqrt{\frac{a1}{3}} \text{ – закритична область}$$

Рівняння (5) задає статичну модель стану атмосфери. Визначимо екологічний зміст керуючих параметрів. Нехай параметр $a1$ задає наявність і рівень температурної інверсії в атмосфері, яка вважається основною причиною розвитку фотохімічного смогу, а параметр $a2 = p - q$, де p – відображає рівень сонячної радіації, що сприяє протіканню атмосферних хімічних реакцій, q – рівень швидкості вітру, що знижує концентрацію атмосферних забруднень. Усі величини можна вважати віднесеними на одиницю об'єму повітря.

Для отримання динамічної моделі або моделі еволюції будемо вважати атмосферу мегаполісу градієнтною системою. Це означає, що потенційна функція $V(y)$ прагне до екстремуму: мінімуму смогової забрудненості або максимуму видимості (залежно від того, що вибрано за потенційну функцію). Будемо вважати, що $V(y)$ є функцією смогової забрудненості, тоді еволюція відбуватиметься в бік антиградієнта потенційної функції, бо градієнт смогової забрудненості спрямований у бік найшвидшого зростання потенційної функції:

$$\text{grad } V(y) = \frac{\partial V}{\partial y} = y^3 - a1y - a2, \quad (6)$$

Далі, в першому наближенні, будемо вважати, що швидкість зменшення смогової забрудненості в міру зростання первинних забруднень пропорційна швидкості росту їх викиду в часі. Тоді можна записати, що:

$$K \frac{dy}{dt} = -\frac{\partial V}{\partial y} = -y^3 + a1y + a2, \quad (7)$$

де K – коефіцієнт пропорційності; dy/dt – швидкість зміни викиду первинних забруднень у часі.

У механіці таке рівняння характерно для руху в середовищі в'язкого тертя. У цьому випадку процес переходу з одного стану рівноваги до іншого виходить плавним, схожим на S -подібну криву розвитку.

На рис. 4 наведено результати вирішення диференціального рівняння (7), тобто моделювання еволюції атмосфери мегаполіса у двох ситуаціях. Графіки для відповідних ситуацій позначені номерами 1 і 2. Для обох ситуацій параметр $a1 = 3 = \text{const}$, тобто тем-

пературна інверсія атмосферних шарів має місце і постійна протягом усього спостережуваного періоду.

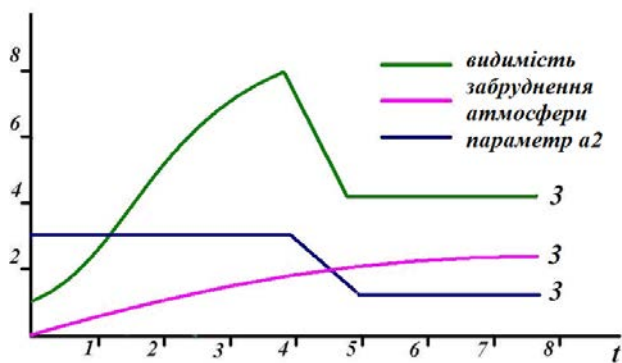


Рис. 4. Моделювання еволюції атмосфери мегаполіса в двох ситуаціях

Коефіцієнт $K = 10$, він визначає масштаб часу і узгоджує розмірності змінних. Параметр $a_2 = p - q = 3 = \text{const}$, тобто природні фактори сприяють утворенню фотохімічного смогу, наприклад, рівень сонячної радіації – p і чинники, що ослаблюють цей процес, наприклад, швидкість вітру – q , знаходяться в динамічній рівновазі, становлячи постійну різницю.

Видимість L обчислюється за формулою потенційної функції (5), взятої з негативним знаком, бо видимість L протилежна приземній концентрації C .

У першій ситуації, як впливає з графіків, загальний рівень забруднень y зростає приблизно за S -подібною кривою. Аналогічно зростає і видимість L , досягаючи максимуму, що приблизно дорівнює 9 одиницям.

У другій ситуації керуючий параметр, атмосферні умови, що сприяють розвитку фотохімічного смогу, рівномірно зменшується за законом $a_2 = p - wt$, що еквівалентно, наприклад, постійній дії сонячної радіації, з початковою інтенсивністю $p = 3$, яка

поступово знижується зі швидкістю w , за відсутності значимої для процесу швидкості вітру, $q = 0$.

Як видно з графіка, до точки t видимість L , незважаючи на поступове зниження дії чинників, що стимулюють розвиток смогу, все одно зростає, щоправда, не такими темпами, як у першому випадку. Потім видимість L починає знижуватися, і в точці k стає критично низькою, в нашому випадку, для простоти моделі – нульовою, тобто в атмосфері розвиваються катастрофічні процеси смогоутворення.

Головні висновки. Проведено моделювання еволюції атмосфери за допомогою МТК щодо розвитку фотохімічного смогу та інших фізико-хімічних процесів в атмосфері від техногенного навантаження. Наведено результати моделювання еволюції атмосфери мегаполіса у двох ситуаціях. Виявлено, що загальний рівень забруднень y зростає приблизно за S -подібною кривою, атмосферні умови, що сприяють розвитку фотохімічного смогу, поступово знижується зі швидкістю w , за відсутності значимої для процесу швидкості вітру, $q = 0$.

Очевидно, маючи таку досить просту модель еволюції атмосфери щодо розвитку фотохімічного смогу та інших фізико-хімічних процесів в атмосфері, можна якісно оцінити можливості переходу з однієї S -подібної кривої на іншу, пов'язану зі збільшенням з якихось причин загального забруднення повітря, причому можна варіювати рівень факторів, пов'язаних зі природою атмосфери, що склалася в мегаполісі, наприклад, температурною інверсією повітряних шарів, вологістю, швидкістю вітру тощо.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані результати є певним внеском у вивчення як теоретичних, так і практичних аспектів використання математичної теорії катастроф у промисловій екології. Наведена якісна модель дає змогу точніше поставити завдання управління загальним рівнем забруднень, аби не допустити катастрофічного розвитку подій і визначити основні функціональні зв'язки системи управління і моніторингу.

Література

1. Thom, R. Catastrophe theory: Its present state and future perspectives. Dynamical systems. Warwick. 1974. Berlin – Heidelberg – New York Springer Verlag. 372 p.
2. Постон Т. Теория катастроф и ее приложения / Т. Постон, И. Стюарт; Пер. с англ. А.В. Чернавского. Москва : Мир, 1980. 607 с.
3. Гилмор Р. Прикладная теория катастроф. Москва : Мир, 1984. Т. 2. 285 с.
4. Арнольд В.И. Теория катастроф. Москва : Наука, 1990. 128 с.
5. Научно-технический словарь. URL: https://gufo.me/dict/scientific/ТЕОРИЯ_КАТАСТРОФ (дата звернення: 15.02.2020).
6. Маневич Л.И. О теории катастроф. *Соровский образовательный журнал*. 2000. № 7. С. 85–90
7. Экология: Учебник. Изд. 2-е перераб. и доп. / В.Н. Большаков, В.В. Качак, В.Г. Коберниченко и др.; Под ред. Г.В. Тягунова, Ю.Г. Ярошенко. Москва : Логос, 2005. 504 с.

ГЕОСОФІЧНА (ІСТОРИКО-ФІЛОСОФСЬКА) ПАРАДИГМА МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ-ПРОСТОРУ

Шевченко Р.Ю.¹, Шевченко З.М.²

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

²Заклад загальної середньої освіти № 210 Оболонського району м. Києва
вул. Йорданська, 22А, 04210, м. Київ
azimut90@ukr.net, 0980710374@ukr.net

Дослідження екологічного моніторингу навколишнього середовища та стану довкілля вимагає багатоаспектного вивчення історії системи природокористування й ресурсозбереження від стародавніх часів до сьогодення, зокрема історико-філософських (геософських) основ комплексної методології оцінки довкілля-простору. Вперше пропонується запровадити результати вивчення геософських парадигм у раціональному ставленні до навколишнього середовища, а науковим завданням дослідження визначено історичні, філософські та географічні основи ландшафтоустрою загальноземної системи, що базується на екологічних та природоохоронних засадах, концептуальні основи яких мають давнє минуле. За відсутності варварського використання природних ресурсів людина шанобливо та обережно ставилася до природних стихій і розуміла ландшафт як сакральний простір. Метою дослідження є огляд наукових концепцій та теорій у галузі геософської філософії щодо навколишнього природного середовища, аналіз наукових праць відомих учених досліджуваної галузі (Л. Гумільов, В.П. Семенов-Тянь-Шанський, К. Зауер, П. Савицький). Об'єктом дослідження є ландшафтні системи Землі за тривалий період їх використання людиною, предмет дослідження – визначення оптимальної концепції для формулювання геософічних основ сучасного збалансованого ресурсо- та природокористування, оптимізації та ревіталізації навколишнього середовища під впливом радикальної трансформації мислення людини щодо екоцентричної парадигми біосфери Землі. Визначено методи дослідження: літературно-описовий (моніторинг наукових ідей Давнього Світу, які ґрунтуються на філософських та релігійно-сакральних догмах), фотографічний (аналіз світлин ландшафтів, їх складників та місць поклоніння Природі), аналітико-порівняльний (визначення універсального методологічного прийому, який спричинятиме тектонічні зміни в екологічній самосвідомості людини як індивіда та цивілізації та інтелектуальної, організованої системи екоцентрично свідомих людей). У результаті наукового пошуку авторами були визначені основні цивілізаційні епохи природокористування: річкова, морська, океанічна, континентальна (гірська) та сучасна космічна; виокремлені обґрунтування природної сакральності лісів, річок, гір, сторін світу, їх значення в системі збалансованого існування людини та природи (соціуму та ойкумени). На основі проведеного аналізу обґрунтовано геохронологічний зріз систем природокористування Давнього Єгипту, Вавилону, Греції, Риму, Індії, Китаю, Африки, виокремлено сакральні-ландшафтний вимір української нації – «Україніки», сформульовано наукові підходи до апробації та застосування стародавніх геософічних теорій до сучасної комплексної парадигми моніторингу довкілля-простору на екоцентричних засадах. *Ключові слова:* геософія, сакральність ландшафту, історико-філософські концепції, історичні цивілізації, екологічний менталітет, екоцентризм.

Geosophical (historical-philosophical) paradigm of environmental-spatial monitoring. Shevchenko R., Shevchenko Z.

The study of ecological monitoring of the environment and the state of the environment requires a multifaceted study of the history of nature management and resource conservation from ancient times to the present, including historical and philosophical (geosophical) foundations of a comprehensive methodology for assessing the environment and space. For the first time it is proposed to introduce the results of studying geosophical paradigms in a rational attitude to the environment, and the scientific task of the study is to determine the historical, philosophical and geographical foundations of the landscape system based on ecological and environmental principles, whose conceptual foundations are ancient. In the absence of barbaric use of natural resources, man treated the natural elements with respect and caution and understood the landscape as a sacred space. The aim of the study is to review scientific concepts and theories in the field of geosophical philosophy in relation to the environment, analysis of scientific works of famous scientists in the field (L. Gumilev, V.P. Semenov-Tyan-Shansky, K. Sauer, P. Savitsky). The object of research is the landscape systems of the Earth for a long period of human use, the subject of research is to determine the optimal concept for formulating the geosophical foundations of modern balanced resource and nature management, optimization and revitalization of the environment under the influence of radical transformation of human thinking. Research methods are defined: literary-descriptive (monitoring of scientific ideas of the Ancient World based on philosophical and religious-sacred dogmas), photographic (analysis of landscapes, their components and places of worship of Nature), analytical-comparative (determination of universal methodological approach), tectonic changes in the ecological self-consciousness of man as an individual and civilization and the intellectual, organized system of ecocentrically conscious people). As a result of scientific research, the authors identified the main civilizational epochs of nature: river, sea, ocean, continental (mountain) and modern space; substantiations of the natural sacredness of forests, rivers, mountains, parts of the world, their importance in the system of balanced existence of man and nature (society and ecumenism) are singled out. Based on the analysis, the geochronological section of the nature management systems of Ancient Egypt, Babylon, Greece, Rome, India, China, Africa is substantiated, the sacral-landscape dimension of the Ukrainian Nation – “Ukraine” is singled out, scientific approaches to approbation environmental-space monitoring on ecocentric principles. *Key words:* geosophy, sacredness of landscape, historical and philosophical concepts, historical civilizations, ecological mentality, ecocentrism.

Постановка проблеми. Довкілля-простір – це загальнофілософська, фізична та метафізична дефініція визначення метризації будь-якого навколишнього природного та штучного (антропогенного, промислового, виробничого) середовища та простору. Середовище та простір у науковій парадигмі визначаються відповідними прийомами параметризації та системного картографування на засадах геоінформаційної континуальності та геоіконічної відповідності реальності.

Дефініція «довкілля-простір» – це сукупність наземних, підземних, плавучих, повітряних, навкоземних та космічних сегментів живої та неживої природи. Простір містить структурно-параметричні сегменти геопросторового сприйняття та інструментарного визначення реального світу.

Моніторинг довкілля-простору є необхідним процесом дослідження швидкоплинності змін та трансформації геосфер та їх геонегативного чи геовітального впливу на подальшу долю розвитку людства.

Довкілля-простір – це нова уніфікована дефініція сучасного реального існування цивілізації в системі «суспільство-природа». Геософічна парадигма довкілля-простору ґрунтується на визначенні її континуальності та одночасної кінцевості як реальної ойкумени сприйняття геопростору Землі як живої істоти.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Наукова спадщина теорії геософії в екологічному моніторингу запропонована в науковій роботі проф. К. Зауера «Морфологія ландшафту» як поняття «екологічний ландшафт». К. Зауер вважав, що еколого-культурний ландшафт не піддається науковому вивченню, але за ним прихована інша, невимовна реальність (рис. 1). Тобто історичну та еколого-естетичну сутність ландшафту необхідно відчутти, адже осягнення культурного природного ландшафту є, на його думку, безпосереднім головним науковим завданням геософії та спеціального наукового пошуку.

Геософія як еколого-природоохоронне та геополітичне осмислення географії довкілля-простору передувала розробці геософських теорій проф. П.І. Савицького, Н.С. Трубецького, П.Н. Савицького, Г.В. Вернадського, Л.П. Карсавіна, П.П. Сувчінської, науковим роботам Л.Н. Гумільова.

Професор П.І. Савицький розуміє геософію довкілля-простору як послідовне втілення категорії екологічного місцерозвитку: це «широкий гуртожиток живих істот, взаємно пристосованих один до одного та до навколишнього середовища, які перебувають під її впливом і своєю чергою впливають на неї» [3].

Концепція проф. Л.І. Мечникова щодо впливу технологічного розвитку суспільства на трансформацію (регенеративну еволюцію) природного середовища отримала розвиток у працях проф. Л.М. Гумільова та сучасних прихильників геософського сприйняття світового процесу як трансформації довкілля-простору (проф. Ю. Кисельов [1] та проф. О. Ковальов [2]).

У публікаціях проф. Л. Гумільова присутнє подібне до проф. П.І. Савицького розуміння геософії. Отже, можна припустити, що російський географ-еколог суттєво передбачив основні геософські концепції, які були розроблені в 20–30-і рр. ХХ ст.

Якщо проф. К. Зауер акцентував у своїх дослідженнях на людині в природному ландшафті та еколого-культурному ландшафті, то проф. Райт вважає, що сама людина і є тим патогенним фактором, що призводить до деградації ландшафтів. Тобто людина сприймається не як конкретний індивідуум, що знаходиться в певному геопросторі і часі й належить до певного класу, а як істота, що сприймає геоінформацію про світ та способи його меркантильного та прагматичного використання.

У системі наукових публікацій з історико-філософської парадигми в екології теоретики геософії: В.П. Семенов-Тян-Шанський сформулював концепцію гуманістичної екології природокористування (1928 р.), а Л. Гумільов, автор теорії пасіонарності етносів у системі розвитку біосфери Землі (1934 р.), фактично обґрунтував геософію моніторингу як антропоцентричну науку та визначив її наукові задачі в пошуку балансу населення та природних ресурсів.

Отже, геософічна парадигма базується на теорії проф. Н.С. Гумільова та наукових працях вчених Геософічного товариства під супроводом географа-мандрівника В.С. Семенова-Тян-Шанського та американських колег Райта та Зауера. Вони здійснили реконструкцію еколого-географічних уявлень Стародавнього Світу та Середньовіччя, які ґрун-



Рис. 1. Панорама ландшафту дніпровської річкової долини Подолу м. Києва з висоти гори Юрковиці із залишками еколого-культурної спадщини

туються на деяких фундаментальних положеннях гуманістичної екогеографії.

Методологічне та загальнонаукове значення. Для вивчення особистісної екологічної геософії неможливо використовувати методи, що застосовуються в традиційній екологічній та географічній науці. Тому новим у дослідженні є зроблений науковий наголос та практичне зосередження уваги на людині як істоті, що апіорі користується ресурсами нерационально. Крім того, виникла необхідність вивчити історію розвитку методологічних уявлень про довкілля-простір у контексті екософії як історико-філософського осмислення довкілля-простору від давніх часів до сьогодення.

Виклад основного матеріалу. В основі сучасної геософічної парадигми моніторингу довкілля-простору використано поняття «суходіл», «гідросфера» та «Ближній Космос». У часи Стародавнього Єгипту в ієрогліфіці символ води був представлений хвилястою лінією з гострими гребенями, що не випадково і може свідчити про проблему прісної води та зникнення великих водних площ із ландшафтів (рис. 2). Цей же втричі більший знак символізує першозданий Океан і Першоматерію – основу всіх земних природних явищ.

В індійських Ведах вода символізує початок і кінець усього сушого. Стародавні культури завжди географічно поділяли «верхні» і «нижні» води. Перші являють собою потенційні та можливі (стан навколишнього природного середовища), другі – вже створені (трансформовані природно-територіальні комплекси). Вавилоняни називали воду «будинком мудрості», вода символізувала Природу, її циклічність у періодах сезонів року – Світобудову.

За геософською концепцією моніторингу природи проф. Л. Мечникова, довкілля-простір інтер-

претується та проєктується в еволюції флори та фауни водного та земляного начала. Природно-територіальні геоторії бувають «таласогенезичними» (морськими) або «телурогенезичними» (континентальними). Перші передбачають наявність великих океанічних просторів, морів, заток, другі – суходіл із різноманітними формами висот рельєфу. Море в довкілля-просторі – це сильне і слабе місце «таласогенезичної рівноваги» і характеризується значними та меншими показниками припливів та відпливів. «Телурогенезичність», навпаки, володіє територіальною безперервністю, що характеризується показниками ондуляції земної поверхні залежно від астрономо-геодезичних методик їх визначення.

Проф. Л.І. Мечников виділяє як основну причину трансформації природних ландшафтів в антропогенні історичний розвиток географічної оболонки Землі та геософський фактор у його еволюції під впливом космічних та земних процесів, які зазвичай є взаємопов'язаними. Вчений поділяє екологічну еволюцію довкілля-простору на чотири етапи: річкову, морську океанічну та гірську. Нині необхідно до цього ряду додати ще космічний період.

Перший етап розвитку (річковий) пов'язаний із системою природокористування цивілізацій на берегах великих річок – Ніл, Тигр, Євфрат, Інд, Ганг та Хуанхе. Саме з цими річками пов'язана історія виникнення та розквіту чотирьох великих цивілізацій раціонального природокористування давнини – Єгипту, Месопотамії, Індії та Китаю (рис. 3).

Другий етап – морський або (середземноморський, у т.ч. чорноморський як його частина), інтерпретує систему природокористування міст-держав – Карфагену, Пантикопея, Ольвії, Херсонесу з формуванням нерациональних систем промислового лісо-, водо-, надро-, ресурсокористування, що вже набули неконтрольованого поширення в часи імперії Карла Великого (видобування корисних копалин, перші мануфактури та підприємства, що забруднювали гідросферу, атмосферу та літосферу). Ізоляція «річкових» суспільно-господарських систем природокористування змінилася з епохи технологічної (міжландшафтної) комунікації. Третій етап системи природокористування (*океанічний*) охоплює Новий час від епохи Великих географічних відкриттів. *Гірський етап* ми асоціюємо з цивілізаціями доколумбової Америки (ацтеки, інки, моче тощо).

Використання океанічних ресурсів поширило можливості людства та поєднало континенти



А

Б

Рис. 2. Аерофотознімок пустелі Єгипту. А – хвилясті меандри палеоруслу (на другому плані – Червоне море); Б – палеоруслу Біблійної річки Фісон, що впадала у Червоне море

в єдину систему торгівлі, промислового та технічного співробітництва, що стало наслідком перших хвиль хижацького природокористування та неконтрольованого забруднення навколишнього природного середовища.

Космічний етап розвитку людської цивілізації (1957 р.) став апогеєм у забрудненні останньої незайманої геосфери – Ближнього Космосу. Із запуском інтернет-супутників (І. Маск) навколоразомний простір остаточно перетворюється на велике сміттєзвалище високотехнологічної апаратури.

Відповідно до сучасних геософічних концепцій *гори* стали центрами зосередження потенційної та кінематичної енергії континентів. З ними пов'язана теорія збереження на їх вершинах залишків стародавніх культур та цивілізацій. Образність та символіка *лісу* близькі до гірської інтерпретації. *Дерева* та *гори* пов'язані з образом-символом Вісі світу. У телурогенезі (світоглядні імперативні сприйняття у друїдів та пустельників) ліс – це місце енергетичної сили флори та фауни біогеоценозів, але одночасно і простір-довкілля, в якому збереглися «уламки» зниклих минулих ландшафтів.

Людська цивілізація в геософічній парадигмі моніторингу довкілля-простору вважається патогенним земним кластером, що негативно впливає на еволюцію Землі. Але є винятки, які зазначаються в територіальній організації суспільства залежно від часу його існування та його генез місцерозташування, що інтерпретується Сторонами Світу.

Сторони Світу в геософії мають особливі природно-територіальні та географо-природоохоронні та еколого-економічні характеристики. У кожній зі Сторін Світу є свої символічні функції. Так, Схід традиційно вважається «енергією потенціалу Землі», земним акумулятором, батьківщиною еколого-сакрального початку еволюції біосфери. Професор А.В. Подосинов справедливо стверджує, що очевидно найбільш важливим для геопросторової орієнтації людини був виключно східний напрямок. Навіть у картографічних планах м. Києва М. Закревського ландшафти візуалізуються тільки із східного боку. З точки зору географічної парадигми довкілля-простору, не дарма саме ця сторона Світу, виступає істиною в культурі Природи, релігії природних Стихій, раціональному та бережливому природокористуванні. Необхідно зазначити, що навіть економіко-географічна орієнтація більшості сучасних цивілізаційних культур на цей напрям як основний не є випадковою. Тобто сучасна

китайська економіка є наймогутнішою у світі і здатна протистояти медико-бактеріологічним катастрофам (пандеміям) на кшталт COVID-19.

Відповідно до геопросторового символізму стародавні цивілізації організовували екологічний простір ексклюзивно: засновували культові центри, поховання, храми та споруди, осмислювали природні особливості географічних територій із метою їх раціонального використання. На культурно-символічному рівні елементи давньої екологічної геософії увійшли в культуру природокористування вже Нового часу (від серед. XV ст. до кін. XIX – поч. XX ст.), концептуальні основи якої були сформульовані в часи Стародавньої Греції.

Елементом екологічної геософії Стародавньої Греції є таємничий Гіперборея – північний острів із багатствами природи. Північ розуміється в нордичній традиції як простір вічного світла, де ніколи не заходить Сонце. Це підтверджується піврічним сяйвом полярного дня та темряви полярної ночі. Самою крайньою точкою Вічної Півночі вважалася загадкова земля Тулі, яку в період Нового часу пов'язували з Гренландією, що відкрита норвезьким вікінгом Ейріком Рудим. У назву цього острова покладені еколого-сакральні (геософічні) властивості, які йому приписували вікінги: Grune Land, «Зелена Земля» або «Земля Мертвих». Зелений колір символізував у давніх культурах Ісландії і Скандинавії край тіней, вічність та одночасну смерть і безсмертя Природи. Такий геософічний підхід ми знаходимо в писемних джерелах етносів, що мешкали на берегах Аральського моря, де описується, як воно періодично висихає та як пустелі Кизилкум та Каракум періодично покриваються товщею морської води.

На думку проф. етнології Н.А. Богомолова, «Зелений край» і «Зелена Земля» стають не конкретними географічними зазначеннями, а позначенням країни по той бік людської ойкуменічної свідомості в якомусь іншому екологічному вимірі і можуть від-



Рис. 3. Природно-сакральна долина верхів'я р. Інд (Індія)



Рис. 4. Субургани – штучні орієнтири пустелі та місця поклоніння Природі (Монголія)

критися лише в результаті ландшафтного перетворення. А шлях до нього здатні прокласти трансмутація, або медіумічна та сомнамбулічна свідомість етносу.

Велике значення має також Південна сторона Світу, яка була головною в багатьох народів залежно від періодичності сільськогосподарського природокористування, збору врожаїв та іншої економічної діяльності. Південь символізує ідею оптимізаційного природокористування, що протилежна нордичній, тобто множинності природних ресурсів, їх матеріальності та вичерпності.

Відповідно до більшості апробованих систем природокористування Південь часто співвідноситься з тими сферами економічної діяльності, де духовне набуває матеріальних обрисів без завдання шкоди навколишньому природному середовищу. І, дійсно, в країнах Африки відсутнє варварське вирубування лісів представниками місцевих етносів, зберігається духовний екологічний зв'язок людини та ландшафту.

Проф. А.В. Подосинов вважає, що дослідження символізму Півночі і Півдня в моніторингу довкілля-простору дає змогу інтерпретувати основні маршрути і орієнтири гумільовської екологічної історико-географічної філософії (геософії).

Орієнтація за Сторонами Світу відображена в інфраструктурі еколого-природоохоронних обсервацій – ландшафтів, деякі з них є пам'ятками духов-

ної і матеріальної культури природокористування, мають сакральне значення, були і є важливим елементом релігійного дійства, культури Природи, ареалу екологічного місцерозвитку, як, наприклад, субургани (рис. 4).

У терміні «екологічний місцерозвиток» (обсервація), що належить проф. П.М. Савицькому, з'єднані еколого-географічне середовище та займана ним територія (геоторія). Геософи співвідносять історичні й географічні початки трансформації довкілля-простору та встановлюють взаємодію між ними. Відповідно, місцерозвиток у моніторингу довкілля-простору на геософічних основах визначає технологічний процес трансформації системи природокористування відповідно не лише до території, а й духовної своєрідності ставлення до Природи будь-якого етносу, визначає екологічність етнічної та культурної своєрідності.

Аналіз еколого-географічне положення України, агрокліматичних умов, розташування природних зон дає підстави для висновку, що Українська держава являє собою цілісний та автономний природний світ довкілля-простору, істотно відрзняється як від Європи, так і від Азії. Тобто сакральне-екологічна точка зору свідчить про особливе географічне середовище – «Україніку», а з огляду на геософію природне середовище України значно впливає на менталітет титульної нації та народів, що її населяють [4].

Головні висновки. Геософічну парадигму моніторингу довкілля-простору можна розуміти як неонаукову концепцію про взаємодію ландшафту та етносу, системи природокористування та екологічної ментальності титульної нації як інтерпретації трансформації системи уявлень про довкілля-простір та системи природокористування, що склалися еволюційно.

У процесі застосування геософічної парадигми в моніторингу довкілля-простору вивчаються еколого-природоохоронні та географічні уявлення про системи природокористування історичних епох, різних етносів, соціальних груп або окремих особистостей, формування так званої культури особистісного раціонального природокористування.

Перспективи використання результатів дослідження. Отже, авторами статті визначено, що в перспективі припустима правомірність існування методології описів подорожей та травелог, що відтворюють еколого-географічний світогляд про довкілля-простір, властивий будь-яким епохам та етносам у просторі та часі.

Література

1. Кисельов Ю.О. Проблема «софійності» в науці та її часопросторовий вимір. *Часопис соціально-економічної географії*. 2015. Вип. 19 (2). С. 19–24.
2. Ковальов О. Еколого-геософічні аспекти вивчення людського простору старопромислових регіонів ресурсного типу (на прикладі Донбасу). *Географія та туризм*. Вип. 34. 2015. С. 258–265.
3. Раскина Е.Ю. Геософические аспекты творчества Н.С. Гумилева. Москва : Из-во МГИ им. Е.Р. Дашковой. 2009.
4. Шевченко Р.Ю., Доценко К.О. Диференційність рівнів екологічної освіти та екосвідомості при оцінці впливу сучасного ресурсо-природокористування на довкілля. *Екологічні науки*. 2019. № 4 (27). С. 215–221.

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДОЛОГІЇ БОНІТУВАННЯ ҐРУНТІВ УРБООКОСИСТЕМ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ СТУПЕНЯ ЇХ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

Яковишина Т.Ф.

ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»
вул. Чернишевського, 24А, 49000, м. Дніпро
t_yakovyshyna@ukr.net

Використання методологічних принципів бонітування в процесі оцінювання здатності міських ґрунтів до виконання своїх функцій щодо живих організмів в урбоекосистемі виступає передумовою забезпечення екологічної безпеки техногенно навантажених територій. Врахування значень бонітету при здійсненні оцінювання земельних ресурсів у межах територій урбоекосистем має важливе науково-практичне значення в умовах формування ринку землі при врахуванні екологічних пріоритетів. Проаналізовано методики бонітування, визначено їх переваги і недоліки, встановлено невирішені питання щодо особливостей застосування для техногенно навантажених ґрунтів урбоекосистем, які зазнали трансформації ґрунтового профілю в результаті будівельної діяльності та забруднення небезпечними сполуками металів у процесі функціонування. Запропоновано дотримуватись єдиного методологічного підходу щодо бонітування ґрунтів на основі класичної методики, з додаванням до неї діагностичних показників, які відбивають наслідки антропогенного впливу. Удосконалено методологію бонітування міських ґрунтів шляхом додаткового введення при розрахунку значення бонітету інтегрального показника забруднення небезпечними сполуками металів та їх буферної здатності щодо можливості сприйняття техногенного навантаження. Доведена доцільність врахування особливостей впливів на ґрунти, що виникають під час функціонування урбоекосистеми, для оцінювання ступеня їх екологічної безпеки методом бонітування на прикладі технозему, екранозему та урбаноземів насипного, перемішаного і агрогенного типів м. Дніпро. Обґрунтовано формулу перерахунку значень сумарного показника забруднення в бальний коефіцієнт. Запропоновано визначати оціночний бал буферної здатності як відношення вмісту гумусу, глинистих часток, карбонатів, R_2O_3 та pH у міських ґрунтах до аналогічних показників у зональному чорноземі звичайному. Встановлено, що за значенням бонітету ґрунти урбоекосистеми м. Дніпро варто зарахувати до категорій із середньою та високою якістю за умов коливання рівня забруднення небезпечними сполуками металів від слабого до сильного та підвищеною і середньою буферною здатністю. *Ключові слова:* бонітет, екологічна безпека, забруднення, ґрунт, урбоекосистема, сполуки металів.

Improving the bonitet methodology for soils of the urban ecosystems to assess the degree of their ecological safety. Yakovyshyna T.

The using of methodological principles of the bonitet for assessing the urban soils ability to perform their functions in relation to living organisms in the urban ecosystem is a prerequisite for ensuring the environmental safety of man-made areas. Taking into account the bonitet values for assessment of the land resources within the territories of urban ecosystems is of great scientific and practical importance in the formation of the land market, taking into account environmental priorities. The existing bonitet methods has been analyzed, their advantages and disadvantages have been identified with determination unresolved issues concerning the peculiarities of application for man-made soils of urban ecosystems, which underwent transformation of soil profile as a result of construction activities and contamination with hazardous metal compounds during functioning. The single methodological approach to bonitet soil is proposed to follow on the basis of classical methods, with the addition of diagnostic indicators that reflect the effects of anthropogenic impact. The bonitet methodology of the urban soils has been improved by additional consideration in calculating the integrated indicator of the contamination by the metals hazardous compounds and their buffering capacity in relation to the possible perception of the man-caused load. The expediency of especially impacts accounting to the soils of the functioning urban ecosystems has been proved for estimation of their environmental safety degree by the bonitet method for example of the technozem, ekranozem and urbanozems (bulk, mixed and agrogenic types) of Dnipro city. The formula has been substantiated for converting the values of the summary contamination index into a point coefficient. The estimated point of the buffering capacity has been proposed to determine as the ratio of the content of humus, clay particles, carbonates R_2O_3 and pH in the urban soils to similar indicators in the zonal chernozem. It is established that according to the bonitet value, the soils of the urban ecosystem of Dnipro should be referred to the categories of medium and high quality, taking into account the level fluctuations of the contamination by the hazardous metal compounds from weak to strong and high and medium buffering capacity. *Key words:* quality, ecological safety, pollution, soil, urban ecosystem, metal compounds.

Постановка проблеми. Екологічний стан ґрунтів урбоекосистем потребує особливої уваги, адже вплив транспорту, промисловості, будівництва спричиняє постійне техногенне навантаження на всі складники ґрунтової системи в межах міста, що відбивається на її водно-фізичних та агрохімічних властивостях, водному та повітряному режимах, а це своєю чергою призводить до втрати здатності ґрунтом виконувати свої екологічні функції, головною з яких є родю-

чість – здатність забезпечувати рослини достатньою кількістю поживних елементів та створювати комфортні умови для їх існування. Крім того, як базова складова частина урбоекосистеми міські ґрунти зумовлюють продуктивність і стійкість зелених насаджень, беруть участь у ремедіації різноманітних забруднювачів навколишнього середовища, сприяють очищенню приземного шару атмосферного повітря та поверхневих вод, формують мікроклімат,

забезпечують геостабілізацію, виступають джерелом біофільних елементів та макроенергетичних сполук [1]. Оцінювання міських ґрунтів щодо виконання ними своїх функцій щодо рослин виступає передумовою забезпечення екологічної безпеки техногенно навантажених урбоєкосистем. Бонітування як інвентаризація показників їх екологічних властивостей сприяє всебічному об'єктивному оцінюванню якісного і функціонального стану міських ґрунтів та дає змогу врахувати значення бонітету в процесі здійснення оцінювання земельних ресурсів, що має важливе науково-практичне значення в умовах формування ринку землі при врахуванні екологічних пріоритетів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

За свідченням В.В. Медведєва та І.В. Плісько (2011), бонітет ґрунтів кількісно відображає інтегральну характеристику якісного стану показників його родючості, отже, здатність виконувати свої функції щодо живих організмів і насамперед рослин в екосистемі [2]. Ідея оцінювання якості ґрунтів шляхом їх бонітування належить В.В. Докучаєву, який наголошував на необхідності попереднього їх розподілу за класами та типами як обов'язкової умови бонітування, адже ґрунти різних природно-кліматичних зон істотно відрізняються за родючістю. Згідно з підходами, прийнятими в Європі та США, оцінювання якості ґрунту здійснюється за показниками, що відповідають за його родючість, проте вони значною мірою відрізняються по країнам [3]. В Україні створення наукових основ бонітування стосувалось переважно ґрунтів сільськогосподарського призначення та було пов'язано з дослідженнями В.П. Кузьмичова, С.С. Соболева, О.І. Зражевського, І.І. Карманова.

У нинішній час є кілька досить вдалих методик бонітування, проте вони ґрунтуються на різних підходах до вибору діагностичних ознак в процесі здійснення оцінювання ґрунтів, а це своєю чергою значною мірою утруднює їх практичне використання [2; 4–6]. Приміром, за методикою А.І. Сірого (1981) [7], діагностичними критеріями якості ґрунту виступають найважливіші фізико-хімічні властивості при врахуванні екологічних умов і технологічної якості земель. У методиці, запропонованій ННЦ «Інститут ґрунтознавства і агрохімії ім. О.Н. Соколовського», більшою мірою розкрито потенційну та ефективну родючість ґрунту за рахунок використання 16 показників, серед яких вміст гумусу і гранулометричний склад, які зумовлюють структуру, щільність складення ґрунту, рН ґрунтового середовища, а також показники водного, теплового та поживного режимів.

Однак зазначені методики не містять діагностичних ознак, які б дали змогу оцінити стан ґрунту, що потерпає від техногенного навантаження внаслідок господарської діяльності людини. Перші кроки в цьому напрямі щодо техноземів, сформованих у процесі гірничо-видобувних робіт під час розроблення корисних копалин, були зроблені

Р.М. Панасом і С.М. Маланчуком (2013), які, взявши за основу попередню методику, доповнили її діагностичними показниками походження ґрунтів, зокрема їх генетико-морфологічної будови [8].

Еколого-токсикологічний стан ґрунтів був врахований у процесі визначення бонітету О.А. Іванцовою та А.Н. Водолазко (2019) [9], проте в їх методиці не має єдиної думки, за якими формами металів потрібно проводити оцінювання – за їх загальною кількістю, використовуючи воловий вміст, чи сполуками, здатними до мігрування (ААБ, рН 4,8), як такими, що спричиняють реальну екологічну небезпеку.

Стосовно урбаноземів Т.І. Долговою (2010) була запропонована методика, яка враховувала наслідки антропогенного впливу на ґрунт у межах урбоєкосистеми, що спричинився через їх забруднення небезпечними сполуками металів [10], проте в ній не враховується буферна здатність антропогенно перетворених ґрунтів щодо депонування катіонів металів з утворенням менш мобільних сполук, які не здатні мігрувати трофічними ланцюгами. Чисельними дослідженнями доведено, що показники буферності (вміст гумусу, глинистих часток, CaCO_3 , R_2O_3 та рН) в урбаноземів різного походження значно нижчі за аналогічні в зональних ґрунтах [11; 12]. Тому невірним питанням залишається врахування буферної здатності міських ґрунтів, адже в процесі функціонування урбоєкосистеми вони зазнають не тільки забруднення, але й трансформації ґрунтового профілю внаслідок будівельної діяльності. Крім того, доцільно дотриматися єдиного методологічного підходу щодо бонітування ґрунтів, приміром, на основі класичної методики ЦНДІАО, з додаванням до неї діагностичних показників, які відбивають наслідки антропогенного впливу.

Мета роботи полягала в удосконаленні методології бонітування ґрунтів урбоєкосистем шляхом врахування особливостей її функціонування через залучення інтегрального показника забруднення небезпечними сполуками металів та буферної здатності для оцінювання ступеня їх екологічної безпеки.

Бонітет міських ґрунтів ($B_{\text{м.г.}}$) оцінювали за формулою (1)

$$B_{\text{м.г.}} = (B + B_{\text{в.м.}} + B_{\text{б.з.}})/3, \quad (1)$$

де B – бонітет ґрунту, який визначається за класичною методикою ЦНДІАО за показниками гідролітична кислотність, вміст гумусу, фосфору, калію, кальцію, магнію, сума поглинених основ, ступінь насиченості ґрунту основами;

$B_{\text{в.м.}}$ – бонітет за вмістом сполук металів у ґрунті;

$B_{\text{б.з.}}$ – бонітет ґрунту за буферною здатністю до забруднення металами.

Вміст металів у зональному та антропогенно порушеному ґрунтах визначали після їх кислотної обробки на атомно-абсорбційному спектрофотометрі. Поліелементне забруднення небезпечними

сполуками металів (Cd, Pb, Zn, Cu, Ni) ґрунту оцінювали за сумарним показником забруднення (Z_c) згідно з методикою Ю.Є. Саєта [12]. Сутність показника Z_c ґрунтується на визначенні суми коефіцієнтів концентрації металів (K_c), які своєю чергою свідчать про перевищення вмісту катіонів металів у досліджуваному ґрунті порівняно до їх фонової концентрації в зональному ґрунті. Тому з огляду на принципи, закладені в методику визначення бонітету згідно з ЦНДІАО, формула встановлення бонітету ґрунту за вмістом сполук металів ($B_{в.м.}$) набуває такого вигляду (2)

$$B_{в.м.} = (1 / Z_c) \times 100, \quad (2)$$

Показники буферної здатності ґрунту визначали вміст глинистих часток методом сухого просіювання за Н.А. Качинським у модифікації агрофізичного інституту, гумусу методом І.В. Тюріна в модифікації ЦНДІАО, карбонатів та R_2O_3 гравіметричним методом, $pH_{водн.}$ ґрунту на іономірії універсальному. Буферну здатність ґрунту до забруднення сполуками металів встановлювали за методикою В.Б. Ільїна (1995) [10]. Для переведення значення буферної здатності в бали використовували відношення одержаних значень у міських ґрунтах до її значення в зональному ґрунті – чорноземі звичайному згідно з формулою (3)

$$B_{б.з.} = (B_{з.г.} / B_{з.г.}) \times 100, \quad (3)$$

де $B_{б.з.}$ – бонітет буферної здатності ґрунту;

$B_{з.г.}$ – буферна здатність міського ґрунту в балах за В.Б. Ільїним (1995);

$B_{з.г.}$ – буферна здатність зонального ґрунту в балах за В.Б. Ільїним (1995).

Виклад основного матеріалу. Антропогенний вплив на зональні ґрунти – чорноземи звичайні призвів до утворення в межах урбоєкосистеми м. Дніпро урбаноземів перемішаного, насипного та агрогенного типів – висотна забудова та приватний сектор, а також техноземів – у межах санітарно-захисних зон промислових підприємств, екраноземів – ґрунтів, запечатаних асфальто-дорожнім покриттям.

Найбільший внесок у поліелементне забруднення ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро здійснювали Zn, Pb та Cu (табл. 1), значне варіювання їх коефіцієнтів концентрації, на основі яких розраховується Z_c , свідчило про направленість діяльності промислових підприємств-забруднювачів. Навколо промислових зон міста утворилися ареали забруднення Zn та Cu, в той час як на підвищення вмісту катіонів Pb у ґрунті здійснювали вплив викиди тетраетилсвинцю від автотранспорту, внаслідок розгалуженої системи автошляхів у центральній частині міста.

Поліелементне забруднення ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро сполуками металів мало дещо строкатий характер і коливалось у досить широких межах від дуже слабкого до сильного за Z_c (табл. 1). Дуже слабкий рівень забруднення був притаманний урбаноземі агрогенного типу (приватна забудова периферійних зон міста). Стосовно урбаноземів, що сформувались на території висотної забудови, спостерігалась тенденція, а саме: з віддаленням її від промислових зон та автомагістралей з інтенсивним рухом сумарний показник забруднення знижувався від помірного до слабкого незалежно від типу порушення ґрунтового профілю. Слабкий рівень забруднення екраноземі пояснювався інтенсивним аерогенним забрудненням перед облаштуванням дороги та запечатуванням асфальто-дорожнім покриттям.

Антропогенний вплив на міські ґрунти призвів до зниження їх стійкості щодо забруднення сполуками металів, що проявлялось через показники буферної здатності.

Механізм протекторних властивостей гумусу в буферній здатності полягає у взаємодії катіонів металів з органічною речовиною ґрунту, яка відбувається завдяки іонообмінним процесам, адсорбції на поверхні, хелатуванню, реакціям коагуляції та пептизації. За ступенем забезпеченості гумусом технозем належав до дуже слабо забезпеченого, а екранозем і урбаноземи різних типів – до слабо забезпечених ґрунтів (табл. 2).

Гранулометричний склад урбаноземі наслідував ознаки зонального ґрунту – чорноземі звичай-

Таблиця 1

Забруднення сполуками металів ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро

Ґрунт	K_c					Z_c
	Pb	Cu	Zn	Cd	Ni	Рівень забруднення
Урбанозем перемішаного типу	6,61	1,84	13,46	2,08	1,88	<u>21,87</u> Помірний
Урбанозем насипного типу	1,46	1,72	5,51	1,79	2,56	<u>9,04</u> Слабкий
Урбанозем агрогенного типу	2,85	1,32	3,22	1,14	1,32	<u>5,85</u> Дуже слабкий
Технозем	12,91	5,16	21,34	2,04	2,73	<u>40,18</u> Сильний
Екранозем	4,93	2,56	5,83	1,67	1,38	<u>12,37</u> Помірний

ного, антропогенний вплив позначався через збільшення включень будівельного сміття та пилюватих часток розміром менш за 0,01 мм, за виключенням агрогенного типу, де протягом більш ніж півстоліття створювався штучний гумусовий горизонт, складений агрономічно цінними ґрунтовими агрегатами при зменшенні вмісту включень. Чорнозем звичайний відносився до важкосуглинкових ґрунтів, водночас втручання людської діяльності при розбудові урбоєкосистеми суттєво збільшувало фракцію 0,01–0,001 мм і за вмістом фізичної глини їх можна було зарахувати до легкоглинистих ґрунтів. Варто також зазначити, що вміст фізичної глини впливає на закріплення катіонів металів та запобігає можливості утворення сполук, здатних до мігрування.

Закріплення катіонів металів відбувається також внаслідок неспецифічної сорбції катіонів шляхом обміну катіонів дифузного шару колоїдної міцели (Fe^{3+} , Al^{3+}) на еквівалентну кількість катіонів металу, що знаходиться в ґрунтовому розчині. Збільшення вмісту оксидів Fe, Mn і Al істотно знижує здатність до мігрування сполук металів у ґрунті [11; 14]. Вміст полуторних оксидів зменшувався в межах 9,6–31,7% від значення у зонального ґрунту, найбільшою мірою у техноземі.

Карбонат кальцію сприяє закріпленню металів за реакцією обміну шляхом утворення сполук із низьким добутком розчинності ($CdCO_3 - 2,8 \cdot 10^{-6}$, $PbCO_3 - 1,1 \cdot 10^{-5}$, $ZnCO_3 - CdCO_3$ г на 100 мл води). Вміст карбонатів у міських ґрунтах визначався напрямами впливу будівельної діяльності, а саме: знижувався в процесі проведення земляних робіт через перемішування з нижніми підстилаючими породами та підвищувався внаслідок включень артиндустратів та артиурбістратів, проте значення, притаманного зональному чорнозему звичайному, не досягав.

Реакція ґрунтового середовища взаємопов'язана з окислювально-відновлювальним потенціалом, їх сукупність визначає міграційну здатність сполук практично всіх металів. Високі значення окислювально-відновлювального потенціалу сприяють зниженню активності електронів у ґрунті, щільності електронної хмари і заряду ацидоїдів. Збільшення окислювально-відновлювального потенціалу позначається на селективному поглинанні ґрунтом катіонів із меншою щільністю заряду. Високі значення окислювально-відновлювального потенціалу та лужна реакція ґрунтового середовища ініціює осадження катіонів металів у вигляді слабо розчинних у воді оксидів та гідроксидів.

Реакція ґрунтового середовища міських ґрунтів визначалась напрямами господарської діяльності людини, а саме тенденція до підкислення була притаманна техноземі (промислова зона) та урбаноземі перемішаного типу внаслідок переваження процесів осадження на його поверхню фізіологічно кислих викидів підприємств, навпаки, ґрунти, з домінуючим впливом будівельної діяльності, характеризувались збільшенням лужності через включення карбонатів антропогенного походження. Однак варто зазначити, що коливання рН в усіх досліджуваних типах урбаноземів порівняно до значення зонального чорнозему звичайного були досить незначними (табл. 3), а це свідчить про здатність порушених ґрунтів ще підтримувати свої протекторні властивості. Значення рН чорнозему звичайного – 6,75, що відповідало родючому ґрунту, в той час як технозем та урбаноземі з насипним і агрогенним типами ґрунтового профілю належали вже до потенційно родючих ґрунтів. На ділянці з урбаноземом перемішаного типу за рахунок своєї різноспрямованої дії

Таблиця 2

Буферна здатність ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро

Показник	Урбанозем перемішаного типу	Урбанозем насипного типу	Урбанозем агрогенного типу	Технозем	Екранозем
Гумус, %	1,47	1,88	2,96	1,18	2,43
Глинисті частки, %	59,1	60,3	58,8	48,3	55,8
Карбонати, %	0,36	0,47	0,41	0,35	0,52
R_2O_3 , %	3,6	3,0	3,7	2,8	3,3
pH	6,7	7,14	7,02	6,58	6,83
Буферна здатність, бали	<u>34</u> підвищена	<u>35</u> підвищена	<u>38</u> підвищена	<u>29,5</u> середня	<u>37,5</u> підвищена

Таблиця 3

Оцінка якості ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро згідно зі значенням бонітету

Ґрунт	Бонітет, бали				Характеристика якості
	Б	Б _{в.м.}	Б _{б.з.}	Б _{м.г.}	
Урбанозем перемішаного типу	79,4	4,6	79,1	54,4	Середня якість
Урбанозем насипного типу	80,0	11,1	81,4	57,5	Середня якість
Урбанозем агрогенного типу	91,5	17,1	88,4	65,7	Висока якість
Технозем	69	2,5	68,6	46,7	Середня якість
Екранозем	85,5	8,2	87,2	60,3	Висока якість

та екраноземом внаслідок запечатування асфальто-дорожнім покриттям антропогенний вплив майже нівелювався.

Згідно з визначеними за методикою В.Б. Ільїна (1995) балами, буферна здатність міських ґрунтів була середньою та підвищеною, що зумовлювалось наявністю ознак зонального ґрунту – чорнозему звичайного малогумусного важкосуглинкового, на тлі якого вони сформувались. Значення балів буферної здатності були практично на одному рівні для промислової та висотної забудови, виключення становили екранозем – запечатаний ґрунт, який здебільшого не сприймає техногенне навантаження, а також урабанозем агрогенного типу з приватного сектора, що пояснюється його окультуреністю та спробами власників підтримувати екологічні функції шляхом використання органічних та мінеральних добрив.

Здійснення оцінювання ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро шляхом їх бонітування надало змогу зарахувати їх до категорій із середньою та високою якістю (табл. 3). Найбільшою мірою зниження значень показника бонітету міських ґрунтів відбувалось саме у разі врахування рівня забруднення за Z_c , тому нехтувати ним в процесі оцінювання екологічної безпеки ґрунтів урбоєкосистеми не можна, втім, як і бонітетом, що відбиває буферну здатність, адже саме їх поєднання дає характеристику мобільності небезпечних сполук металів у ґрунті.

Головні висновки. Удосконалено методологію бонітування ґрунтів урбаноземів шляхом врахування особливостей її функціонування через залучення додаткових показників, а саме: інтегрального

показника забруднення небезпечними сполуками металів та їх буферної здатності відносно можливості сприйняття техногенного навантаження. На основі порівняння результатів розрахунків бонітету ґрунтів м. Дніпро (технозем, екранозем та урбаноземі перемішаного, насипного і агрогенного типів), здійснених за рекомендаціями ЦНДІАО та згідно із запропонованим методологічним підходом переконливо доведена доцільність врахування особливостей впливів на ґрунти, що виникають у процесі функціонування урбоєкосистеми, для оцінювання ступеня їх екологічної безпеки методом бонітування. Обґрунтовано переведення значення сумарного показника забруднення (Z_c) в бальний коефіцієнт ($B_{в.м}$) для врахування ступеня екологічної небезпеки, яку спричиняє надлишковий вміст сполук металів у ґрунті. Запропоновано визначати оціночний бал бонітету за буферною здатністю міських ґрунтів до забруднення небезпечними сполуками металів як відношення вмісту гумусу, глинистих часток, карбонатів R_2O_3 та рН у міських ґрунтах до аналогічних показників у зональному чорноземі звичайному, дотримуючись єдиного методологічного принципу бонітування.

Перспективи використання результатів дослідження. Варто зосередитись на розробці показників, що характеризують забруднення міських ґрунтів радіонуклідами, нафтопродуктами та іншими небезпечними речовинами, ґрунтуючись на принципах, закладених у методологію визначення бонітету для оцінювання ступеня їх екологічної безпеки для населення урбоєкосистем.

Література

1. Смага И.С. Методологические основы бонитетной оценки почв и их усовершенствование. *Грунтознавство*. 2013. Том. 14, № 3-4. С. 63–75.
2. Медведев В.В., Пліско І.В. Бонітування ґрунтів в Україні: підсумки і перспективи. *Вісник ХНАУ. Сер. Грунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство, екологія ґрунтів*. 2011. № 1. С. 22–28.
3. Verheye W.H. Use of land evaluation techniques to assess the market value of agricultural land. *Agropedology*. 2000. № 10. Р. 88–90.
4. Карманов И.И., Булгаков Д.С., Шишконокова Е.А. Система оценки природно-антропогенных воздействий на изменение плодородия почв пахотных земель на основе почвенно-агроклиматического индекса. *Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева*. 2013. Вып. 72. С. 65–83.
5. Канаш О.П. Бонітування ґрунтів: пропонуються зміни, чого вони варті? *Землепорядний вісник*. 2008. № 5. С. 46–50.
6. Пліско І.В. Просторово-диференційована система управління якістю ґрунтів (на прикладі рілля України) : автореферат дис. ... докт. с.-госп. наук : 06.01.03 «Агрогрунтознавство і агрофізика». 49 с.
7. Серый А.И. К методике бонитировки почв на агроэкологической основе. *Почвоведение*. 1981. № 7. С. 5–17.
8. Панас Р.М., Маланчук М.С. Особливості бонітування техногенних ґрунтів. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2013. Вып. 77. С. 74–80.
9. Иванцова Е.А., Водолазко А.Н. Влияние загрязнения почв сельскохозяйственных земель тяжелыми металлами на их бонитировочную оценку (на примере Волгоградской области). *Проблемы региональной экологии*. 2019. № 4. С. 111–115.
10. Долгова Т.И. Система-анализ деградации почв. *Екологія і природокористування*. 2010. Вып. 13. С. 21–26.
11. Ильин В.Б. Система показателей для оценки загрязненности почв тяжелыми металлами. *Агрохимия*. 1995. № 1. С. 94–99.
12. Яковишина Т.Ф., Соболев Т.О., Тур А.І. Оцінка буферності міських ґрунтів щодо забруднення важкими металами в системі екологічного моніторингу. *Актуальні проблеми дослідження довкілля* : Збірник наукових праць за матеріалами VI Міжнародної наукової конференції, 20–22 травня 2015 р. Суми, 2015. Т. 2. С. 104–107.
13. Саєт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды Москва : Недра. 1990. 335 с.
14. Zawadzki J., Magiera T. Fabianczyk Geostatistical evaluation of magnetic indicators of forest soil contamination by heavy metals. *Studia Geophysica et Geaetica*. 2009. Vol. 53. № 1. Р. 133–149.

ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

УДК 629.7.01: 354: 321.01: 574.08

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.3-30.5>

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ЩОДО СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ЕКОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ДЕРЖАВИ

Бондар О.І.¹, Машков О.А.¹, Міхеєв В.С.²

¹Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, м. Київ
mashkov_oleg_52@ukr.net;

²Державне космічне агентство України
вул. Московська, 8, 01010, м. Київ
yd@nkau.gov.ua

Обґрунтовано значущість системного підходу щодо наукової підтримки екологічних рішень для забезпечення екологічної безпеки держави. Зазначається, що він передбачає створення та застосування нових науково-практичних інструментів, зокрема й таких методологій: оцінювання екологічних загроз і ризиків регіону з використанням системи підтримки екологічних рішень та експертних оцінок; удосконалення систем управління екологічною безпекою шляхом створення системи підтримки екологічних рішень із застосуванням безпілотних літальних апаратів та аерокосмічних технологій; провадження безпілотних апаратів екологічного спостереження та застосування космічних засобів.

Формалізовано важливе науково-практичне завдання – створення системи контролю екологічного середовища за допомогою космічних, повітряних і наземних комплексів. Розв'язання поставленої наукової задачі дозволить підвищити вірогідність та інформаційні можливості систем екологічного моніторингу для визначення зон екологічних загроз і ризиків шляхом оцінки екологічного стану регіону із застосуванням геоінформаційних та аерокосмічних технологій. На основі узагальнення питань підвищення ефективності функціонування екологічного моніторингу шляхом застосування екологічних комплексів космічного, повітряного, наземного базування запропоновано нові розв'язання наукової задачі, які базуються на системному підході щодо формування системи підтримки екологічних рішень для забезпечення екологічної безпеки держави. Отримані результати контролю екологічного середовища з використанням аерокосмічних технологій уже впроваджені й мають практичний характер. Це дозволяє не лише поповнити знання теоретичного характеру, але й реалізувати їх на практиці. Удосконаленість методики синтезу системи екологічного моніторингу, а також правдивість отриманих результатів дослідження забезпечені коректною постановкою наукового завдання, використанням апробованих методів аналізу й синтезу складних систем, теорії екологічного моніторингу, обґрунтованим вибором обмежень і допущень, а також збігом висновків дослідження з результатами під час апробації отриманих результатів та обговорення їх на науково-практичних конференціях. Результати проведених досліджень можуть бути використані в державній системі екологічного моніторингу, а також для визначення зон екологічних ризиків і рівнів екологічної безпеки екосистем. *Ключові слова:* аерокосмічні технології, екологічна безпека, екологічна оцінка, екологічний моніторинг, екологічні загрози, екологічні ризики, система контролю екологічного середовища, система підтримки екологічних рішень, системний підхід.

Systemic approach to creating a system of supporting environmental solutions to ensure the environmental safety of the state.
Bondar O., Mashkov O., Mikheev V.

The paper proposes a systematic approach to creating a system of support for environmental solutions to ensure the environmental safety of the state. It is determined that the system approach involves the creation and application of new scientific and practical approaches: methodology for assessing environmental threats and risks in the region using a system of support for environmental decisions and expert assessments; methodology for improving environmental safety management systems by creating a system to support environmental solutions using unmanned aerial vehicles and aerospace technologies; methodology for conducting unmanned aerial vehicles and the use of spacecraft. The paper formalizes an important scientific and practical task – the creation of a system of environmental control based on the integration of space, air and ground systems. The solution of this scientific problem allows to increase the reliability and information capabilities of environmental monitoring systems to identify areas of environmental threats and risks based on the assessment of the ecological status of the region using geographic information and aerospace technologies. Based on the generalization of issues of improving the efficiency of environmental monitoring through the use of ecological complexes of space, air, ground, a new solution to the scientific problem is proposed, which is to apply a systematic approach to creating a system of environmental solutions to ensure environmental security. The results obtained on the creation of a system of environmental control using aerospace technologies are implemented and have a practical nature. This makes it possible not only to supplement the knowledge of a theoretical nature, but also to implement them in practice. The adequacy of the improved method of synthesis of environmental monitoring system and the reliability of the results of the study is ensured by the correct formulation of the scientific task, the use

of proven methods of analysis and synthesis of complex systems, the theory of environmental monitoring, the reasonable choice of at scientific and practical conferences. The results of the research can be used in the state system of ecological monitoring, as well as the study of ecological risk zones in the assessment of ecological safety of ecosystems. *Key words:* aerospace technologies, ecological safety, ecological assessment, ecological monitoring, ecological threats, ecological risks, system of control of ecological situation, system of support of ecological decisions, system approach.

Постановка проблеми. Натепер екологічні проблеми – новий виклик безпеці людської цивілізації. Нині очевидно, що одним із найактуальніших завдань сучасності є насамперед пошук шляхів і засобів нейтралізації та подолання негативних тенденцій, що мають реальну загрозу для безпечного існування суспільства, національної безпеки держави, – війни на сході України, масштабних лісових пожеж, глобальної пандемії COVID-19, «екологічного тероризму» (біологічного, хімічного, радіаційного, техногенного, природного, сільськогосподарського й інших) [1–5].

Ефективні прогнозування глобальних екологічних проблем та їх розв'язання можуть здійснюватися завдяки розробці й дослідженням комп'ютерних сценаріїв світового розвитку. Адже будь-які дії, спрямовані на руйнування навколишнього природного середовища, можуть спричинити катастрофічні екологічні наслідки [4; 6; 7].

Зважаючи на те, що екологічна безпека в Україні – важлива складова частина національної безпеки держави, натепер є необхідністю вжиття комплексу цілеспрямованих заходів науково-освітніми закладами й іншими установами з метою надання відповідних екологічних знань і навичок широким верствам населення, держслужбовцям, у тому числі й для представників силових структур України.

За оцінками зарубіжних спеціалістів, у найближчі 50 років населення земної кулі досягне 10 млрд, а обсяг виробництва світової економіки може зрости (за висновками окремих економістів) у п'ять разів. Як наслідок, швидко виснажаться необхідні для життєдіяльності людини природні ресурси; зменшиться загальна площа родючих земель; зникне значна частина лісів; продовжиться надмірна експлуатація та забруднення водних ресурсів; триватимуть глобальні зміни клімату й зменшення озонового шару земної кулі [16; 17].

Екологічна криза загрожуватиме національній безпеці багатьох держав світу. Тому саме з такого боку варто розглядати задачі державної системи управління в напрямку розв'язання проблем екологічної безпеки країни [1–5].

Однією з форм сучасних небезпек для світової спільноти є «екологічний тероризм». Розвиток сучасного багатополісного світу здійснюється не просто й суперечливо. Це пояснюється, зокрема, існуванням низки політичних, економічних, ідеологічних конфронтацій, що істотно впливають на міжнародну безпеку. Надмірний антропогенний вплив і високий рівень техногенного навантаження на територію України зумовлений наявністю гірничодобувних,

хімічних, енергетичних та інших потенційно-небезпечних промислових комплексів, зосереджених на виробничо-міських територіях. Це підвищує ризики виникнення техногенних катастроф під час руйнування таких об'єктів, у тому числі й внаслідок воєнних дій. Серед інфраструктурних об'єктів, що значно впливають на стан навколишнього природного середовища, – просторово розподілені залізничні колії, нафто й газопроводи, мости, магістральні електромережі, безпечна експлуатація яких має першочергове значення для соціально-економічного розвитку держави.

Доступність для терористів різноманітних видів зброї та вибухових систем становить потенційну загрозу заподіяння шкоди навколишньому природному середовищу. Використання великомасштабних, вдосконалених вибухових пристроїв проти найрізноманітніших об'єктів – місць поховання небезпечних відходів, атомних станцій, електричних засобів керування насосними станціями на нафто-, газо-, водопроводах – можуть перевищити наслідки, спричинені безпосереднім застосуванням вдосконалених вибухових пристроїв.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням забезпечення екологічної безпеки держави з позицій системного підходу присвячені публікації таких науковців, як В.М. Боголюбов, М.О. Клименко, О.І. Бондар, О.А. Машков, С.Т. Абідов, В.В. Крутов, В.М. Ісаєнко, Г.В. Лисиченко, Ю.В. Мамчур [8; 9; 13; 16; 18]. Питання екологічного моніторингу й екологічної безпеки регіонів і техногенно небезпечних об'єктів розглянуто в роботах таких дослідників, як В.С. Міхеєв, В.Е. Васильєв, В.Ф. Фролов, Н.Р. Нижник [6; 10; 13; 14; 19]. Інформаційні особливості систем підтримки прийняття управлінських рішень визначені в публікаціях таких вчених, як С.П. Іванюта, І.Г. Качалін, Р.Н. Синицький [11; 15; 17]. Особливості використання аерокосмічних технологій у системах екологічного спостереження розглянуто в роботах таких авторів, як М.Ф. Пічугін, І.М. Сашук, В.А. Кирилюк, М.О. Попов, І.С. Романченко [20; 21; 22].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Проте натепер немає єдиного розуміння щодо технологій отримання інформаційних екологічних рішень у системі підтримки їх прийняття, що перешкоджає адекватнішому визначенню (з системних позицій) управлінських рішень і породжує різні варіанти її трактування як теоретиками, так і практиками. Зазвичай під час розгляду питань створення системи підтримки екологічних рішень для забезпечення екологічної безпеки держави як

системного забезпечення екологічної безпеки держави фахівці роблять наголос переважно на окремих технічних аспектах створення апаратної частини автоматизованих систем підтримки прийняття рішень. Однак питання створення наукових основ розробки системи підтримки екологічних рішень для забезпечення екологічної безпеки держави потребують удосконалення. Тому актуальним варто вважати питання створення системи підтримки інформаційних екологічних рішень з позиції системного підходу. Отже, «інформаційні екологічні рішення» потребують детального опрацювання саме з позицій системного підходу.

Мета статті – формалізація наукових основ створення системи підтримки екологічних рішень для забезпечення екологічної безпеки держави.

Результати дослідження. Впровадження системного підходу щодо створення системи підтримки екологічних рішень для забезпечення екологічної безпеки держави пропонується здійснювати шляхом послідовного розв'язання таких наукових завдань: обґрунтувати системні заходи боротьби й запобігання «екологічному тероризму» й техногенних катастроф; розробити наукові основи створення системи підтримки екологічних рішень для забезпечення екологічної безпеки держави; синтезувати систему контролю та аналізу екологічної обстановки з використанням аерокосмічних технологій.

1. Системні заходи боротьби й запобігання «екологічному тероризму» й техногенних катастроф

Проведений аналіз свідчить, що засоби, форми й способи здійснення терору еволюціонували разом із розвитком засобів фізичного знищення. Йдеться не тільки про збільшення кількісних показників (від погроз і розправ з окремими особистостями до знищення тисяч осіб). З'являються дедалі нові засоби реалізації політики залякування та придушення супротивника із застосуванням фізичних, хімічних, радіаційних, біологічних засобів впливу, розробляються пучкова, лазерна й інші види зброї.

Дії терористів можливі в різноманітних середовищах (море, суходіл, повітря, космос). Водночас необхідно зважати й на те, що географія терористичної діяльності може бути досить масштабною та стати загрозою екологічній безпеці не лише будь-якої окремої держави, а також і всесвіту.

Екологічний тероризм – новий вид високотехнологічного тероризму, спрямований на навколишнє природне середовище й техногенно небезпечні об'єкти (критичної інфраструктури), посягання на життя та здоров'я громадян та об'єкти державного й міжнародного господарства. Мета екологічного тероризму – дестабілізація обстановки в країні, регіоні, світі; знищення людей, забруднення довкілля [12; 17].

Натепер немає чіткого визначення «екологічного тероризму». Також відсутнє в науковій літературі розмежування понять «екологічний тероризм»

і «екологічний активізм (радикалізм)» («ecological terrorism» і «environmental terrorism»). Отже, «екологічний тероризм» – це злочин, спрямований на забруднення або знищення довкілля, а екологічний активізм (радикалізм) – діяльність активістів екологічних організацій і рухів, спрямована на захист довкілля. «Екологічний тероризм» – незаконне або умисне заподіяння значної шкоди навколишньому природному середовищу з метою залякування населення або примусу уряду або міжнародної організації до здійснення будь-яких дій або утримання від їх вчинення; скоєння терористичних дій за допомогою впливу на довкілля.

Слід враховувати, що «екологічний тероризм» має дві основні форми: він є одночасно посяганням на життя та здоров'я громадян, а також на об'єкти державного й міжнародного господарства.

Сучасний рівень науково-технічного прогресу зумовлює акцентувати увагу на таких формах (системних чинниках) екологічного тероризму: «біологічний тероризм», «хімічний тероризм», «радіаційний тероризм», «техногенний тероризм», «природний тероризм», «сільськогосподарський тероризм».

«Біологічний тероризм» проявляється в залякуванні незаконним використанням бактеріологічної зброї або її компонентів, патогенних мікроорганізмів. Використання біологічних засобів ведення війни (бактерій, вірусів, грибків, токсинів або речовин, вироблених цими організмами) проти населення з метою загрози життю або знищення максимальної кількості людей. Десятки різних біологічних агентів можна використовувати для виробництва біологічної зброї.

«Хімічний тероризм» – залякуванні незаконним використанням хімічної зброї або її компонентів, високотоксичних хімічних речовин для створення загрози життю населення. «Хімічний тероризм» – нова загроза безпеці людства, масштаби якої можуть значно перевищити наслідки від застосування найсучаснішої вогнепальної зброї.

«Радіаційний тероризм» – залякування незаконним використанням ядерної зброї або її компонентів, ядерних, радіоактивних речовин. До одного із чинників, що викликають найбільше занепокоєння, належить таке негативне явище, як незаконний обіг ядерно-радіаційних-матеріалів і джерел іонізуючого випромінювання.

«Технологічний тероризм» – це різновид тероризму, спрямований на залякування руйнування або погіршення умов функціонування та працездатності техногенно-небезпечних об'єктів, об'єктів критичної інфраструктури. Під «техногенним тероризмом» розуміють дві групи злочинів терористичного характеру: по-перше, це дії, скоєні із застосуванням нових технічних засобів; по-друге, це дії, спрямовані проти особливо небезпечних об'єктів та об'єктів життєзабезпечення, руйнування яких призводить до тяжких

наслідків, які супроводжуються масовою загибеллю населення та забрудненням територій. У широкому розумінні «техногенний тероризм» можна визначити як сукупність інноваційних способів здійснення терористичних дій шляхом виведення з ладу, руйнування або захоплення ядерних, хімічних чи інших об'єктів, систем життєзабезпечення міст і промислових центрів гідротехнічних споруд.

«Природний тероризм» спрямований на досягнення політичних, економічних та інших цілей шляхом залякування руйнування об'єктів природно-заповідного фонду, забруднення водного середовища, ґрунтів та атмосферного повітря, знищення ландшафтів і біорізноманіття.

«Сільськогосподарський тероризм» може також розглядатися як форма екологічного тероризму. Забезпечення держави продовольством – це життєзабезпечення нації. Безперервне виробництво харчових продуктів — це забезпечення стабільності для сучасних суспільств. З огляду на те, що більшість країн світу імпортують харчові продукти, будь-яке зменшення сільськогосподарського виробництва й тваринництва може призвести до погіршення харчування, недоїдання та голоду. Ці фактори своєю чергою можуть створити передумови для суспільного невдоволення та заворушень. Отже, «сільськогосподарський тероризм» спрямований на порушення стабільності забезпечення виробництва продуктів харчування, зниження сільськогосподарського виробництва й тваринництва з метою погіршення харчування людей, недоїдання та голоду.

Пропонуються такі системні заходи щодо попередження екологічних ризиків і боротьби з «екологічним тероризмом»: удосконалення законодавчої бази; інформаційне забезпечення; співпраця з міжнародними організаціями; розробка й застосування системних технологій у боротьбі з екологічним тероризмом; державне управління ризиками екологічних загроз, «екологічного тероризму»; профілактика (системне прогнозування) «екологічного тероризму»; взаємодія органів влади й громадськості.

Системні технології боротьби з екологічним тероризмом передбачають:

- попередження; блокування «екологічного тероризму» на початковій стадії та недопущення його становлення та розвитку структур;

- недопущення ідеологічного виправдання екологічного тероризму під гаслами: «захист природи», «захист нації» та тому подібне; розкриття сутності тероризму всіма можливими інструментами, і особливо засобами масової інформації;

- залучення до антитерористичної діяльності досвідчених спеціалістів спецслужб.

Державне управління ризиками екологічних загроз, «екологічного тероризму» ґрунтується на застосуванні системного підходу.

Перехід на систему аналізу й управління ризиками «екологічного тероризму», на наш погляд, має

стати пріоритетним завданням у діяльності громадських організацій, основою забезпечення гарантованого рівня безпеки громадянина, суспільства, держави. Основними напрямками діяльності громадських організацій у протидії «екологічному тероризму» є:

- участь у формуванні нормативно-правової бази з техногенної, природної та екологічної безпеки на основі єдиних принципів управління ризиками й гармонізація її з вимогами Європейського Союзу;

- участь у запровадженні нормування техногенних, природних та екологічних ризиків, розробка рекомендацій щодо застосування відповідних норм у механізмах державного регулювання техногенної та природної безпеки;

- розширення сфери досліджень і розробок методів, моделей, методик аналізу й оцінювання ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного й природного характеру, прогнозування їхнього розвитку;

- розвиток загальної технології управління техногенною, природною та екологічною безпекою на основі ризикоорієнтованого підходу;

- формування рекомендацій щодо вдосконалення системи моніторингу небезпечних техногенних об'єктів і природних процесів у напрямку забезпечення інформаційної бази для оцінювання ризиків екологічного тероризму й надзвичайних ситуацій;

- розвиток наукових засад розроблення державних програм соціально-економічного розвитку з урахуванням показників ризику екологічного тероризму, екологічних аварій і катастроф;

- участь у впровадженні нових дієвих форм аналізу, оцінки, експертизи й контролю безпеки небезпечних техногенних об'єктів на всіх етапах життєвого циклу;

- співробітництво з міжнародними громадськими організаціями з питань регулювання техногенної та природної безпеки;

- формування рекомендацій щодо вдосконалення системи освіти, забезпечення підготовки фахівців у галузі управління ризиками надзвичайних ситуацій техногенного й природного характеру.

Профілактика (системне прогнозування) «екологічного тероризму» – єдиний засіб попередження злочинності. Тож і пріоритетність у боротьбі з «екологічним тероризмом» належить саме профілактичній діяльності. Необхідно консолідувати різні громадські течії для підтримки глобальної стратегії з протидії «екологічному тероризму» й екстремізму, створити багатофункціональну систему антитерористичних дій. Така система повинна передбачати оптимальне використання інтелектуального потенціалу нації, людського фактору країни і його мобілізацію для розв'язання проблем боротьби з екологічним тероризмом.

Взаємодія органів влади й громадськості передбачає, що цивілізоване співвідношення державної

та недержавної систем має бути основою для розвитку й функціонування всієї системи національної безпеки, тобто забезпечувати можливості повнішої реалізації національних інтересів країни. Саме така збалансована архітектура дає змогу для гармонійного розвитку, інтеграції та широкомасштабної реалізації інтересів особистості, суспільства й держави.

Отже, боротьба з «екологічним тероризмом» – це діяльність щодо запобігання, виявлення, припинення, мінімізації наслідків терористичної діяльності.

2. Наукові основи створення системи підтримки екологічних рішень для забезпечення екологічної безпеки держави

Наукові основи створення системи підтримки екологічних рішень для забезпечення екологічної безпеки держави ґрунтуються на застосуванні таких методологічно-теоретичних складових частин:

- оцінювання екологічних загроз і ризиків регіону з використанням системи підтримки екологічних рішень та експертних оцінок;

- удосконалення систем управління екологічною безпекою шляхом створення системи підтримки екологічних рішень із застосуванням безпілотних літальних апаратів та аерокосмічних технологій;

- провадження безпілотних апаратів екологічного спостереження та застосування космічних засобів.

2.1. Методологія оцінювання екологічних загроз і ризиків регіону з використанням системи підтримки екологічних рішень та експертних оцінок

Методологія оцінювання екологічних загроз і ризиків регіону з використанням системи підтримки екологічних рішень та експертних оцінок має такі наукові складові частини:

- обґрунтування необхідності оцінювання екологічного ризику регіону з використанням аерокосмічних технологій та експертних оцінок (аналіз концепцій побудови систем екологічного моніторингу; аналіз використання космічних комплексів у системі екологічного моніторингу; аналітичний огляд основних етапів обробки космічних знімків і принципи побудови рубрикатора завдань екологічного моніторингу);

- системний аналіз сучасних інформаційних технологій оцінки стану довкілля з використанням аерокосмічних комплексів (аналіз особливостей побудови систем екологічного моніторингу довкілля з використанням аерокосмічних технологій; оцінка наявних інформаційних технологій обробки даних космічних зйомок під час здійснення екологічного моніторингу; специфіка завдань екологічного моніторингу, що розв'язуються з використанням аерокосмічних технологій; обґрунтування експертної екологічної системи для діагностики й оцінки стану довкілля; ідентифікація загроз техногенній і природній безпеці регіонів; визначення комплексного

показника потенційної небезпеки регіонів щодо техногенних і природних надзвичайних ситуацій);

- розробка методики екологічного оцінювання довкілля для прогнозування екологічних загроз і ризиків із використанням системного підходу (технологія здійснювання екологічного оцінювання процесів на основі системного підходу; технологія оцінювання екологічних ризиків системи; методика здійснення екологічного оцінювання вегетаційної ділянки; методика вибору розташування місця будівництва екологічно небезпечного об'єкту на основі системного підходу; методика системного прогнозування наслідків вилу (викиду) небезпечних речовин під час аварій на промислових об'єктах і транспорті; методика оцінювання ризику ураження населення небезпечними речовинами через аварії на об'єктах підвищеної небезпеки);

- розробка методики управління екологічною безпекою за допомогою системи екологічного моніторингу (розробка структури системи управління безпекою та ризиками; обґрунтування принципів управління та нормування екологічних ризиків; формування механізмів регулювання екологічної безпеки техногенних об'єктів і навколишнього природного середовища; оптимізація управлінських рішень щодо запобігання екологічним аваріям і надзвичайним екологічним ситуаціям; розв'язання задач оптимальних витрат на управління екологічним ризиком надзвичайних ситуацій; планування заходів забезпечення екологічної безпеки в системі екологічного моніторингу);

- оцінка ефективності застосування систем екологічного управління природними й техногенно небезпечними об'єктами (оцінка ефективності застосування наявної системи екологічного моніторингу з використанням методів дистанційного зондування Землі для контролю екологічного й технічного стану водних технооекосистем; оцінка ефективності застосування регіональної системи комплексного моніторингу довкілля регіонів; оцінка ефективності основних проектних рішень по системам комплексного моніторингу довкілля локального (міського) рівня; аналіз досвіду створення об'єктових систем комплексного моніторингу довкілля регіонів; оцінка ефективності застосування геоінформаційної системи державного моніторингу довкілля регіонів; аналіз ефективності застосування регіональних підсистем збереження, оброблення та контролю даних водообліку на основі мережевих технологій).

2.2. Методологія удосконалення систем управління екологічною безпекою шляхом створення системи підтримки екологічних рішень із застосуванням безпілотних літальних апаратів та аерокосмічних технологій

Методологія удосконалення систем управління екологічною безпекою шляхом створення системи підтримки екологічних рішень із застосуванням без-

пілотних літальних апаратів та аерокосмічних технологій має такі наукові складові частини:

– аналіз сучасного стану управління екологічною безпекою під час поведження з небезпечними речовинами (аналіз сучасних систем спостереження за станом територій із небезпечними речовинами; визначення можливостей застосування системного підходу до синтезу управлінських рішень із метою модернізації системи природокористування України; аналіз підходів до комплексної екологічної оцінки територій з урахуванням постійного й аварійного екологічних ризиків; аналітична оцінка можливості безпілотних літальних апаратів під час екологічного моніторингу за станом поведження з небезпечними речовинами);

– розробка моделей використання аерокосмічних технологій для екологічного моніторингу за станом поведження з небезпечними речовинами (синтез моделей використання аерокосмічних технологій для моніторингу за станом поведження з небезпечними речовинами; розробка моделі з обліку ергатичних процесів під час управління польотом групи дистанційно пілотованих літальних апаратів в Державній системі екологічного моніторингу; синтез методики розрахунку радіозв'язку з безпілотними літальними апаратами під час екологічного моніторингу);

– удосконалення науково-методичного апарату для синтезу системи управління екологічною безпекою під час поведження з небезпечними речовинами з використанням моніторингової інформації дистанційно пілотованих літальних апаратів (формалізація задачі статистичного оцінювання надзвичайних екологічних ситуацій техногенного характеру під час поведження з небезпечними речовинами; розробки методики оцінки екологічного ризику під час поведження з небезпечними речовинами; розробка методики експертного оцінювання характеристик аварійного ризику під час поведження з небезпечними речовинами з використанням моніторингової інформації; синтез управлінського інформаційного рішення в системі управління екологічною безпекою);

– прогнозування надзвичайних ситуацій щодо зменшення екологічних загроз та оцінювання ризиків з застосуванням безпілотних літальних апаратів (розробка методики прогнозування надзвичайних ситуацій, викликаних техногенними аваріями й катастрофами з використанням безпілотних літальних апаратів; оцінка ефективності виявлення екологічної небезпеки й зменшення екологічних загроз; побудова інформаційно-аналітичної системи оцінювання ризиків життєдіяльності й екологічної та природно-техногенної безпеки).

2.3. Методологія провадження безпілотних апаратів екологічного спостереження та застосування космічних засобів

Методологія провадження безпілотних апаратів екологічного спостереження та застосування космічних засобів має такі наукові складові частини:

– аналіз наявних тренажерних комплексів для підвищення ефективності підготовки операторів дистанційно пілотованих літальних апаратів (аналіз структури тренажерного комплексу та його алгоритмічного забезпечення під час управління польотом дистанційно пілотованого літального апарата (далі – ДПЛА) екологічного спостереження; врахування особливостей вимог до тренажерного комплексу управління польотом ДПЛА екологічного спостереження; обґрунтування критеріїв ефективності навчання на тренажері ДПЛА екологічного спостереження; визначення шляхів і напрямків підвищення якості підготовки операторів дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного спостереження);

– розробка науково-методичного апарату синтезу тренажерного контуру навчання для керування безпілотного апарату на основі розв'язання зворотних задач динаміки (врахування особливостей ДПЛА під час синтезу тренажерного комплексу екологічного спостереження; синтез математичних моделей дистанційно пілотованих літальних апаратів та особливості визначення їх параметрів; синтез системи стабілізації руху ДПЛА на програмних траєкторіях; оцінка якості процесу керування з алгоритмом на основі розв'язання зворотних задач динаміки; синтез програмного комплексу тренажера ДПЛА із заданими динамічними властивостями; оцінка ефективності алгоритму стабілізації ДПЛА на програмній траєкторії з алгоритмом на основі розв'язання зворотних задач динаміки);

– розробка методики проведення екологічного спостереження об'єктів критичної інфраструктури на тренажері ДПЛА екологічного спостереження (розробка технології інтелектуального розвантаження оператора тренажера ДПЛА під час проведення екологічного спостереження об'єктів критичної інфраструктури; формалізація задачі побудови оператором оптимальних маршрутів руху ДПЛА для проведення екологічного спостереження декількох об'єктів в одному польоті; синтез алгоритмів системи директорного керування для оператора ДПЛА екологічного спостереження; реалізація алгоритму системи директорного керування на тренажері ДПЛА екологічного спостереження);

– імітаційне моделювання та оцінка ефективності підготовки операторів ДПЛА екологічного спостереження (розробка моделі тренажерного комплексу для професійної підготовки операторів ДПЛА екологічного спостереження; визначення складу тренажерного комплексу для професійної підготовки операторів ДПЛА екологічного спостереження; проведення імітаційного моделювання та оцінювання якості підготовки оператора ДПЛА на тренажерному комплексі екологічного спостереження; розробка науково-методичного апарату підготовки операторів ДПЛА екологічного спостереження до дій у нештатних ситуаціях; оцінка

ефективності прийнятого рішення та часу реакції оператора дистанційно пілотованого літального апарату під час виникнення нештатної ситуації).

3. Система контролю та аналізу екологічної обстановки з використанням аерокосмічних технологій

Зважаючи на постійну зміну довкілля під дією антропогенного впливу, промислових об'єктів, а також зміною параметрів атмосфери Землі, є необхідність достовірного виконання завдань екологічного прогнозування та екологічної безпеки на основі застосування екологічного моніторингу з використанням дистанційно пілотованих літальних апаратів і космічних систем спостереження.

Світовий досвід засвідчив, що для підвищення якості, достовірності, оперативності, комплексності й ефективності системи моніторингу довкілля необхідно поєднувати сучасні інноваційні засоби й технології:

- автоматизовані й автоматичні вимірювальні системи;
- аерокосмічні дослідження з використанням як супутників, так і літаків і безпілотних літальних апаратів;
- системи автоматизованої обробки даних дистанційного зондування Землі;
- геоінформаційні аналітичні системи для обробки інформації з урахуванням закономірностей її зміни й у часі, й у просторі;
- комплексні багаторівневі системи моніторингу й контролю стану довкілля, які забезпечуватимуть інтегрування та комплексний аналіз даних про стан усіх складових частин довкілля як окремих регіонів, так і усієї країни в цілому з можливістю обміну даними з аналогічними міжнародними системами моніторингу;
- методи й технології аналізу даних моніторингу довкілля та визначення рівня техногенної та екологічної безпеки й інше.

Розширення можливостей екологічного моніторингу можна здійснювати завдяки вдосконаленню науково-методичного апарату оцінки стану зон екологічного ризику на основі методів ранжирування екологічних показників і багатокритерійної оцінки екологічної безпеки екосистеми.

Досвід останніх десятиліть засвідчує, що для забезпечення екологічної безпеки держави важливим є наявність оперативних і достовірних даних із загального інформаційного середовища про стан довкілля, використання яких після спеціальної обробки дозволяє прийняти виважені рішення на рівні керівництва держави й керівництва державних структур для ефективного розв'язання завдань в інтересах національної безпеки держави. Однією із складових частин загального інформаційного простору є інформація, що отримується за підсумками ведення моніторингу (спостереження) навколишнього природного середовища. Згідно з Концепцією

загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на 2018–2022 рр., підвищення рівня інформатизації в державних органах, що здійснюють повноваження у сфері національної безпеки й оборони, особливо під час виконання оперативних завдань, передбачається досягти й завдяки контролю та аналізу космічної обстановки.

Система контролю та аналізу екологічної обстановки (далі – СКАЕО) є джерелом стратегічної екологічної інформації та одним з елементів забезпечення екологічної безпеки як складової частини національної безпеки. Оперативна й точна об'єктивна інформація про стан і зміну екологічної обстановки необхідна для розв'язання низки відповідних екологічних завдань.

Якість розв'язання екологічних завдань як складова частина системи підтримки прийняття екологічних рішень керівництвом держави, що забезпечує моніторингову інформацію стратегічного рівня про райони можливих екологічних катаклізмів і техногенних аварій і катастроф, їхній стан і прогноз динаміки розвитку, безпосередньо впливає на рівень екологічної безпеки держави в галузі захисту довкілля та природних ресурсів.

Результати аналізу моніторингу довкілля дозволяють зробити оцінку екологічного стану й пріоритетів екологічної діяльності. Усі визначені екологічні завдання потребують каталогізації (рубрикації), а також точного знання та прогнозування екологічних параметрів довкілля, а саме здійснення екологічного моніторингу довкілля та техногенно небезпечних об'єктів.

Таким чином, протиріччя, що з'явилося внаслідок сучасних екологічних загроз, міститься в невідповідності між наявними методами, процесами й програмно-математичними засобами, інтегрованими з метою збирання, опрацювання, зберігання та використання екологічної інформації про стан довкілля та об'єктів критичної інфраструктури, й сучасними вимогами до розв'язання завдань в екологічному секторі національної безпеки України. Тому є перспективним підвищення рівня екологічного інформаційного забезпечення структур, що відповідають за стан екологічної безпеки держави, в галузі екології та природних ресурсів шляхом створення Системи контролю та аналізу екологічної обстановки в Україні.

На часі – розробка науково-теоретичних і методологічних засад, конструктивних і технологічних рішень, що базуються на багаторічному досвіді вітчизняних вчених, конструкторів і фахівців у галузі аерокосмічних технологій, результатах співпраці з провідними закладами в екологічній галузі України й сучасному досвіді зарубіжних країн. СКАЕО може стати стратегічною інформаційно-екологічною системою, завдання якої – забезпечення керівництва держави, центральних органів виконавчої влади й силових структур України оперативною екологічною інформацією про стан екологічної обстановки в регіонах України та її зміни в інтересах національної

безпеки й оборони України. Впровадження запропонованого підходу дозволить підвищити ефективність розв'язання завдань сектору безпеки й оборони України керівництвом держави й органами виконавчої влади в галузі екології та природних ресурсів.

Зважаючи на наявність загроз критичним об'єктам інфраструктури держави (греблі гідроелектростанцій, хімічні заводи, атомні електростанції, сховища ядерних відходів тощо), важливо подбати про вчасне попередження про ймовірні екологічні катастрофічні наслідки. Складовими частинами СКАЕО можуть бути: Центр контролю екологічної обстановки; спеціалізовані засоби екологічного спостереження; система зв'язку й передачі екологічних даних; комплекс захисту інформації, що містить інформацію з обмеженим доступом. Загальний контроль щодо функціонування та розвитку СКАЕО покладатися на системного еколога СКАЕО.

Загальну структуру СКАЕО з використанням космічних систем наведено на рис. 1.

Результати наукових досліджень засвідчують, що рівень їх впровадження під час створення СКАЕО відповідає світовим аналогам, якими є Система контролю космічного простору США (СККП, US SSN – Space Surveillance Network).

Висновки й перспективи подальших досліджень. У роботі запропоновано системний підхід щодо створення системи підтримки екологічних рішень для забезпечення екологічної безпеки держави. Системний підхід передбачає створення та застосування нових науково-практичних підходів: методологія оцінювання екологічних загроз і ризиків регіону з використанням системи підтримки екологічних рішень та експертних оцінок; методологія удосконалення систем управління екологічною безпекою шляхом створення системи підтримки екологічних рішень із застосуванням безпілотних літальних апаратів та аерокосмічних технологій; методологія провадження безпілотних апаратів екологічного спостереження та застосування космічних засобів.

За підсумками проведених теоретичних і прикладних досліджень формалізовано важливе науково-практичне завдання – створення системи екологічного моніторингу на основі комплектування космічних, повітряних і таких, що рухаються, наземних комплексів. Розв'язання поставленої наукової задачі дозволяє підвищити вірогідність та інформаційні можливості систем екологічного моніторингу для визначення зон еко-

логічних загроз і ризиків на основі використання комплексів оцінки екологічного стану регіону із застосуванням геоінформаційних та аерокосмічних технологій. Аналіз наявного науково-методичного апарату оцінки параметрів екологічного моніторингу показав його недосконалість без системного використання екологічної інформації космічних, повітряних, наземних комплексів, які дозволяють підвищити якість проведення екологічного моніторингу, визначити зони екологічних ризиків. Наявні системи моніторингу довкілля та техногенних екологічно небезпечних об'єктів не дозволяють визначити зміну зон екологічного ризику для оцінки екологічної безпеки екосистем. На основі узагальнення питань підвищення ефективності функціонування екологічного моніторингу шляхом застосування системи контролю екологічної обстановки запропоновано нове розв'язання наукової задачі, яке полягає в удосконаленні методики, пов'язаної з побудовою зон екологічного ризику під час багатокритерійної оцінки екологічної безпеки екосистем. Отримані результати інноваційних впроваджень по створенню системи екологічного моніторингу з використанням аерокосмічних технологій впроваджені й мають практичний характер, що дає змогу не лише поповнити



Рис. 1. Загальна структура СКАЕО

знання теоретичного характеру, але й реалізувати їх на практиці. Адекватність вдосконаленої методики синтезу системи мобільного екологічного моніторингу й правдивість отриманих результатів забезпечена коректною постановкою наукового завдання, використанням апробованих методів аналізу й синтезу складних систем, теорії екологічного моніторингу, обґрунтованим вибором обмежень

і допущень, а також збігом результатів дослідження з результатами під час апробації під час обговорення отриманих результатів на науково-практичних конференціях.

Результати досліджень можуть бути використані в державній системі екологічного моніторингу, а також для визначення зон екологічного ризику під час проведення оцінок екологічної безпеки екосистем.

Література

1. Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики на період до 2020 року : Закон України 21 грудня 2010 р. № 2818-VI / Верховна Рада України. URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2818-17>.
2. Про боротьбу з тероризмом : Закон України від 20 березня 2003 р. № 638 – IV / Верховна Рада України. *Відомості Верховної Ради України*. 2019. 2003. Випуск 3–4 (23–24). № 25. Ст. 180. URL: zakon.rada.gov.ua/laws/show/638-15.
3. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року : Закон України від 28.02.2019 р. № 2697-VIII / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text>.
4. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2015 році. Київ : Міністерство екології та природних ресурсів України, ФОР Грінв Д.С., 2017. 308 с.
5. Про національну безпеку України : Закон України від 15 березня 2020 р. № 2469-VIII / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2469-19#Text>.
6. Про національну безпеку України : Закон України від 15 березня 2020 р. № 2469-VIII / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2469-19#Text>.
7. Білявський Г.О., Фурдуй Р.С., Костіков І.Ю. Основи екології. Київ : Либідь, 2005. 408 с.
8. Боголюбов В.М., Клименко М.О. Моніторинг довкілля : підручник / за ред. В.М. Боголюбова і Т.А. Сафранова. Херсон : Грінв Д.С., 2016. 530 с.
9. Бондар О.І., Машков О.А., Абідов С.Т. Системний аналіз небезпеки у зоні проведення антитерористичної операції на сході України: біосферні конфлікти та транскордонне забруднення. *Екологічні науки* : науково-практичний журнал. Київ : ДЕА, 2015. № 9. С. 5–26.
10. Бондар О.І., Машков О.А., Міхеев В.С. Системний підхід щодо оцінювання екологічного впливу авіаційної техніки на стан довкілля. *Екологічні науки* : науково-практичний журнал. 2020. № 1 (28). С. 191–200.
11. Іванюта С.П. Екологічна безпека регіонів України. *Стратегічні пріоритети*. 2013. № 3 (28). С. 157–164.
12. Каменева І.П., Артемчук В.А., Яцишин А.В. Модели представления и преобразования данных в задачах экологического мониторинга урбанизированных территорий. *Электронное моделирование*. 2016. № 2. С. 49–66.
13. Крутов В.В. Концептуальні аспекти проблеми протидії тероризмові в Україні. *Розбудова держави*. 2002. № 1–8. С. 17–27.
14. Машков О.А., Васильев В.Э., Фролов В.Ф. Методы и технические средства экологического мониторинга. *Екологічні науки* : науково-практичний журнал. 2014. № 1 (5). Київ : ДЕА, 2014. С. 57–67.
15. Машков О.А., Качалин И.Г., Сеницкий Р.Н. Проектирование и разработка автоматизированной системы сбора и обработки геофизической информации. *Збірник наукових праць*. Інститут проблем моделювання в енергетиці. Вип. 29. Київ, 2005. С. 57–64.
16. Моніторинг і методи вимірювання параметрів навколишнього середовища : навчальний посібник / В.М. Ісаєнко, Г.В. Лисиченко. Київ : Вид-во Нац. авіа. ун-ту «НАУ-друку», 2016. 312 с.
17. Настасенко О.Г., Бондар О.І., Машков О.А. Системний підхід щодо ліквідації екологічної катастрофи у зоні антитерористичної операції. *Екологічні науки* : науково-практичний журнал. Київ : ДЕА, 2014. № 6. С. 5–20.
18. Машков О.А., Мамчур Ю.В. Загроза національній безпеці: екологічний тероризм, як сучасний виклик суспільству. *Науковий часопис: Академія національної безпеки*. 2018. № 1 (17). С. 8–21.
19. Нижник Н.Р., Машков О.А. Системний підхід в організації державного управління. Київ : УАДУ при Президентіві України, 1998, 160 с.
20. Пічугін М.Ф., Машков О.А., Сашук І.М., Кирилук В.А. Обробка геофізичних сигналів у сучасних автоматизованих комплексах. Житомир : вид. ЖВІРЕ, 2006. 176 с.
21. Попов М.О. Інтеграція геоінформаційних, космічних та Інтернет-технологій – основа об'єктивної, оперативної та вірогідної інформації про Землю. *Геоінформатика*. 2004. № 4. С. 63–69.
22. Романченко І.С. Інформатизація системи екологічного моніторингу в Збройних Силах України / І.С. Романченко, А.І. Сбітнев, С.М. Чумаченко. *Наука і оборона*. 2005. № 4. С. 36–44.
23. Тероризм: теоретико-прикладні аспекти : навчальний посібник / кол. авт.; за заг. ред. проф. В. К. Грищука. Львів : ЛьвДУВС, 2011. 328 с.
24. Яцишин А.В., Попов О.О., Артемчук В.О., Ковач В.О., Зінов'єва І.С., Автоматизовані інформаційні системи підтримки прийняття управлінських рішень у галузі екологічної безпеки. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2019. Том 72. № 4. С. 286–305.

ANALYSIS OF THE STABILITY OF WOODY PLANT SPECIES OF URBAN ECOSYSTEM OF ZHYTOMYR

Herasymchuk O.L., Korbut M.B., Kotsiuba I.H.

Zhytomyr Polytechnic State University

103, Chudnivska str., 10005, Zhytomyr

olena_1409@ukr.net, korbutmari81@gmail.com, chaszmin30@gmail.com

The article examines the features of woody plant species, their adaptation to the action of stress abiotic factors. The urban environment has a negative impact on the living conditions of plants, which is noted for their phytomeliorative and decorative role. Such conditions, although they do not cause massive visual damage, but speed up and shorten the life cycle, cause premature weakening, aging and loss of species phytodiversity of planting. The paper investigates the stability of woody species in an urbanized ecosystem on the example of the city of Zhytomyr. The authors study the environmental and phytomeliorative role of plantings in the conditions of technogenic load, in particular, road pollution. The main types of woody plants that predominate in the city's plantings are established. Plants of the *Tilia L.* genus prevailed within species diversity; their representatives are effective woody species in terms of resistance to gas and dust emissions, SO₂ absorption, and dust absorption. However, the aesthetic appearance of Linden trees is worsened due to an increase in phytopathological load on the general condition and vital activity of plants owing to incorrect tree pruning. It is shown that in conditions of deep anti-aging pruning, the resistance of plants to the main anthropogenic pollutants decreases, while the number of plants affected by diseases and pests increases. It was found that in urban plantations, the effectiveness of the use of the studied plant species increases with plant age raising and with the use of sanitary trimming. The studied plant species are sensitive to anthropogenic load, therefore, they are effective as indicators of the state of the environment.

Creation of protective plantings is most expedient on the basis of studying of ecological plasticity of species of woody plants. The research results allow us to reveal new aspects of the use of woody plant species in urban landscaping. *Key words:* stability, adaptation, woody plant species, technogenic pollution, chlorosis, necrosis.

Аналіз стійкості деревних видів рослин урбоєкосистеми м. Житомира. Герасимчук О.Л., Корбут М.Б., Коцюба І.Г.

У статті досліджено особливості деревних видів рослин, їхню адаптацію до дії стресових абіотичних факторів. Урбанізоване середовище має негативний вплив на життєвий стан рослин, що відзначається на їхній фітомеліоративній і декоративній ролі. Такі умови хоч і не спричиняють масових візуальних ушкоджень, але пришвидшують і скорочують життєвий цикл, зумовлюють передчасне ослаблення, старіння та втрати видового фіторізноманіття насаджень. Проаналізовано стійкість деревних порід в умовах урбанізованої екосистеми на прикладі міста Житомира. Вивчено середовищеутворювальну й фітомеліоративну роль насаджень в умовах техногенного навантаження, зокрема автотранспортного забруднення. Встановлено основні види деревних рослин, що переважають у насадженнях міста. За видовим різноманіттям переважали рослини роду *Tilia L.*, представники якого є ефективними деревними породами за показниками стійкості до газопилових викидів, поглинання SO₂ і поглинання пилу. Однак естетичний вигляд дерев липи серцелистої погіршений у зв'язку зі збільшенням фітопатологічного навантаження на загальний стан і життєдіяльність рослин внаслідок некоректного кронування. Показано, що в умовах глибокого омолоджувального обрізування стійкість рослин до головних антропогенних забруднювачів знижується, водночас зростає кількість рослин, уражених хворобами й шкідниками. З'ясовано, що в умовах міських насаджень ефективність використання досліджених видів рослин зростає зі збільшенням віку рослин і під час застосування санітарного обрізання. Досліджувані види рослин є чутливими до антропогенного навантаження, отже ефективні як індикатори стану довкілля.

Створення захисних насаджень найдоцільніше на основі вивчення екологічної пластичності видів деревних рослин. Результати досліджень дозволяють розкрити нові аспекти використання деревних видів рослин в озелененні урбанізованих територій. *Ключові слова:* стійкість, адаптація, деревні види рослин, техногенне забруднення, хлороз, некроз.

Problem statement. Urban development of territories leads to the creation of new negative climatic conditions, and at the same time leads to a decrease in the functioning of urban tree plantations. At the same time, green spaces play an important sanitary and hygienic role, in particular in maintaining a constant air composition. It is the vegetation that makes the urban ecosystem a full-fledged ecosystem, and the presence of a network of green spaces in the city becomes a precondition for human survival.

However, not all types of woody plants have the same ability to adapt to the dynamics of a constant increase in anthropogenic load. There is a need to study the resistance of woody species to environmental pollution.

Topicality. Significant changes in climatic conditions are undoubtedly associated with the growth of the share of urbanized areas. A powerful natural factor to counteract the negative effects of urbanization and man-made pollution is woody species of plants that are actively used in greenery. At the same time, urbanic factors create a significant load on the life span of plants. This is especially acute in conditions of dense urban development and a constant increase in the number of road transport.

Analysis of recent research and publications. Now researchers pay considerable attention to the study of the role of green spaces in the optimization of anthropogenically transformed territories (H.H. Derevianska) [1]. S.O. Volodarets, O.Z. Hlukhov studied in their

works the issues of phytoncid activity of woody plants in an urbanized environment [2; 3]. The dust-retaining ability of layered wood plates was studied by M.V. Nemchenko, T.F. Stelmakhova [4; 5].

Connection of the authors' contribution with important scientific and practical tasks. The main pollutants of atmospheric air in the city are road transport, the number of which increases annually, and various types of production. The compounds of sulfur and nitrogen are the most dangerous for plant, and cause lesions of the assimilation apparatus, manifested in the form of necrosis and chlorosis of different types. In addition, the action of toxic substances can be manifested in a decrease in the intensity of plant life and productivity, without the appearance of external signs.

The influence of xenobiotics on the condition of tree species of plants has been considered in the works of domestic and foreign researchers: P.S. Hnativ, K.P. Wyche, P. Harley [6–8].

As Yu.H. Prysedskyi noted, damage to plants by pollutants depends on the effective dose and has an exponential character [9].

The article is devoted to highlighting previously unsolved parts of the common problem. The influence of pollutants on woody plant species was studied, mainly related to the action of industrial pollutants, while the main environmental pollutant in the city of Zhytomyr is motor transport, the number of which is increasing. The issue of air pollution by vehicles in dense buildings, when houses are located close to the highway is underexplored. At the same time, the insufficient number of parking lots factors into increasing the number of vehicles that are parked on the road, which raises the number of traffic jams, and therefore creates an additional load on green plants.

The aim of our research is to establish the dependence of damage to woody species of plants on the level of congestion of streets by road transport.

The main material. Studies were carried out in the urban ecosystem of Zhytomyr, which is located within two soil-climatic zones i.e. Polissia zone in the northern part of the region and forest-steppe in the southern part.

Analysis of indicators of soil cover showed that green space grows under conditions of mostly weakly acidic and neutral (pH = 5,6–7,3) soil reaction and low humus content (1,15–2,58%). In general, urban soil is overcompacted (volume weight – 0,35–0,44 g / cm³). Soils of squares and streets are characterized by even greater density (volume weight – 1,63–1,83 g / cm³). In urban terrain there is a violation of the accumulation, distribution, microbial synthesis, humification and mineralization of primary organic matter. However, most researchers argue that for tree species, the quality of soil cover plays an important role only at a young age. Mature forms are characterized by a well-developed powerful root system, so soil quality indicators play less significant role. Indicators of air quality are more sub-

stantial for wood species of middle and mature age are. In urbanized areas, the quality of the air environment is at a low level, which is primarily due to the increase in the number of road transport.

The streets of the city according to the level of traffic load were divided into five groups: clean air, relatively clean, polluted, heavily polluted and too heavily polluted. The most polluted areas are Kyivska and Velyka Berdychivska streets, as well as the city center.

As part of the dendroflora of Zhytomyr, among the protective plantings the following representatives of the families are dominated: Tilia (32%): small-leaved linden (*Tilia cordata* Mill.), large-leaved linden (*Tilia platyphyllos* Scop.), Acer (25%): Norway maple (*Acer platanoides* L.), ash-leaved maple (*Acer negundo* L.), Betulaceae (17%): European white birch (*Betula pendula* Roth), Salicaceae (9%): black poplar (*Populus nigra* L.), pyramid poplar (*Populus pyramidalis* Borkh.), white willow (*Salix Alba* L.), Hippocastanaceae (14%) – horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.), there are 2 families, 3 species of coniferous trees, namely the Cupressaceae family – Western thuja (*Thuja occidentalis* L.) 4% of the total and the Pinaceae family – blue spruce (*Picea epungens*), common pine (*Pinus sylvestris* L.).

The objects of research were woody species of horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.), small-leaved linden (*Tilia cordata* Mill.), Norway maple (*Acer platanoides*), which are the main species represented in the landscaping of the city.

Analysis of the types of damage to the leaf of the main species of woody plants presented in landscaping of Zhytomyr showed that the most common types of damage are: necrosis 15%, chlorosis 18%, point and edge pigmentation 7%, as well as damage to infestants, in particular tinder mushrooms 9%. The most resistant is the Norway maple, while the horse chestnut was the least resistant to the main types of lesions. Small-leaved linden, which is the predominant species of woody plants in the landscaping of the streets of the city showed an average level of resistance to the main types of lesions.

Considering the fact that street plantings of Zhytomyr are represented mainly by species of the *Tilia* L. genus, which is about 32% of the total number of species, a more detailed study of the status of representatives of this genus was carried out.

The aesthetic appearance of the small-leaved linden trees degraded due to increase of phytopathological load on the overall status and life of the plant due to incorrect cutting. On street plantings the majority of plants is in unsatisfactory condition: from 329 examined individuals only 24% of trees are healthy (1–2 points) with well-developed crowns; 62% of studied trees with signs of diseases (3–4 points); 14% of trees are in strongly oppressed or dying condition (5–6 points). Among the uncut trees of small-leaved linden on the Prospekt Vyzvolennia street the distribution according to phy-

tosanitary conditions is as follows: healthy, well-developed trees – 76% (1–2 points), with minor signs of disease – 18% (3–4 points); dying – 6% (5–6 points). Necrosis of leaves and drying of branches was the most common in non-crowns of linden trees, which is associated with an increased content of sodium salts in the wells of street plantations and high anthropogenic air and soil pollution along roads, near which experimental specimens grow.

Conclusions. It is established that deep rejuvenating pruning of linden trees in Zhytomyr has a negative impact on the vital condition of trees, affects their decorative effect, accelerates the aging process and reduces the average life expectancy. Trees of the *Tilia L.* genus, which succumbed to deep pruning of the crown, are most often affected by true tinder (*Fomes fomentarius*) and scaly tinder (*Polyporus squamosus* Huds.Fr.).

In general, linden trees are less resistant to pathogens that affect weakened plants after rejuvenating pruning. Non-crown representatives of the *Tilia L.* genus in street plantings are promising and fully perform phytomeliorative and protective functions.

It was found that in the conditions of Zhytomyr, the most stable species is the Norway maple. However, this species is characterized by a large growth force and therefore it is rarely used for landscaping. Small-leaved linden, which has shown average resistance to damage when limited tree pruning is a promising way that fully performs its protective functions.

Prospects for using the research results. The research made it possible to identify the most promising types of woody plants that are suitable for use in landscape greenery of new urban residential districts. As well as to establish long-term care for existing plantings.

Bibliography

1. Derevianska H.H. Urban flora of the Donetsk – Makiivka : extended abstract of Candidate of Biology Dissertation : 03.00.05 “Botanics”. Yalta, 2014. 24 p.
2. Volodarets S.O. Phytoncid activity in connection with the content of chlorophylls in the leaves of woody plants in an urbanized environment. *Industrial botany*. 2012. No. 12. P. 167–171.
3. Hlukhov A.Z., Volodarets S.O. Phytoncidic activity of woody plants in an urbanized environment (exemplified by the city of Donetsk). *The news of Samara scientific center of the Russian Academy of Sciences*. 2013. Vol. 15. No. 3 (7). P. 2122–2125.
4. Nemchenko M.V. Dust-holding capacity of the leaves of *Catalpa bignonioides* Walt. and *Catalpa speciosa* Ward trees. in urban technogenic growth conditions. *Zaporizhzhia : ZNU*, 2008. Issue 13. No. 2. P. 29–39.
5. Stelmakhova T.F. Creating sustainable green spaces in conditions of atmospheric pollution and high recreational load. *Forestry and agroforestry: Sat. Sciences*. Kharkiv : Ukrniilkha, 2000. Issue 112. P. 232–237.
6. Hnativ P.S. Functional diagnostics in dendroecology. Lviv : Kamula, 2014. 336 p.
7. Wyche K.P., Ryan A.C., Hewitt C.N. etc. Emissions of biogenic volatile organic compounds and subsequent photochemical production of secondary organic aerosol in mesocosm studies of temperate and tropical plant species. *Atmos. Chem. Phys.* 2014. № 14. P. 12781–12801.
8. Harley P., Eller A., Guenther A., Monson R.K. Observations and models of emissions of volatile terpenoid compounds from needles of ponderosa pine trees growing in situ: control by light, temperature and stomatal conductance. *Oecologia*. 2014. № 176. P. 35–55.
9. Prysedskiy Yu.H. Characteristics of resistance of woody and shrubby plants to air pollution with sulfur, fluorine and nitrogen compound. *Bulletin of V. N. Karazin Kharkiv national University. Series: “Biology”*. 2014. No. 21. P. 162–167.

FUNCTIONAL AND ECOLOGICAL EXPERTISE (FEE) IN CHECHELNYK DISTRICT, VINNYTSIA REGION

Yermishev O.V.

Vasyl' Stus Donetsk National University
16, Yunosti Av., 21030, Vinnytsia
o.yermishev@donnu.edu.ua

The concept of functional and ecological inspection (FEE) of radiation control regions developed by us fundamentally complements the accepted forms of dosimetric and thyroid dosimetric control. The purpose of our work was to carry out the verification of radiation dependence of functional health and dosimetric certification of settlements in Chechelnyk district of Vinnytsia region with the help of FEE. 1 382 children (671 boys, 711 girls) of all ages living in the villages Bondurivka, Katashyn, Rogizka, Chervona Grebliya and town Chechelnyk in Chechelnytsk district during 1993–1996 were examined with the help of FVD method by V.G. Makats. The functional health of child population, which is becoming a “bioindicator” of individual health and characterizing the environmental dynamics of the compact living area, is in the focus of FEE attention. The ecological criterion of FEE of a particular region of the population is systemically dependent comparison of inhibition of functional activity of the organism (parasympathetic activity (PA), vegetative equilibrium (VE) and sympathetic activity (SA)). An integral characteristic of the ecological state is formed and the levels (zones) of its ecological pressure are determined on this basis. The surveyed populated areas of Bondurivka village, Katashyn village, Rogizka village, Chervona Grebliya village and the town Chechelnyk of Chechelnyk district in Vinnytsia region belong to the IV radiation control zone. Our observations have shown that functional and vegetative health of children is ecologically dependent and its indicators are the most sensitive bioindicators of radiation (environmental) pollution. Functional vegetative health of children in the surveyed populated areas of Chechelnyk district coincides with the official dosimetric certification of these areas. Monitoring of vegetative health of children should become the basis of modern functional medical examination of pediatric population and supplement state dosimetric and thyroid dosimetric certification of the populated areas. *Key words:* functional ecological inspection, ecological certification, functional health.

Функціонально-екологічна експертиза (ФЕЕ) Чечельницького району Вінницької області. Єрмішев О.В.

Розроблена концепція функціонально-екологічної експертизи регіонів радіаційного контролю принципово доповнює прийняті форми дозиметричного й тиреодозиметричного контролю. Метою роботи стало за допомогою функціонально-екологічної експертизи провести верифікацію радіаційної залежності функціонального здоров'я та дозиметричної паспортизації населених пунктів Чечельницького району Вінницької області. За допомогою функціонально-вегетативної діагностики за методом В.Г. Макаца нами було обстежено 1 382 дитини різного віку, що проживають у с. Бандурівка, с. Каташин, с. Рогізка, с. Червона гребля та смт Чечельник Чечельницького району протягом 1993–1996 років, з яких 671 хлопця та 711 дівчат. У центрі уваги функціонально-екологічної експертизи є функціональне здоров'я дитячого населення, яке стає «біоіндикатором» індивідуального здоров'я та характеризує екологічну динаміку в регіоні компактного проживання. Екологічним критерієм функціонально-екологічної експертизи конкретного регіону проживання населення є системно залежне зіставлення пригнічення функціональної активності організму (парасимпатичної активності, вегетативної рівноваги й симпатичної активності). На цій основі формується інтегральна характеристика екологічного стану й визначаються рівні (зони) його екологічного тиску. Обстежені населені пункти – с. Бандурівка, с. Каташин, с. Рогізка, с. Червона гребля та смт Чечельник Чечельницького району Вінницької області – належать до IV зони радіаційного контролю. Наші спостереження довели, що функціонально-вегетативне здоров'я дітей екологічно залежне, а його показники є найчутливішими біоіндикаторами радіаційного (екологічного) забруднення. Функціонально-вегетативне здоров'я дітей обстежених населених пунктів Чечельницького району збігаються з офіційною дозиметричною паспортизацією населених пунктів. Моніторинг вегетативного здоров'я дітей має стати основою сучасної функціональної диспансеризації дитячого населення та доповнювати державну дозиметричну й тиреодозиметричну паспортизацію населених пунктів. *Ключові слова:* функціонально-екологічна експертиза, екологічна паспортизація, функціональне здоров'я.

Problem statement. The growing anthropogenic impact on the environment, its pollution with various wastes of production, along with the overuse of natural resources it leads to the gradual degradation of the natural environment under the influence of negative anthropogenic factors. In modern conditions the speed of scientific and technological progress exceeds the magnitude the adaptive capacity of existing living organisms, including humans [2; 9]. Transport, industry, energy and agriculture have the largest anthropogenic impact on the environment of Ukraine. All above mentioned factors adversely affect the environmental situation in

Ukraine and cause such negative effects as the greenhouse effect, acid rain and the destruction of the ozone layer. The main environmental problems for Ukraine at the present stage of development are radioactive contamination of territories, degradation of agricultural land, pollution of drinking water, destruction of forests and green spaces, accumulation of domestic and industrial waste, air pollution, etc. [2; 9; 10].

Nowadays in Ukraine the part of relatively clean territories of the state is 7%; conditionally pure – 8%; low pollution – 15%; human life-threatening one – 70%, 1.7% of which are recognized as environmental disaster

areas. Man made activity is contrary to nature today. About 30% of general diseases of the population are caused by environmental pollution and, thus, are ecologically dependent.

The relevance of research. Today, radioactive contamination is one of the greatest dangers for the population of Ukraine. The level of such contamination is the only state-controlled at the legislative level environmental-anthropogenic factor of negative impact on the human body. The concept of functional and ecological expertise (FEE) developed by us of the regions of radiation control of Ukraine confirms the expediency of state attention to the problem of "Ecological certification of children's population" (Prof. V.G. Makats) and fundamentally complements the accepted forms of dosimetric and thyroid dosimetric control [2; 9].

The aim of our work is to carry out the verification of radiation dependence of functional health and dosimetric certification of settlements of the Chechelnyk district in Vinnytsia region with the help of FEE.

Relation of author's rework with important scientific and practical tasks. The scientific research work is a part of the state program "A two-stage system of rehabilitation of vegetative disorders in children living in the radiation control zone of Ukraine" (performed on behalf of the CM of Ukraine dated 01.06.1999 № 12010/87).

Analysis of recent research and publications. The main subject of the study of functional and ecological examination (FEE) method in the regions of radiation control of Ukraine is the complex state of the autonomic nervous system (ANS) of the child's organism as well as the analysis of the processes that affect it. The autonomic nervous system regulates all internal processes in the body and performs the regulation of metabolism in relation to environmental conditions as an adaptive-trophic function [4; 5; 8].

There are many methods of investigating individual indicators of the autonomic nervous system, but most of them are unreliable due to their low repeatability (repeated results do not match the previous ones). The functional-vegetative diagnostics (FVD) of the autonomic health of the population by the method of V. Makats does not have such disadvantages, which allows to reveal the dispersion of vegetative levels that act as integral bioindicators of internal homeostasis and its dependence on environmental conditions. On this basis an integral characteristic of the ecological state is formed and the levels (zones) of its ecological pressure are determined. Functional health of the population reflects the ecological changes of the territory more objectively as it characterizes the ability of the body to adapt to the changing conditions of the external and internal environment [3].

Materials and methods. The correlations between changes in electrical conductivity of 24 representative FAZ (characterizing the state of the meridian as a unity) and the state of classical acupuncture meridi-

ans "determining" the functional state of their respective internal organs and systems of the organism are used for the diagnosis. 1 382 children (671 boys, 711 girls) of all ages living in the villages Bondurivka, Katashyn, Rogizka, Chervona Grebliy and urban village Chechelnyk of Chechelnytskyi district during 1993–1996 were examined with the help of the functional-vegetative diagnostics (FVD) according to the method of V. Makats. FVD was conducted in the morning (10:00–12:00). The bioelectric activity of 12 symmetric pairs of functionally active skin zones (24 FAZ), 12 on the hands and 12 on the feet, which reflect the functional activity of the sympathetic and parasympathetic nervous systems, was studied [5; 8]. The FVD according to the method of V. Makats and devices for its implementation were officially approved by the Ministry of Health of Ukraine "New Medical Equipment and New Methods of Diagnosis" (№ 5 from 25.12.91; № 1.08-01 from 11.01.94) and the Scientific Council of the Ministry of Health of Ukraine (No. 1.08-01 of 11/01/94).

A VITA 01 M device is used for FVD, the voltage in the closed circuit of which does not exceed the levels of membrane potentials (1-5 μ A; 0.03–0.6 V). The device does not require external energy sources for its operation. It has 2 diagnostic electrodes, a base electrode acceptor of electrons (AE) – a convex plate of a special alloy, pre-coated with an oxide film (5x7 cm) and 2 paired diagnostic electrodes (DE – electron donors) in the form of a silvered pair, which are located in ebonite cups with a diameter of 1 cm and wrapped with foam gaskets. The base electrode (AE) is fixed by a special belt through a moist pad (moistened with saline solution) in the umbilical region (central mesogastric area (0-zone)) with medium density tension to create stable examination conditions. Diagnostic electrodes (DE) are also moistened with saline solution. The procedure is performed in the orthostatic position of a person. In the process of testing electrodes, DE are placed at right angles with a slight pressure (at the touch level), simultaneously are contacted with each pair of symmetric FAZ (left-right at each extremity) for 1–4 seconds to obtain stable performance in micro amperes. Electrodes are remoistened with saline solution after every 3 contacts with the FAZ. Obtained in mA data of FVD are transformed into relative values. The obtained data are compared with the norm and it is concluded about the degree of deviation from it and the level of functional health impairment [8]. Mathematical and statistical processing of the results of the observations was carried out using the method of nonparametric statistics proposed by E.A. Derevyanko to determine the magnitude of the shift of the function under the study [9].

The presentation of the main material. Vinnytsia region is one of the comprehensively developed agro-industrial and cultural-historical regions of Ukraine. The territory is 26.5 thousand km², which is 4.4% of the area of Ukraine. The population is 1.61 million, (3.75% of the country's population), including urban 50.6%

and rural 49.4%. The major problems of the region are caused by the following factors: a large amount of pollutant emissions into the atmosphere, the presence of the materials that are banned and unsuitable for plant protection as well as chemical production waste which have been accumulated over the past years, the lack of a proper system for collecting, sorting and disposing of household waste, the discharge of contaminated wastewater into water and terrain, high levels of land plowing and erosion.

Chechelnyk district is the district of Ukraine in the southeast of Vinnytsia region. The population is 22.6 thousand people, 1.4% of the population of the region (01.01.2018). The district includes the town of Chechelnyk (district center) and 21 rural settlements. 8 villages of these settlements suffered from the radiation contamination as a result of the Chernobyl accident. The area of the district is 759 km², which is 2.9% of the region's territory.

The focus of the FEE should be on the functional health of particular age groups in the pediatric population which becomes a "bioindicator" of individual health and characterizes the environmental dynamics of the compact habitat region. Functional health levels have been found to be specific markers of the state of adaptation of the organism to the changing conditions of the external and internal environments and reflect the general functional and vegetative homeostasis of the human body. The obtained data on the functional health status of the pediatric population of a certain territory and averaged information on disorders of the autonomic nervous system can be used to analyze the impact of integrated environmental pressure on the human body, possible environmental problems of the territory and the degree of environmental impact. Nowadays, there is an understanding of adaptive dependence on the dynamic constancy of functional-vegetative homeostasis. The dependence of the individual-functional health of a child on the environment is supposed to be the basis of endoecology. The ecological criterion of FEE of a particular region of the population is a systemically dependent comparison of inhibition of functional activity of the organism (parasympathetic activity (PA), vegetative equilibrium (VE) and sympathetic activity (CA). On this basis an integral characteristic of the ecological state is formed and the levels (zones) of its ecological pressure are determined. FEE criteria should be consistent with the levels of radionuclide (environmental) contamination in the monitored observation regions of the Chechelnyk district in Vinnytsia region.

The sympathetic orientation of the autonomic nervous system (ANS) is known to be responsible for the FS of the following: the bladder (BL), the gall bladder (GB), the stomach (ST), the small intestine (SI), the lymphatic system (TE) as well as the large intestine (LI). The parasympathetic orientation of the ANS is responsible for FS of the spleen and pancreas (SP), the liver (LR), the kidney (KI), the lungs (LU), the pericardium (PS),

and the heart (HT). The relative ratio of the sum of indicators of total sympathetic activity to parasympathetic activity determines the orientation of the vegetative balance. The numerical result of this correlation is the vegetative coefficient kV (the autonomic nervous system coefficient), according to which seven levels of functional health dispersion are distinguished today: PAs – the zone of significant parasympathetic activity (kV to 0.75); PAe is a zone of expressed parasympathetic activity (kV 0.76-0.86); FcP is the zone of functional compensation of parasympathetic activity (kV 0,87-0,94); VE is the zone of permissible vegetative (functional) equilibrium (kV 0,95-1,05); FcS is the zone of functional compensation of sympathetic activity (kV 1.06-1.13); SAe is a zone of expressed sympathetic activity (kV 1,14-1,26) and SAs is a zone of significant sympathetic activity (kV> 1,26). It is more convenient to use vegetative dispersion (scattering) across critical zones for functional and ecological assessment of environmental factors, i.e the ratio PA (PAs + PAe) – VE (FcP + VE + FcS) – SA (SAe + SAs), which are markers of functional health. It is possible to analyze the impact on humans from the received data on the status of functional health of the population of a certain territory and averaged information on the deviation of the autonomic nervous system, both abiotic factors and possible environmental problems of the territory and its degree of ecological disturbance. As a result of research works it was found out that the main characteristic reflecting the negative influence of factors of external and internal environment is the decrease in the number of people examined in the area of functional equilibrium and their increase in the area of parasympathetic activity. According to the criteria we have developed, functional health of people is in the area of conditional norms while 70% of the population are in the area of vegetative (functional) (VE). An analysis of the obtained data revealed that no age group of men meets these requirements. This indicates a violation of functional and vegetative health and leads to disadaptation of the organism under the influence of changing conditions of the external and internal environment (Table 1).

Table 1

Indicators of functional and ecological expertise

Environmental Control Region	Vegetative status, %		
	PA zone	VE zone	SA zone
Functional safety zone – FS	15	70	15
Zone of increased functional attention – IFA	25	50	25
Functional stress development zone – FSD	30	50	20
Functional catastrophe development zone – FCD	45	40	15
Functional Environmental Disaster Zone – FED	65	25	10
Functional protection tension zone – FPT	10	25	65

Among the pollutants the greatest attention is paid to radioactive contamination of the environment – the only factor controlled to date. More than 60% of discarded isotopes of transuranium elements and ⁹⁰Sr remain in the exclusion zone. The density of radioactive contamination ¹³⁷Cs (15 Ki / km² does not require radiation protection of the population) as the criterion of danger was mistakenly accepted in 1989–1992. This led to an exceeding the standards of contamination of milk and meat which had a corresponding impact on children health. Precipitation of radioactive clouds increased in rainy weather. Therefore, contamination of ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr (and other radionuclides) is clearly spotty and may differ. This situation applies even to radiation-free areas.

The surveyed populated areas of Bondurivka village, Katashyn village, Rogizka village, Chervona Grebliya village, the town of Chechelnik, Chechelnik district in Vinnytsia region belong to the IV radiation control zone. During 1993–1996 we conducted observations to verify the radiation dependence of functional health and the dosimetric certification of settlements.

In the study of functional health of children in the villages Katashyn, Rogizka and the town. Chechelnik of the Chechelnik district (¹³⁷Cs in soil 25,7–12,9–27,1 kB / m²) in 1993–1996 revealed that the dispersion of vegetative levels (levels of vegetative equilibrium) in the female and male groups had dynamic identity, though, in the female the group a more pronounced deterioration in the functional health of children was observed (Fig. 1–4).

Our observations in 1993–1994 revealed gender-specific functional health in children. Observations in the female and male groups indicate the relationship among Katashyn, Rogizka and town Chechelnik of Chechelnik district, which belong to the 4th zone of radiation state control to the zone of “functional safety” (FS) according to FEE (Fig. 1–2). FEE results of Katashyn, Rogizka and town Chechelnik of the Chechelnik district do not coincide with the official dosimetric certification of these settlements.

Our observations in 1995–1996 revealed gender-specific functional health of children. Observations in the female and male groups indicate the relation-

Table 2

Criteria for radiation characteristics of the surveyed settlements (2008)

Region	Settlement	Chernobyl zone	Cs ¹³⁷ (kBq/m ²)		mZ / year by			*
			Soil	milk	2006	70 years	HRC	
R-№9(1)	Bondurivka	4th	64,0	2,2	0,20	9,2	0,03	+
R-№9(2)	Katashyn	4th	25,7	0,6	0,08	4,1	0,08	+
R-№9(3)	Rogizka	4th	12,9	1,3	0,06	2,1	0,02	+
R-№9(4)	Chervona Grebliya	4th	35,6	0,9	0,11	5,5	0,02	+
R-№9(5)	Chechelnik	4th	27,1	1,3	0,11	3,7	0,02	+

Note: HRC – human radiation counter; * – compliance of FEE with dosimetric and thyroid dosimetric state radiation control

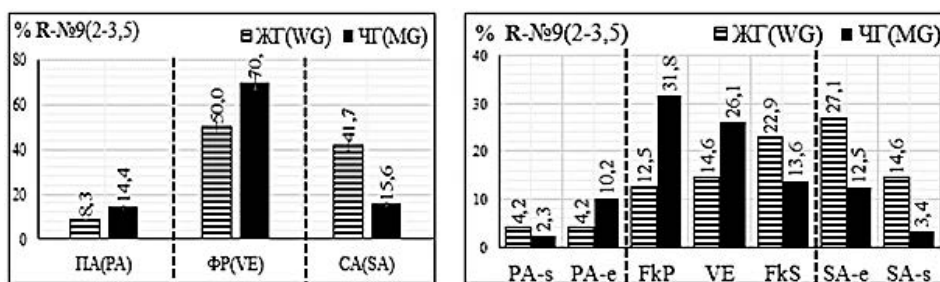


Fig. 1. Critical vegetative zones and levels of vegetative equilibrium of children living in the villages Katashyn, Rogizka and the town Chechelnik of Chechelnik district, 1993

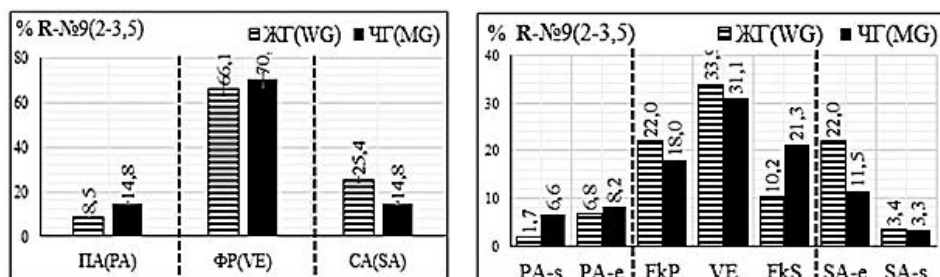


Fig. 2. Critical vegetative zones and levels of vegetative equilibrium of children living in the villages Katashyn, Rogizka and town Chechelnik of the Chechelnik district, 1994

ship of Katashyn, Rogizka and town Chechelnyk of Chechelnyk district to the zone of “the development of functional tension” (FPT) (4th zone of radiation control) in 1995 (Fig. 3) and to the zone of “the development of functional catastrophe” (FCD) (4th zone of radiation control) (fig. 3–4).

FEE results in the villages Katashyn, Rogizka and town Chechelnyk of Chechelnyk district coincide with the official dosimetric certification of these settlements.

1993–1996 observations revealed an increase in parasympathetic dispersion of autonomic levels of children living in the villages Katashyn, Rogizka and town Chechelnyk of Chechelnyk district, which confirms the negative impact of the radiation component on the functional health of children and the deterioration of the state of endoecology due to the accumulation of radioactive isotopes.

In the study of children functional health in the village Bondurivka in Chechelnyk district (Cs137 in soil 64 kB / m²) in 1993 it was found that the dispersion of vegeta-

tive levels (levels of vegetative equilibrium) in the female and male groups had dynamic identity, but with the same number of children examined in the functional group 66.7%, in the female group 33.3% belong to the zone of parasympathetic activity and in the male group 33.3% belong to the zone of sympathetic activity (Fig. 5).

In the study of functional health of children in the village Bondurivka of Chechelnyk district (Cs137 in soil 64 kB / m²) in 1994–1996 it was revealed that the dispersion of vegetative levels (levels of vegetative equilibrium) in the female and male groups had dynamic identity (Fig. 6–7).

Our observations in 1993–1994 revealed gender-specific functional health of children. Observations in the female and male groups indicate the relationship in the village Bondurivka of Chechelnyk district which belong to the 4th zone of radiation state control to the zone of “functional safety” (FS) according to FEE (Fig. 5–6). FEE results in the village Bondurivka of Chechelnyk district do not coincide with the official dosimetric certification of these settlements.

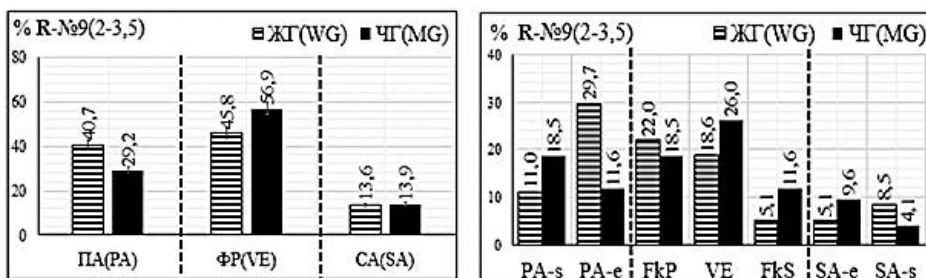


Fig. 3. Critical vegetative zones and levels of vegetative balance of children living in the villages Katashyn, Rogizka and town Chechelnyk of Chechelnyk district, 1995

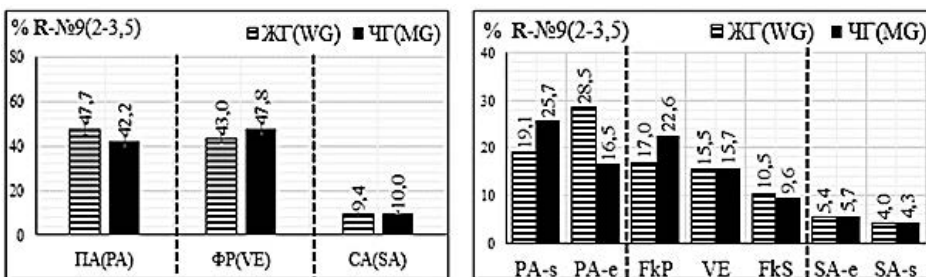


Fig. 4. Critical vegetative zones and levels of the vegetative equilibrium of children living in the villages Katashyn, Rogizka and town Chechelnyk of Chechelnyk district, 1996

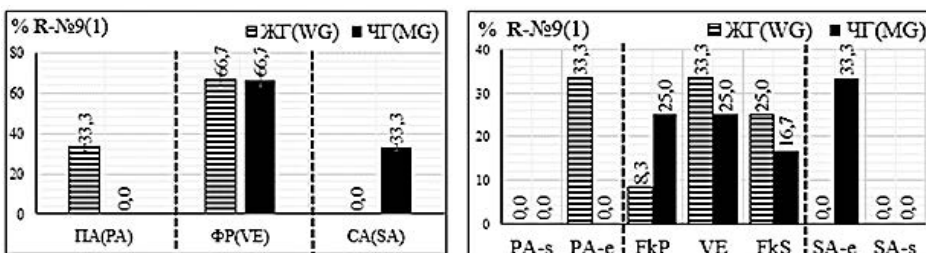


Fig. 5. Critical vegetative zones and levels of vegetative equilibrium of children living in the village Bondurivka of Chechelnyk district, 1993

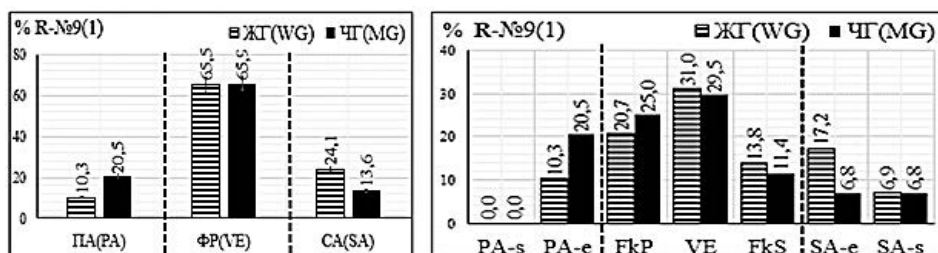


Fig. 6. Critical vegetative zones and levels of vegetative equilibrium of children living in the village Bondurivka in Chechelnik district, 1994

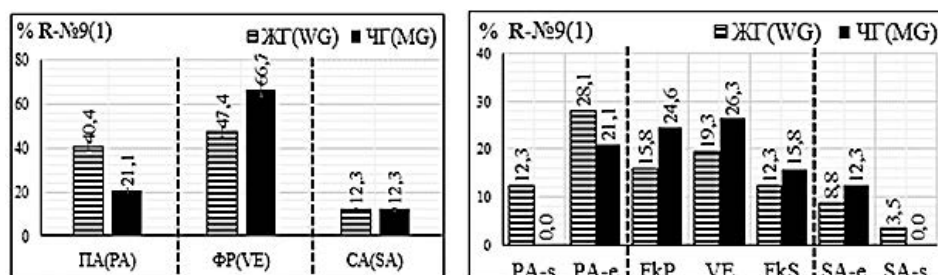


Fig. 7. Critical vegetative zones and levels of vegetative equilibrium of children living in the village Bondurivka in Chechelnik district, 1996

Our observations in 1996 revealed gender-specific functional health of children. Observations in the female and male groups indicate the relationship in the village Bondurka in Chechelnik district to the zone of the “increased functional attention” (IFA) (4th radiation control zone) (Fig. 7). FEE results in the village Bondurivka in Chechelnik district coincides with the official dosimetric certification of these settlements.

Observations of 1993–96 revealed an increase in the parasympathetic dispersion of the vegetative levels of children living in the village Bondurivka in Chechelnik district which confirms the negative pressure of the radiation component on the functional health of children and the deterioration of the state of endoecology due to the accumulation of radioactive isotopes.

The main findings.

1. Functional vegetative health of children is ecologically dependent. In addition, it is a bioindicator and underlies functional and ecological expertise (FEE) of radiation control regions.

2. Indicators of functional and vegetative health of the pediatric population are the most sensitive bioindicators of radiation (environmental) pollution and require prompt implementation in order to preserve the Gene Pool of Ukraine.

3. Functional vegetative health of children of the surveyed settlements of the Chechelnik district coincides with the official dosimetric certification of the settlements.

4. Monitoring of the vegetative health of children should become the basis of modern functional medical examination of the pediatric population and supplement state dosimetric and thyroid dosimeter certification of the settlements.

References

- Григорьев А.И., Григорьев К.И. Роль неблагоприятных факторов окружающей среды в формировании нарушений адаптации у детей и подростков. *Медицинская сестра*. 2018. № 7. С. 32–38. DOI: <https://doi.org/10.29296/25879979-2018-07-07>.
- Интегральная оценка работоспособности при умственном и физическом труде / под ред. Е. А. Деревянко. Москва : Экономика, 1990. 109 с.
- Срмішев О.В., Петрук Р.В., Овчинникова Ю.Ю., Костюк В.В. Функціональне здоров'я дітей як екологічний біоіндикатор України (Вінницька, Львівська, Чернігівська області) / за редакцією професора В.Г. Макаца. Вінниця : Наукова ініціатива, 2017. 226 с.
- Константинова Е.Д., Маслакова Т.А., Шалаумова Ю.В., Вараксин А.Н., Живодеров А.А. Радиоактивное загрязнение территории и адаптационная реакция организма человека. *Экология человека*. 2019. № 2. С. 4–11. DOI: 10.33396/1728-0869-2019-2-4-11.
- Макац В.Г., Макац С.Ф., Макац Д.В., Макац Д.В., Петінов Я.П. Вегетативний атлас функціонального здоров'я дитячого населення України (Вінницька, Львівська, Чернігівська області). Том IV. Вінниця : Нілан-ЛТД, 2013. 496 с.
- Макац В.Г., Нагайчук В.І., Макац С.Ф., Срмішев О.В. Невідома китайська голкотерапія (проблеми вегетативного патогенезу). Том IV. Вінниця : Нілан-ЛТД, 2017. 286 с.
- Макац В.Г., Макац С.Ф., Макац Д.В., Макац Д.В. Основи функціональної вегетології (невідома китайська голкотерапія). Том V. Вінниця : Нілан ЛТД, 2018. 152 с.

8. Мацац В.Г., Курик М.В., Петрук В.Г., Нагайчук В.І., Єрмішев О.В. Основи функціонально-екологічної експертизи (невідомі вегетологія). Том VI. Вінниця : Нілан-ЛТД, 2018. 128 с.
9. Радіологічний стан територій, віднесених до зон радіоактивного забруднення (у розрізі районів) / МНС України у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи. Київ : ТОВ «Інтелектуальні системи ГЕО», 2008. 49 с.
10. Jänig W. Integrative Action of the Autonomic Nervous System. *Neurobiology of Homeostasis*. Cambridge : Cambridge University Press, 2008. 636 p.
11. Parashar R., Amir M., Pakhare A., Rathi P. Age Related Changes in Autonomic Functions. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*. 2016. No. 10 (3). P. 11–13. DOI: 10.7860/JCDR/2016/16889.7497.

ЗАКОНОМІРНОСТІ ПИЛЕННЯ ВИДІВ РОДУ AMBROSIA В АТМОСФЕРНОМУ ПОВІТРІ БАСЕЙНУ Р. БИСТРИЦІ У 2015–2017 РОКАХ

Прокопів Н.М., Мельниченко Г.М.

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
вул. Галицька, 201, 76008, м. Івано-Франківськ
ploshanska_n@ukr.net

У статті представлені результати дослідження динаміки концентрації пилку представників роду *Ambrosia* в атмосферному повітрі в межах басейну р. Бистриці впродовж 2015–2017 рр. Встановлено початок і кінець палінації, тривалість палінаційного періоду, а також дні з високим вмістом пилку. Появу перших пилкових зерен амброзії у 2015 р. і 2017 р. констатовано 19 липня, у 2016 р. – 21 липня. З'ясовано динаміку пилення з врахуванням ключових метеорологічних факторів (температури, відносної вологості повітря). Зафіксовано збільшення концентрації пилку представників роду *Ambrosia* з підвищенням температури й зниженням відносної вологості повітря. Встановлена обернено-пропорційна залежність між інтенсивністю пилення та тривалістю палінаційного періоду. Тривалість палінації була найдовшою у 2015 р. (65 днів), а найінтенсивнішою – у 2017 р. (1 062 п.з.). У 2015 р. за сезон зібрано 396 п.з., у 2016 році – 963 п.з. Тривалість палінаційного періоду у 2016 р. становила 50 днів, у 2017 р. – 49 днів. Поодинокі пилкові зерна представників роду *Ambrosia* фіксували в атмосферному повітрі до 06 жовтня у 2015 р., до 03 жовтня у 2. році, до 01 жовтня у 2017 р. Максимальну концентрацію пилку у 2015 р. зафіксовано 11 вересня (24 п.з./м³), у 2016 р. – 04 вересня (280 п.з./м³), у 2017 р. – 31 серпня (301 п.з./м³), що в десятки разів перевищує клінічно-значущу. Завдяки високому адаптивному потенціалу до нових умов існування представники роду *Ambrosia* продукують велику кількість пилку, яка є причиною виникнення сильної сезонної алергії в людей. Встановлено підвищену небезпеку виникнення полінозів в уразливих груп населення впродовж першої декади вересня. Щорічне зростання кількості пилкових зерен рослини-алергена в атмосферному повітрі зумовлює необхідність моніторингу аероалергенної ситуації на досліджуваній території. Кількісна оцінка закономірностей пилення представників роду *Ambrosia* дасть змогу визначити науково обґрунтовані заходи, які підвищать обізнаність населення щодо небезпеки рослин-алергенів і сприятимуть зменшенню їхнього негативного впливу. *Ключові слова:* пилко, *Ambrosia*, палінаційний період, басейн р. Бистриці.

Peculiarities of pollination of species of the *Ambrosia* genus in atmospheric air within the basin of the Bystrytsia river in 2015–2017 years. Prokopiv N., Melnichenko G.

The article presents the results of the study of the dynamics of pollen concentration of the genus *Ambrosia* representatives in the atmospheric air within the basin of the Bystrytsia river during 2015–2017 years. The appearance of the first pollen grains of the *Ambrosia* in 2015 and 2017 was confirmed 19.07, in 2016 – 21.07. The beginning and the end of the pollination, the duration of the pollination period, and also high pollen content are indicated. The dynamics of pollination is determined taking into account the key meteorological factors (temperature, relative humidity of air). An increase in the pollen concentration of representatives of the genus *Ambrosia* was observed within creasing temperature and a decrease in relative humidity.

An inverse-proportional dependence is established between the intensity of the pollination and the length of the pollination period. The duration of pollination is the longest in 2015 (65 days), and the most intense in 2017 (1 062 pg). In 2015, during the season, 396 pg were collected in 2016 – 963 pg. The duration of the palling period in 2016 was 50 days, in 2017 – 49 days. Separate pollen grains of the genus *Ambrosia* were fixed in the air to 06.10 in 2015, to 03.10 in 2016, to 01.10 in 2017. Maximum pollen concentrations in 2015 were fixed on 11 September (24 pg / m³), in 2016 – 4 September. (280 pg / m³), in 2017 – 31 August (301 pg / m³). It indicates the tendency of annual growth of pollen grains of an allergen plant in the atmosphere which is ten times higher than clinically significant. Due to its high adaptive potential for new conditions of existence, representatives of the genus *Ambrosia* produce a large amount of pollen, which is the cause of a strong seasonal allergy of humans.

The increased danger of emergence of pollinosis for vulnerable population during the first decade of September is established. The annual increase of the number of pollen grains of the allergen plant in the atmosphere causes the need to monitor the aerial allergy situation on the investigated territory. A quantitative assessment of the patterns of aging of the representatives of the genus *Ambrosia* makes it possible to identify scientifically-based measures that will raise awareness of the population about the danger of allergenic plants and will contribute to reducing their negative impact. *Key words:* pollen, *Ambrosia*, pollination period, basin of Bystrytsia.

Постановка проблеми. У результаті господарської діяльності людини швидкість занесення рослин-адвентів з однієї місцевості в іншу зростає з кожним роком, незважаючи на запобіжні заходи, вжиті державними фітосанітарними службами [1]. Важливою проблемою світового масштабу є контроль за появою і поширенням чужорідних рослин, вторгнення яких завдає значних економічних збит-

ків і може бути небезпечним для здоров'я людей [2; 3; 4; 5; 6].

Амброзія відноситься до анемофільних рослин, пилко яких створює додаткове навантаження на екосистеми і являється потужним екоалергеном [7; 8; 9]. Завдяки високому адаптивному потенціалу до нових умов існування, представники роду *Ambrosia* продукують велику кількість пилку,

який викликає алергічні реакції у сенсibilізованої частини населення [10]. Тому моніторинг за кількісною та якісною динамікою пилку рослини-алергена в атмосферному повітрі є актуальним завданням для гігієністів та вітчизняних науковців-екологів [11; 12]. У зв'язку з цим метою нашого дослідження було визначення термінів та інтенсивності пилення представників роду *Ambrosia* в межах басейну р. Бистриці у 2015–2017 роках.

Матеріали і методи. Дослідження проводили у 2015–2017 роках в межах басейну р. Бистриці гравіметричним методом за допомогою пилковловлювача Дюрама, який встановили на висоті 24 м від поверхні землі (рис. 1).



Рис. 1. Гравіметричний пилковловлювач Дюрама

Цей метод дає можливість визначити якісний та кількісний склад пилкового опадів в атмосферному повітрі. Конструкція для вловлення пилку являє собою два горизонтальні диски з органічного скла діаметром 22,5 см. Верхній диск слугує захистом від можливих атмосферних опадів. На нижньому диску розміщене змащене гліцерином предметне скельце для мікроскопічних препаратів з полем для запису. Пилкові зерна пасивно осідали на змащені гліцерином предметні скельця, які замінювали щодоби. Для виготовлення постійних препаратів використовували гліцерин-желатинову суміш з барвником сафраніном [13]. Підрахунок пилкових зерен здійснювали за допомогою світлового мікроскопа Olympus CX-300 (збільшення $\times 400$) неперервними вертикальними трансектами. Ідентифікацію пилку здійснювали з використанням визначників та еталонних препаратів [13, 14]. Тривалість палинаційного періоду визначали методом «95%», за яким сезон палинації починається того дня, коли кількість її пилку в повітрі становить 2,5% від загальної суми зібраних упродовж року пилкових зерен. Закінченням сезону вважали день, коли кількість зібраного за сезон пилку досягає 97,5% [15]. Піком пилення вважали найвище значення концентрації пилкових зерен у кубометрі повітря, зафіксоване для описуваної палінологічної категорії упродовж сезону. Дані метеорологічних показників (температура повітря, відносна вологість та напрям вітру) отримані з інтернет-сайту архіву погоди [16].

Результати та їх обговорення. Пилкові зерна амброзії три-, шестикольпоратні, сфероїдальні або сплющено-сфероїдальні за формою, в обрисі з полюса округло-трилопатеві, з екватора широко-еліптичні або округлі (рис. 2). Полярна вісь – 21,3–24,7 мкм, екваторіальний діаметр – 19–23,5 мкм. Кольпи короткі (10–13 мкм), широкі, звужуються до кінців. Пори дрібні (2,5–3 мкм), екваторіальні, розміщені в центрі кожної кольпи, округлі. Скульптура шипувата. Шипи з широкими основами, які прилягають одна до одної висотою 1,5–2 мкм, рівномірно-густо розподілені по всій поверхні екзини. Товщина екзини становить 1,5 мкм [7].



Рис. 2. Пилкові зерна рослин роду *Ambrosia*, 04 вересня 2017 року, Івано-Франківськ, 400 \times

Появу в атмосферному повітрі басейну річки Бистриці перших пилкових зерен амброзії у 2015 році було констатовано 19 липня при температурі $+25,2^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості 62% (див. рис. 3). Підвищення концентрації пилку спостерігали 22 липня (11 п.з./ m^3). Остання декада липня характеризується наявністю поодиноких пилкових зерен на препаратах, що пов'язано з підвищенням відносної вологості з 62% до 89%. У першій декаді серпня максимальна кількість пилкових зерен була зафіксована 08 серпня (8 п.з./ m^3) при температурі $23,1^{\circ}\text{C}$ і зниженні відносної вологості до 57%. 09–15 серпня спостерігали поступове зниження концентрації пилку з 5 п.з./ m^3 до 1 п.з./ m^3 при майже незмінній температурі атмосферного повітря. В останню декаду серпня вміст пилкових зерен у повітрі зріс (5–51.6 п.з./ m^3), температура коливалась від $15,2^{\circ}\text{C}$ до $25,8^{\circ}\text{C}$, відносна вологість – 57–75%. Одноразове різке підвищення концентрації пилку зафіксували 01 вересня (20 п.з./ m^3), коли температура повітря складала 25°C , а відносна вологість – 55,8%. Пік пилення припав на 11 вересня (24 п.з./ m^3). В другу декаду вересня спостерігали зменшення кількості пилкових зерен з 9 п.з./ m^3 до 1 п.з./ m^3 при зниженні температури до 10°C і підвищенні відносної вологості до 95%. Поодинокі пилкові зерна фіксували на препаратах до 06 жовтня. Період палинації представників роду *Ambrosia* у 2015 році тривав 65 днів. Початок пилення 22 липня, кінець – 24 вересня.

Перші пилкові зерна *Ambrosia* у 2016 році були зафіксовані 21 липня поодинокими екземплярами. З 22 по 31 серпня вміст пилкових зерен у повітрі залишався низьким (0–3 п.з./м³), що пов'язано з підвищенням відносної вологості з 58% до 90%; температурні показники коливались від 19,0 °С до 21,4°С. Підвищення концентрації пилку в атмосферному повітрі зафіксували 01 серпня (10 п.з./м³) при температурі 22,9 °С і відносній вологості 68%. У першу декаду серпня спостерігали високий вміст пилкових зерен у повітрі (6–19 п.з./м³) при майже незмінній температурі і відносній вологості повітря. У другій декаді серпня вміст пилкових зерен *Ambrosia* у повітрі знизився до 1–3 п.з./м³ при падінні температури з 22 °С до 15 °С. Високі концентрації пилку (15–24 п.з./м³) констатували з 23 по 25 серпня при постійній температурі 21°С і відносній вологості 72–78%. Максимальну кількість пилкових зерен зафіксували 04 вересня (280 п.з./м³). З 05 по 18 вересня концентрація пилку в повітрі зберігалась високою. В останню декаду вересня спостерігали зменшення кількості пилкових зерен з 15 п.з./м³ до 1 п.з./м³. Поодинокі пилкові зерна фіксували в повітрі до 03 жовтня. У 2016 році період палінації видів роду *Ambrosia* тривав 50 днів. Початок пилення 02 серпня, кінець – 20 вересня.

У 2017 році перші пилкові зерна з'явилися у повітрі 19 липня при температурі 19,87 °С і відносній вологості 71%. Підвищення концентрації пилку спостерігали з 30 липня до 06 серпня (10–19 п.з./м³). У другій декаді серпня спостерігали зменшення кількості пилкових зерен у повітрі, температурні показники коливались в межах 17,5–24,87 °С, відносна вологість – 57–76%. Одноразове різке підвищення концентрації пилку в повітрі зафіксували 17 серпня (12 п.з./м³). В останню декаду серпня концентрація пилкових зерен зростає з 6 п.з./м³ до 54 п.з./м³.

Пік пилення зафіксували 31 серпня (301 п.з./м³). Високі концентрації пилку в повітрі спостерігали в першій декаді вересня (12–112 п.з./м³), за винятком 07 вересня, коли випадали дощі і відносна вологість повітря становила 83%. З другої декади вересня вміст пилкових зерен у повітрі зменшувався, різкий одноденний ріст зафіксували 16 вересня при температурі 16 °С і відносній вологості 74%. В останню декаду вересня спостерігали зменшення концентрації пилку від 7 п.з./м³ до 1 п.з./м³. Поодинокі пилкові зерна фіксували в повітрі до 01 жовтня. Період палінації амброзії у 2017 році тривав 49 днів з 31 липня по 17 вересня.

Результати досліджень свідчать, що найбільш інтенсивним було пилення амброзії у 2017 році, коли впродовж сезону було зібрано 1 062 п.з., а палінаційний період тривав 49 днів. У 2016 році було зібрано 963 п.з., а тривалість палінаційного періоду становила 50 днів. Найменш інтенсивним було пилення амброзії у 2015 році (за сезон зібрано 396 п.з.), проте спостерігали збільшення тривалості палінаційного періоду (65 днів). Встановлено, що з підвищенням температури і зниженням відносної вологості повітря концентрація пилку представників роду *Ambrosia* збільшувалась. Незначне перевищення порогового рівня вмісту пилкових зерен у повітрі протягом 2015–2017 років зафіксували в першій та останній декаді серпня. Впродовж першої декади вересня встановлена підвищена небезпека виникнення полінозів в уразливих груп населення, оскільки концентрація пилку в повітрі в десятки разів перевищує клінічно-значущу. Високий алергенний потенціал пилку амброзії зумовлює необхідність моніторингу аероалергенної ситуації на досліджуваній території.

Перспективи використання результатів дослідження. Враховуючи закономірності пилення алер-

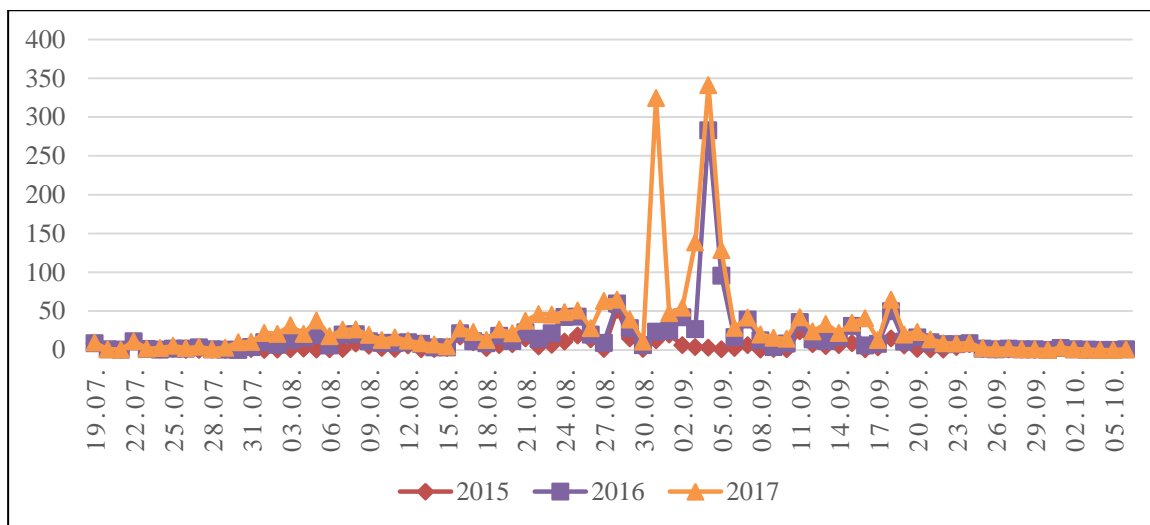


Рис. 3. Динаміка концентрації пилкових зерен представників роду *Ambrosia* в атмосферному повітрі басейну р. Бистриці впродовж 2015–2017 років

генної рослини можна здійснювати попередження уразливих груп населення про дні з високою концентрацією пилоквих зерен в атмосферному повітрі для реалізації превентативних заходів. Кількісна оцінка

динаміки концентрації пилку видів роду *Ambrosia* дасть змогу визначити науково-обґрунтовані заходи, які сприятимуть зменшенню негативного впливу рослини-алергена.

Література

1. Стародуб В.І., Ткач Є.Д., Вигера С.М. Адвентивні види рослин в агроценозах пшениці озимої Правобережного Лісостепу. *Збалансоване природокористування*. 2015. № 3. С. 95–98.
2. Безручко О.І. Шкодочинність бур'янів у посівах сільськогосподарських культур. *Агроінком*. 1998. № 1–2. С. 18–20.
3. Комаров Н.Ф. Сорная растительность СССР. *Растения СССР*. Москва–Ленинград : Издво АН СССР, 1940. Т. 2. С. 523–576.
4. Іващенко О.О. Бур'яни в агрофітоценозах. *Проблеми практичної гербології*. Київ : Світ, 2001. 235 с.
5. Матюха Л.П. Бур'яни – алергени. *Захист рослин*. 2003. № 6. С. 14–17.
6. Циков В.С., Матюха Л.П. Бур'яни: шкодочинність і система захисту. Дніпропетровськ : Наук.–вироб. вид. ЕНЕМ, 2006. 86 с.
7. Приходько О.Б. Анемофільна дендрофлора Запоріжжя як продуцент аероалергенів. *Вісник Запорізького національного університету*. 2009. № 1. С. 20–24.
8. Савицький В.Д. Небезпечні іммігранти. Вплив біополлютантів зони відчуження ЧАЕС на екологічну ситуацію за її межами. *Вісник НАН України*. 2005. № 10. С. 9–15.
9. Fumanal, B.; Chauvel, B.; Bretagnolle, F. Demography of an allergenic European invasive plant: *Ambrosia artemisiifolia*. *Plant Protection and Plant Health in Europe. Introduction and Spread of Invasive Species : International Symposium*. Berlin. 2005. P. 9–11.
10. Celenk S., Bıçakçı A. Aerobiological investigation in Bitlis, Turkey. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*. 2005. № 12. P. 87–93.
11. Воробець Н.М., Калинович Н.О. Напрямки та перспективи аеропалінологічного моніторингу в Україні. *Український медичний часопис*. 2012. Т. 90. № 4. С. 26–29.
12. Турос Е.И., Маркевич Я.П., Ковтуненко И.Н. Аэропаллинологический мониторинг как составляющая системы оценки качества атмосферного воздуха. *Материалы пленума научного совета по экологии человека и гигиене окружающей среды РАМН и Минздравоуразвития Российской Федерации*. Москва, 2009. С. 304–306.
13. Мейер-Меликян Н.Р., Северова Е.Э., Гапочка Г.П. и др. Принципы и методы аэропаллинологических исследований. Москва, 1999. 48 с.
14. Polleninfo.org : публічний вебпортал. URL: www.polleninfo.org.
15. EAN. European Pollen Information. 2012. URL: <https://ean.polleninfo.eu/Ean/en/home>.
16. Архів погоди в Івано-Франківську (аеропорт). URL: <http://tp5.kz>.

ВПЛИВ ЗАБРУДНЕННЯ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ НА БІОЕЛЕКТРИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ БІОТОПІВ

Русин І.Б.¹, Медведєв О.В.², Воронько В.В.¹, Пашук А.В.¹

¹Національний університет «Львівська політехніка»
вул. Степана Бандери, 12, 79013, м. Львів

²Філія «Науково-дослідний інститут автомобілебудування «Еталон»
вул. Городоцька, 174, 79022, м. Львів
rib7@i.ua, mov2@ukr.net

Проведено дослідження біоелектричного потенціалу біотопів газонних насаджень зелених розмежувальних смуг уздовж автомагістралей міста, техногенно забруднених важкими металами з метою вивчення перспектив їх використання як джерела відновлювальної енергії. Для визначення вмісту важких металів у ґрунті використовували метод енерго-дисперсійного рентгено-флуорисцентного елементного аналізу. Аналізували ділянки газонних насаджень безпосередньо біля світлофору та пішохідного переходу та на відстані 250–500 м від зупинки автотранспорту. Для вивчення біоелектричного потенціалу фіто-мікробіоценозів техногенно забруднених газонів уздовж автомагістралей електродні системи реєстрації біоелектрики стаціонарно монтувалися в товщу ґрунту дослідних ділянок. Найвищий ступінь забруднення важкими металами газонів уздовж автотрас виявлений безпосередньо біля світлофору та помірне забруднення було зафіксоване на віддалі 250–500 м від зупинки автотранспорту. Встановлено, що рівень біоелектричного потенціалу біотопів газонів уздовж автомагістралей міста залежить від ступеню їх забруднення важкими металами. Середній рівень біоелектричного потенціалу за однакових метеоумов інтенсивно та помірно забруднених екосистем зелених смуг становив 924.5 мВ та 1002.4 мВ відповідно. Фіто-мікробіоценози газонів зелених смуг, що розділяють міські автомагістралі, є досить резистентними до забруднення важкими металами, якщо сумарна кількість екоотоксикантів невисокого класу небезпеки є помірною. Для генерації біоелектричного потенціалу біотопами повною мірою необхідний цілий комплекс оптимальних факторів довкілля: температури, освітленості, вологості ґрунту. Газонні екосистеми зелених смуг уздовж міських автотрас, забруднені важкими металами, мають перспективи використання для отримання біоелектрики після оцінки стану їх сумарного забруднення та відповідного зонування за ступенем забруднення та рівнем біоелектропродуктивності. *Ключові слова:* газонні насадження, біоелектрика, рослини, ґрунтові мікроорганізми, відновлювальна енергія.

Effect of heavy metal contamination on bioelectric potential of biotopes. Rusyn I., Medvediev O., Voronko V., Pashuk A.

The article presents the results of the study of the bioelectric potential of lawn plantations of green dividing strips along city highways, contaminated with heavy metals in order to evaluate the prospects for their use as a source of renewable energy. To determine the content of heavy metals in the soil we used the method of energy-dispersive X-ray fluorescence elemental analysis. Sections of lawn stands directly at the traffic lights and pedestrian crossing and at a distance of 250–500 m from the stop of vehicles were investigated. To study the bioelectric potential of phyto-microbiocenoses of technogenically polluted lawns along the highways, the electrode bioelectric registration systems were stationary located in the soil thickness of the experimental plots. The highest degree of contamination by heavy metals of lawns along the highways was found directly at the traffic lights and moderate pollution was at a distance of 250–500 m from the motor vehicle stop. The level of bioelectric potential of biotopes of lawns along city highways depended on the degree of their contamination by heavy metals. The average value of bioelectric potential under the same meteorological conditions of intensively and moderately polluted ecosystems of green strips was 924.5 mV and 1002.4 mV, respectively. The phyto-microbiocenoses of lawns plantations separating urban highways were resistant to heavy metal pollution if the total number of low-risk ecotoxicants was moderate. Whole set of optimal environmental factors: temperature, illumination, soil moisture was required for the generation of high values of bioelectric potential by plant-microbial associations. Lawn ecosystems along urban highways contaminated by heavy metals have the potential using to produce bioelectricity after assessing the state of their total pollution and corresponding zoning by the degree of contamination and the level of bioelectricity productivity. *Key words:* lawn plantations, bioelectricity, plants, soil microorganisms, renewable energy.

Постановка проблеми та актуальність дослідження. Вуглець-нейтральність, притаманна альтернативній енергетиці, до якої належить отримання біоелектрики з біотопів, створює виклик традиційним невідновлювальним джерелам енергії, експлуатація яких супроводжується викидами парникових газів. Біотехнологія отримання біоелектрики з біотопів є екологічною, оскільки єдиним втручанням у середовище є розміщення електродних систем у товщі ґрунту, де розвиваються рослини [1]. Таким чином, можна зібрати біоелектрику, яку продукують ґрун-

тові електрико-активні мікроорганізми, споживаючи екскретовані через коріння продукти фотосинтезу та продукти розкладу рослинних залишків [2; 3]. Рослинно-мікробну електробіотехнологію запропоновано застосувати в екосистемі боліт [4] та рисових полів [5; 6]. Техногенно забруднені та деградовані ґрунти могли би слугувати перспективним об'єктом для використання технології рослинно-мікробної біоелектрики, оскільки, відомою є толерантність рослин та мікробних угруповань навколишнього середовища до різного роду поллютантів: нафтових

забруднень [7; 8] чи важких металів [9; 10]. Крім цього, як і заболочення, техногенно забруднені землі займають тисячі гектарів, вони ніяк не використовуються, а також потребують рекультивації і залишилися до цього часу поза увагою розробників технології рослинно-мікробної біоелектрики.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В Україні нараховується понад 1,1 млн га деградованих та техногенно забруднених земель, 143,4 тис. га порушених земель, які потребують рекультивації [11]. Забруднення важкими металами є основним фактором забруднення ґрунтів в Європі [12], а автотранспорт виступає найважливішим джерелом забруднення ґрунту важкими металами [13; 14]. Значні кількості Zn, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni у ґрунтах пов'язані з пилом від зносу шин [15; 16]. Розмежувальні смуги газонних насаджень уздовж автомагістралей із високою концентрацією продуктів автомобільних викидів, які простягаються на десятки кілометрів у кожному місті та за межами населених пунктів, є важливим типом техногенно забруднених територій та можливим об'єктом застосування електробіотехнології в разі розробки ефективних її методів.

Рослини характеризуються різною мірою стійкості до дії важких металів. Чутливість культур до надлишку важких металів варіює як між таксономічними групами, так і в межах навіть одного роду [17; 18]. Низка рослин мають захисні механізми, що дають їм змогу функціонувати в присутності важких металів [19]. Поширений вид газонних міських трав *Festuca arundinacea* є резистентним до забруднення важкими металами, зокрема Pb [20]. Тому є теоретичні підстави сподіватися на біоелектропродуктивність контамінованих важкими металами насаджень газонних трав уздовж автомагістралей. Рівень рослинно-мікробної біоелектрики, що можна отримати з деградованих та забруднених ґрунтів, досі залишався недослідженим. Біоелектрика рослинно-мікробних асоціацій уздовж автотрас могла б жити дорожнє освітлення, а в мірі розвитку біотехнології, в перспективі акумулювати заряд для зарядження електромобілів.

Метою дослідження було оцінити перспективи біотопів техногенно забруднених розмежувальних газонних смуг уздовж автомагістралей міста як джерела біоелектрики.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

1) визначення ступеню забруднення важкими металами зелених смуг уздовж автотрас безпосередньо біля світлофорів та пішохідних переходів та на віддалі від них;

2) аналіз біоелектричного потенціалу біотопів газонів уздовж автомагістралей міста.

3) вивчення особливостей впливу факторів довкілля: вологості, температури, освітлення на генерацію біоелектрики фіто-мікробіоценозами екосистем насаджень газонної трави вздовж автотрас міста.

Виклад основного матеріалу. Об'єктами досліджень були біоелектричні параметри фіто-мікробіоценозів техногенно забруднених ділянок: газонів розмежувальних смуг уздовж міських автотрас міста Львова, а також контрольні газони без будь-якого впливу викидів автомобілів. Було проаналізовано біоелектрику 10 зон зелених розмежувальних смуг на вулицях митрополита Андрея, проспекті Чорновола та вулиці Хуторівка. Аналізувалися ділянки екосистем безпосередньо біля світлофору та пішохідного переходу, охоплюючи відстань 0–25 м біля них та вздовж траси на відстані 250–500 м від світлофору та зупинки автотранспорту (рис. 1). Електродні системи монтувалися в зелені смуги, засаджені газонними міськими травами: райграс пасовищний *Lolium perenne* L., костриця очеретяна *Festuca arundinacea* Schreb., тонконіг луговий *Poa pratensis* L., 1753.

Для реєстрації біоелектричного потенціалу використовували розроблену нами моноелектродну систему [21]. Для визначення біоелектропродуктивності техногенно забруднених територій системи реєстрації біоелектричного потенціалу стаціонарно монтували в зону асоціації рослинних кореневих систем та прикореневих мікроорганізмів екосистем газонів на глибину 0,3 м у товщу ґрунту дослідної ділянки протяжністю 25 м. У кожній дослідній ділянці було вмонтовано по 10 електродних систем для моніторингу за біоелектричним потенціалом (рис. 2). Показники біоелектричного потенціалу реєстрували за допомогою цифрового мультиметра, щупи якого закріплювали на дротах, що виходили на поверхню з глибини субстрату. Біоелектричні параметри вимірювали щодня протягом 150 днів із червня по жовтень 2014 року.

З метою визначення впливу важких металів ґрунту на біоелектричні параметри екосистем проводили оцінку техногенного забруднення ґрунту. Для хімічного аналізу ґрунту використовували рентгено-флуорисцентний аналізатор хімічного складу елементів EXPERT 3L та метод енерго-дисперсійного рентгено-флуорисцентного елементного аналізу, що базується на збудженні випромінювання атомів проби фотонами рентгенівської трубки і реєстрацією цього випромінювання напівпровідниковим детектором аналізатора [22]. Відбір проб ґрунту для хімічного аналізу проводили за ГОСТ 17.4.4.02-84 [23]. Проби ґрунту для аналізу висушували до сухого стану за ГОСТ 5180-2015 [24].

Зазначені в роботі результати є представлені як середнє значення для всіх повторюваних експериментів та їх стандартні похибки ($x \pm SE$). Статистичну оцінку істотності різниці між середніми значеннями було обраховано за допомогою F-тесту для 95% рівня достовірності.

Результати дослідження та їх обговорення. Аналіз вмісту важких металів у дослідних ґрунтових зразках показав, що на розмежувальних зелених смугах автотрас можна диференціювати зони різної концен-

трації поллютантів: 1) інтенсивно забруднені ділянки, розташовані безпосередньо біля світлофору та 2) зони помірної забрудненості, локалізовані на відстані 250–500 м від світлофору (табл. 1). Свинець, один із найбільш небезпечних екотоксикантів довкілля, джерелом забруднення якого є автомобілі, перевищував ГДК у 10,2 раза у 25-метровій зоні біля світлофору та пішохідного переходу, в той час як на віддалі 250–500 м перевищення ГДК цього елемента становило 5 разів. Мідь у 19,7 та 14,0 раза перевищувала нормативний рівень у ґрунті безпосередньо біля світлофору та на віддалі від нього відповідно. Вміст сірки перевищував гранично допустимий рівень у 9,26 раза біля світлофору та в 6,7 раза на віддалі 250–500 м від нього. У безпосередній зоні біля світлофору та зупинки автотранспорту виявлено перевищення вмісту цинку в 3,8 раза, в той же час, як на віддалі перевищення вмісту цинку було нижчим, у 2,2 раза.

Нерівномірний розподіл забруднення газонів міських автотрас важкими металами можна пояснити особливостями руху автомобілів уздовж них як основного джерела їх забруднення. В місцях

інтенсивного забруднення, що розташовувалися в 25-метровій зоні біля світлофорів, газон зазнавав найбільшого впливу автомобільного забруднення, адже при старті автомобіля спостерігаються найбільші викиди. Автомобілі на цих ділянках траси постійно зупиняються та знову стартують, поволі під'їжджаючи до світлофору в частих заторах та рушають після зупинки перед світлофором. Помірне забруднення, зафіксоване в газонах на віддалі 250–500 м від світлофору вздовж автотрас, є зоною меншого впливу поллютантів, оскільки на цій ділянці автомобілі проїжджають, не зупиняючись. Дослідження Duong & Lee [25] виявили, що концентрація важких металів у дорожньому пилі значно варіюється залежно від особливостей дорожнього руху автомобілів біля світлофорів, що співзвучно з отриманими нами даними. Найбільший знос шин та вивільнення важких металів відбувається під час розгону, гальмування та поворотів автомобіля [26]. Під час швидкого гальмування гальма піддаються значному нагріванню від тертя, яке передається на гальмівні диски і також призводить до викиду



Рис. 1. Місця монтування електродних систем для визначення біоелектричного потенціалу у фіто-мікробіоценозі зеленої смуги, що розмежовує автотрасу на проспекті В'ячеслава Чорновола міста Львова: 1 – безпосередньо біля світлофору; 2 – на відстані 250 м від світлофору та пішохідного переходу; 3 – на віддалі 500 м від світлофору

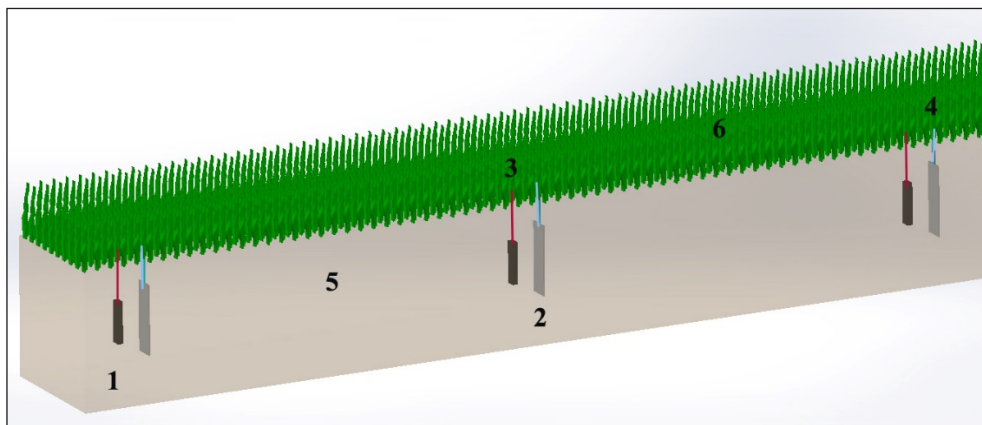


Рис. 2. Схематичний вигляд розміщення електродів у 3-метровому фрагменті дослідної ділянки: 1 – катод, 2 – анод, 3 – дріт, що виходить від катодів на ґрунтову поверхню, 4 – дріт, що виходить від анодів на ґрунтову поверхню, 5 – ґрунт, 6 – трава

частинок важких металів. Найбільш інтенсивне зношування гальм відбувається на перехрестях, кутах, світлофорі та шляхом примусового гальмування [26]. У роботах Hjortenkrans et al. [16], Blau [27] та Adachia & Tainoshob [28] повідомляється, що гальмівний пил містить значну кількість Cu, а також S, Ti, Zn, Ni, Cr і Pb та невелику кількість Cd.

Таблиця 1

Вміст важких металів та сульфуру у зразках ґрунту зелених розмежувальних смуг автотрас міста ($x \pm SE$, $n=10$)

Елемент	Вміст у зразках, г/кг		ГДК*
	0–25 м від світлофору	250–500 м від світлофору	
16S	1.482±0.067	1.071±0.051	0.160
23V	0.034±0.001	0.031±0.001	0.150
24Cr	0.021±0.001	0.017±0.001	0.006
25Mn	0.249±0.012	0.173±0.007	0.140
29Cu	0.059±0.002	0.042±0.001	0.003
30Zn	0.087±0.004	0.051±0.002	0.023
82Pb	0.061±0.002	0.030±0.001	0.006

*[29–32]

Було виявлено, що рівень біоелектричного потенціалу у зразках газонів уздовж автотрас залежить від ступеню їх забруднення важкими металами. За однакових метеоумов, таких як температура середовища, вологість субстрату, рівень освітлення, що мають важливе значення для рівня фотосинтетичної активності рослин та, відповідно, біоелектропродуктивності асоційованих із ними електрикогенеруючих мікроорганізмів, контрольні чисті газони характеризуються статистично суттєво вищим рівнем біоелектричного потенціалу, ніж газони вздовж автотрас як з інтенсивним, так і помірним забрудненням ($P < 0.05$) (рис. 3). Різниця між середнім біоелектричним потенціалом біотопів екосистем чистих газонів та інтенсивно і помірно забруднених становила 181,6 та 103,7 мВ відповідно. І водночас екосистеми газонів помірно забруднених ґрунтів характеризувалися суттєво вищим рівнем біоелектричного потенціалу, ніж інтенсивно забруднених ($P < 0.05$) (рис. 3). Рівень біоелектричного потенціалу біотопів помірно забруднених розмежувальних зелених смуг автомагістралей на рівні 1 В є доволі високим, що відкриває перспективи використання їх як джерела біоелектрики. Близькі значення середнього біоелектричного потенціалу електробіосистем зафіксовані також у роботах з *A. plantago-aquatica* [33] та з *Chlorophytum comosum*, де значення біоелектричного потенціалу коливались у діапазоні від 900 до 1100 мВ [34].

Різниця в значеннях біоелектричного потенціалу між зонами інтенсивного та помірного забруднення пояснюється тим, що концентрація забруднювачів ґрунту є різною, тим самим створюються різні

умови для розвитку мікроорганізмів, що продукують електрику. Важкі метали у високій концентрації можуть токсично впливати як прямо на клітини електроактивних бактерій, так і опосередковано, через вплив на бактерій циклу нітрогену та дощові черв'яки, які мають вагоме значення для розвитку рослин, а також через пригнічення самого процесу фотосинтезу рослин. У цих умовах рослини, які оточують електроди, більше енергії витрачають на детоксикацію шкідливих частинок з атмосфери, а пил, який піднімають автомобілі, покриває листя та стебла, через що рослина отримує менше прямого сонячного світла, необхідного для фотосинтезу, відповідно, падає рівень корневих виділень, які необхідні для розвитку електрико-генеруючих мікроорганізмів. Оскільки розвиток всіх видів електроактивного мікробіому залежить від фотосинтетичної активності рослин [1–3], пригнічення фотосинтезу негативно впливає на розвиток асоційованих із ними мікроорганізмів.

Ефект дії важких металів в екосистемах залежить від їх концентрації. Зокрема, Pb у малих концентраціях здатний проявляти навіть стимулюючу дію на ріст і розвиток бобових рослин [35]. Рослини є толерантними до токсичного впливу важких металів, формуючи низку стратегій, які дають змогу їм подолати негативні наслідки токсичних елементів [9]. Цим може бути пояснене виявлене нами незначне зниження електрогенеративності в зоні помірного забруднення 250–500 м від місця зупинки автотранспорту (рис. 3).

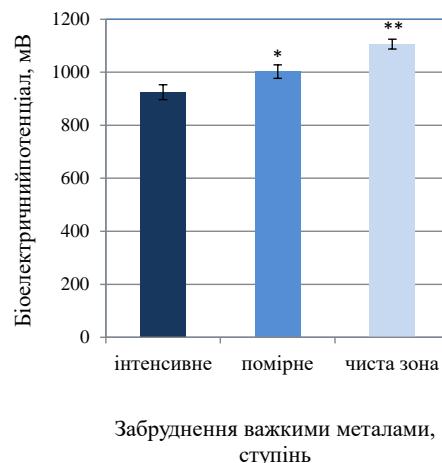


Рис. 3. Середній біоелектричний потенціал біотопів екосистем газонів уздовж автотрас ($x \pm SE$, $n=10$)

*Біоелектричний потенціал помірно забруднених зелених смуг істотно перевищує потенціал інтенсивно забруднених ($P < 0.05$).

**Фіто-мікробіоценози екосистем чистих газонів продукують суттєво вищу кількість біоелектрики в порівнянні з інтенсивно та помірно забрудненими газонними насадженнями ($P < 0.05$).

Було виявлено, що значне перевищення концентрації одного важкого металу, окрім елементів I групи небезпеки, як і незначне перевищення ГДК кількох важких металів, не є лімітуючим для отримання біоелектрики. Для прикладу, в кількох біотопах біля автотрас, де спостерігались досить високі середні значення біоелектричного потенціалу, 1101,6 мВ, незважаючи на зафіксоване значне перевищення вмісту міді, елементу II класу небезпеки, в 33,0 раза від її ГДК, проте перевищення норм решти важких металів є помірною, до 10 разів і це істотно не позначилось на біоелектропродуктивності цієї екосистеми (рис. 4 А). В екосистемах, в яких концентрація зразу кількох небезпечних токсикантів значно перевищує норму, зареєстровані одні з найнижчих значень біоелектрики. Так, наприклад, у біотопах, де рівень міді, кадмію і цинку перевищував норму в 49,7, 43,0 і 19,3 раза відповідно, середній біоелектричний потенціал був нижчим на 25,4% порівняно із середнім біоелектричним потенціалом чистих газонів (рис. 4 Б). Очевидно, значне перевищення вмісту кадмію та цинку, що належить до надзвичайно токсичних речовин I класу небезпеки, не могло не вплинути на розвиток бактерій та рослин, які визначають рівень біоелектропродуктивності екосистем.

Вплив температури, ступеню освітленості, кількості опадів і вологості ґрунту на рівень генерації біоелектрики біотопами екосистем зелених смуг вздовж автотрас міста з різним ступенем забруднення важкими металами мав складний характер. Наявність лише одного сприятливого фактору, як наприклад, сонячна безхмарна погода, чи висока вологість ґрунту, або сприятлива температура за наявності інших несприятливих факторів не призводили до генерації максимальних значень біоелектричного потенціалу (рис. 5). Лише за наявності цілого комплексу сприятливих факторів спостері-

гався ріст біоелектричного потенціалу у всіх проаналізованих екосистемах газонів із різним ступенем забруднення важкими металами. Так, наприклад, біоелектричний потенціал не зростав в умовах сприятливої температури і високої вологості ґрунту, але в умовах низького освітлення протягом дня чи сприятливої температури і оптимального освітлення впродовж дня, але низької вологості ґрунту (рис. 5). Проте в разі встановлення одночасно і оптимального рівня освітлення, і оптимальної вологості та температури рівень біоелектричного потенціалу суттєво зростав в екосистемах газонів зелених смуг уздовж автотрас, як інтенсивно та помірно забруднених важкими металами ($P < 0.05$), так і в екосистемах чистих газонів вдалині від автотрас ($p > 0.657$) (рис. 5). Екосистеми газонів, позбавлених дерев, на відміну від лісових, садових чи паркових екосистем, підпадають більш жорсткому впливу метеофакторів, тут відсутній сприятливий мутуалістичний вплив кореневої системи дерева, що акумулює вологу, створює окремий мікроклімат та підвищує адаптивні властивості екосистеми в протистоянні несприятливим погодним умовам.

Отримані результати вказують на перспективність техногенно забруднених екосистем газонних насаджень уздовж автотрас як джерела отримання біоелектрики. Простягаючись на десятки кілометрів, зелені смуги вздовж автомагістралей, що ніяк не використовуються, могли би стати важливим місцем для застосування технології рослинно-мікробної біоелектрики. Ця робота є початковою в цьому напрямі і в подальшому передбачає моніторинг біоелектропродуктивності біотопів газонів вздовж автотрас із використанням мультиелектродних систем для максимізації отримуваних показників біоелектрики.

Головні висновки. Газонні насадження зелених смуг, розмежовуючі міські автомагістралі з помірним техногенним забруднення продукують досить високі

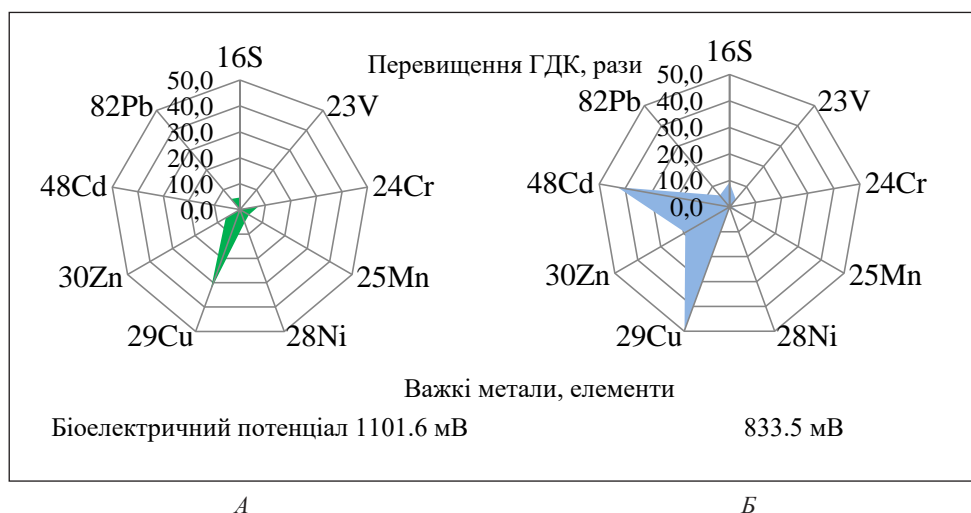


Рис. 4. Сумарний вплив перевищення вмісту важких металів I–III класу небезпеки на генерацію біоелектрики техногенно забрудненими фіто-мікробіоценозами ($\bar{x} \pm SE, n=10$)

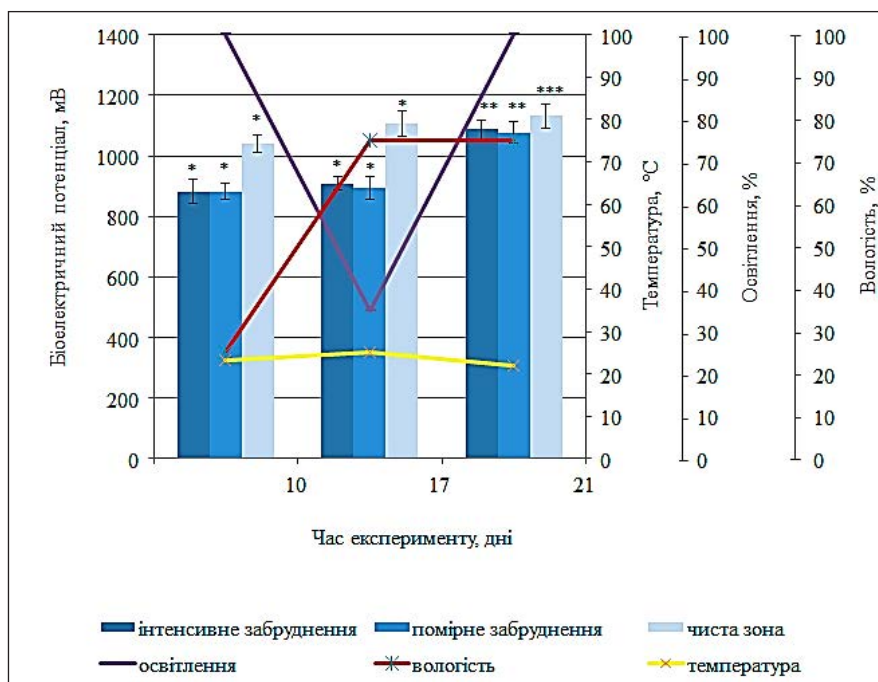


Рис. 5. Вплив факторів довкілля: вологості, температури, освітлення на генерацію біоелектрики біотопами екосистем газонних насаджень уздовж автотрас міста з різним ступенем забруднення важкими металами протягом 21 дня експерименту ($x \pm SE$, $n=10$)

* Різниця між рівнем біоелектричного потенціалу на 10-й день та 17-й день експерименту тих самих асоціацій за наявності одного несприятливого метеофактору при оптимальній решті є статистично несуттєвою ($p > 0.154$). **Зростання біоелектричного потенціалу на 21-й день при встановленні комплексу всіх сприятливих факторів довкілля є статистично достовірною в помірно та інтенсивно забруднених екосистемах ($P < 0.05$) та *** статистично неістотною в чистих газонах ($p > 0.657$)

значення біоелектричного потенціалу та є стійкими до забруднення важкими металами, що перевищують ГДК навіть до 10 разів, якщо сумарна кількість екоотоксикантів помірна і клас небезпеки елементів невисокий. На рівень генерованої біоелектрики біотопів газонів мають вплив температура довкілля, рівень освітлення та вологості ґрунту. Після встановлення ступеню контамінації поллютантами та від-

повідного зонування за рівнем забруднення і визначення біоелектропродуктивних зон, техногенно забруднені важкими металами газонні екосистеми вздовж міських трас мають перспективи використання для отримання біоелектрики. Біоелектрика газонних екосистем може виступати важливим індикатором її стану, наявності несприятливих факторів довкілля та потреби рекультивациї.

Література

1. Strik D.P.B.T.B., Hamelers H.V.M., Snel J.F.H., Buisman C.J. Green electricity production with living plants and bacteria in a fuel cell. *International Journal of Energy Research*. 2008. Vol. 32, № 9. P. 870–876. doi:10.1002/er.1397
2. Deng H., Chen Z., Zhao F. Energy from Plants and Microorganisms: Progress in Plant–Microbial Fuel Cells. *ChemSusChem*. 2012. Vol. 5. P. 1006–1011. doi: 10.1002/cssc.201100257
3. Wang J., Song X., Wang Y., Bai J., Li M., Dong G., Lin F., Lv Y., Yan, D. Bioenergy generation and rhizodegradation as affected by microbial community distribution in a coupled constructed wetland-microbial fuel cell system associated with three macrophytes. *Science of the Total Environment*. 2017. Vol. 607–608. P. 53–62. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.06.243
4. Wetsker K., Liu J., Buisman C.J.N., Strik D.P.B.T.B. Plant microbial fuel cell applied in wetlands: Spatial, temporal and potential electricity generation of *Spartina anglica* salt marshes and *Phragmites australis* peat soils. *Biomass & Bioenergy*. 2015. Vol. 83. P. 543–550. doi:10.1016/j.biombioe.2015.11.006
5. Kouzuma A., Kasai T., Nakagawa G., Yamamuro A., Abe T., Watanabe K. Comparative metagenomics of anode-associated microbiomes developed in rice paddy-field microbial fuel cells. *PLOS One*. 2013. Vol. 8, № 11, e77443. P. 1–10. doi: 10.1371/journal.pone.0077443
6. Sudirjo E., de Jager P., Buisman C.J.N., Strik D.P.B.T.B. Performance and Long Distance Data Acquisition via LoRa Technology of a Tubular Plant Microbial Fuel Cell Located in a Paddy Field in West Kalimantan. *Indonesia Sensors*. 2019. Vol. 19, № 4647. P. 1–18. doi:10.3390/s19214647

7. Джура Н.М., Мороз О.М., Русин І.Б., Кулачковський О.Р., Цвілинюк О.М., Терек О.І. Вплив рослин бобу кормового (*Vicia faba* var. *minor*) на функціонування мікробних асоціацій метаболізму азоту в забрудненому нафтою ґрунті. *Ґрунтознавство*. 2010. Том 11, № 3–4. С. 105–112.
8. Русин І.Б., Мороз О.М., Карабин В.В., Кулачковський О.Р., Гудзь С.П. Біодеградація вуглеводнів нафти дріжджами роду *Candida*. *Мікробіологічний журнал*. 2003. Том 65, № 6. С. 36–42.
9. Singh S., Parihar P., Singh R., Singh V.P., Prasad, S.M. Heavy Metal Tolerance in Plants: Role of Transcriptomics, Proteomics, Metabolomics, and Ionomics. *Frontier in Plant Science*. 2016. Vol. 6, № 1143. doi: 10.3389/fpls.2015.01143
10. Hassen A., Saidi N., Cherif M., Boudabous A. Resistance of environmental bacteria to heavy metals. *Bioresource Technology*. 1999. Vol. 64. P. 7–15. doi: 10.1016/S0960-8524(97)00161-2
11. Гройсман В. Стратегія удосконалення механізму управління в сфері використання та охорони земель сільськогосподарського призначення державної власності та розпорядження ними. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 7 червня 2017 р. № 413 / Кабінет Міністрів України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/413-2017-%D0%BF> (дата звернення: 25.06.2019).
12. Panagos P., Van Liedekerke M., Yigini Y., Montanarella L. Contaminated sites in Europe: review of the current situation based on data collected through a European network. *Journal of Environmental and Public Health*. 2013. Article ID 158764, 11 p. doi: 10.1155/2013/158764
13. Ozaki H., Watanabe I., Kuno K. Investigation of the heavy metal sources in relation to automobiles. *Water, Air, and Soil Pollution*. 2004. Vol. 157. P. 209–223. doi: 10.1023/B:WATE.0000038897.63818.f7.
14. Kabadayi F., Cesur H. Determination of Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Cd, and Mn in road dust of Samsun City. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2010. Vol. 168. P. 241–253. doi: 10.1007/s10661-009-1108-1.
15. Schauer J.J., Lough G.C., Shafer M.M., Christensen W.F., Arndt M.F., DeMinter J.T., Park J.S. Characterization of metals emitted from motor vehicles. Research Report. *Health Effects Institute*. 2006. Vol. 133. P. 1–76.
16. Hjortenkrans D.S.T., Bergback B.G., Haggerud A.V. Metal emissions from brake linings and tires: case studies of Stockholm, Sweden 1995/1998 and 2005. *Environmental Science & Technology*. 2007. Vol. 41. P. 5224–5230. doi: 10.1021/es070198o.
17. Гончарова Л.И., Манин К.В., Цыгвинцев П.Н. Сравнение чувствительности растений ячменя и бобов кормовых к загрязнению медью дерново-подзолистой почвы. *Агрохимия*. 2012. Том 10. С. 66–71.
18. Gomez J., Yunta F, Esteban E., Carpena R.O., Zornoza, P. Use of radiometric indices to evaluate Zn and Pb stress in two grass species (*Festuca rubra* L. and *Vulpia myuros* L.). *Environmental Science and Pollution Research*. 2016. Vol. 23. P. 23239–23248. doi: 10.1007/s11356-016-7546-8
19. Borymski S., Cycon M., Beckmann M., Mur L.A.J., Piotrowska-Seget Z. Plant Species and Heavy Metals Affect Biodiversity of Microbial Communities Associated With Metal-Tolerant Plants in Metalliferous Soils. *Frontiers in Microbiology*. 2018. Vol. 9, № 1425. P. 1–18. doi: 10.3389/fmicb.2018.01425
20. Khashij S., Karimi B., Makhdomi P. Phytoremediation with *Festuca arundinacea*: A Mini Review. *International Journal of Health and Life Sciences*. 2018. Vol. 4, № 2. e86625. doi: 10.5812/ijhls.86625
21. 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.
22. Sitko R., Zawisza B. Quantification in X-Ray Fluorescence Spectrometry. *X-Ray Spectroscopy*. Sharma S.K. (Ed). Jawaharlal Nehru University, Jawaharlal Nehru, 2012. P. 136–168. doi: 10.5772/29367
23. ГОСТ 17.4.4.02-84. Межгосударственный стандарт. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. *Охрана природы. Почвы* : Сборник ГОСТов. Москва : Стандартинформ, 2008.
24. ГОСТ 5180-2015. Межгосударственный стандарт. Ґрунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. Москва : Стандартинформ, 2005.
25. Duong T., Lee B.K. Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics. *Journal of Environmental Management*. 2011. Vol. 92, № 3. P. 554–562. doi: 10.1016/j.jenvman.2010.09.010.
26. Adamiec E., Jarosz-Krzeminska E., Wieszała R. Heavy metals from non-exhaust vehicle emissions in urban and motorway road dusts. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2016. Vol. 188. P. 369–379. doi: 10.1007/s10661-016-5377-1
27. Blau P. Compositions, functions, and testing of friction brake materials and their additives. Oak Ridge National Laboratory UT-Battelle, Report ORNL/M-5824 for U.S. Department of Energy, 2001. P. 3–24.
28. Adachia K., Tainoshob Y. Characterization of heavy metal particles embedded in tire dust. *Environment International*. 2004. Vol. 30. P. 1009–1017. doi: 10.1016/j.envint.2004.04.004.
29. ГН 2.1.7.12-1-2004. Гигиенические нормативы. Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве. Республиканские санитарные правила, нормы и гигиенические нормативы. Министерство здравоохранения Республики Беларусь. Минск, 2004.
30. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. Москва : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 15 с.
31. ГОСТ 17.4.3.06-86 (2008). Межгосударственный стандарт. Общие требования к классификации почв по влиянию на них химических загрязняющих веществ. *Охрана природы. Почвы* : Сборник ГОСТов. Москва : Стандартинформ, 2008.
32. Пименова Е.В. Нормирование качества окружающей среды и сельскохозяйственной продукции. Учебное пособие. Пермь : Изд-во Пермской ГСХА, 2009. 74 с.
33. Rusyn I.B., Namkalo Kh.R. Bioelectricity production in an indoor plant-microbial biotechnological system with *Alisma plantago-aquatica*. *Acta Biologica Szegediensis*. 2018. Vol. 62, № 2. P. 170–179. doi:10.14232/abs.2018.2.170-179.
34. Tou I., Azri Y.M., Sadi M.H., Lounici H., Kebbouche-Gana S. *Chlorophytum* microbial fuel cell characterization. *International Journal of Green Energy*. 2019. Vol. 16, № 12. P. 1–13. doi: 10.1080/15435075.2019.1650049
35. Аришьева С.П., Дикарев В.Г., Гераскин С.А., Дикарева Н.С., Санжарова Н.И., Удалова А.А. Продуктивность, морфологические и физиолого-биохимические показатели бобов кормовых, выращенных на загрязненной свинцом почве. *Агрохимия*. 2013. Том 2. С. 77–85.

АНАЛІЗ ПЕРЕДЧАСНОЇ СМЕРТНОСТІ НАСЕЛЕННЯ ЕКОЛОГО-НЕБЕЗПЕЧНОГО РЕГІОНУ

Салій І.В.¹, Павленко О.І.², Орськова О.В.²

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

²ДУ «Український науково-дослідний інститут промислової медицини»
вул. Виноградова, 40, 50096, м. Кривий Ріг, Дніпропетровська обл.

igor.salii@gmail.com, ndiprommed@gmail.com

Проведено аналіз передчасної смертності за основними нозологічними одиницями з урахуванням віку, статі мешканців еколого-небезпечного регіону та подвійного шкідливого навантаження на стан їхнього здоров'я через шкідливі умови праці й екологічні ризики. Встановлено, що рівень передчасної смертності становить 1705,95 на 100 тис. населення в еколого-небезпечному регіоні і у 1,05–1,37 рази перевищує аналогічний показник у контрольній групі, зокрема від злоякісних новоутворень – 228,09 на 100 тис. населення, або у 1,04–1,34 рази вище. Рівень загальної смертності вищий серед жінок, а показник дитячої смертності в еколого-небезпечному регіоні становить 12,38 на 100 тис. населення, що у 1,75 рази вище, ніж у контрольній групі. Доведено, що на збільшення рівня передчасної смертності населення працездатного віку має вплив екологічний фактор ризику, а саме те, що пов'язано з наявними шкідливими виробничими факторами та високим рівнем забруднення навколишнього середовища м. Кривий Ріг. Така ситуація призводить до соціально-економічних наслідків, які проявляються не лише у зменшенні років потенційного життя, але й у збільшенні безповоротних втрат унаслідок смерті, зниженні трудового потенціалу не лише регіону, а й країни загалом, деформації статеві-вікової структури населення, що негативно позначається на відтворенні населення та призводить до значних економічних збитків у державі. Одержані дані необхідно використовувати менеджерам, які відповідають за формування політики у сфері громадського здоров'я для визначення пріоритетних стратегій керування професійним та екологічним ризиком у мешканців еколого-небезпечного регіону і покращення стану здоров'я населення та збереження трудового потенціалу держави. *Ключові слова:* передчасна смертність, еколого-небезпечний регіон, здорові роки життя, трудовий потенціал, екологічні ризики, професійні ризики.

Analysis of premature mortality of the population of the ecological and dangerous region. Salii I., Pavlenko O., Oriekhova O.

The analysis was performed of premature mortality by basic nosological units, taking into account the age, sex of the inhabitants of the ecologically dangerous region and double the harmful burden on their health due to harmful working conditions and ecological risks. It was established that the rate of premature mortality is 1705,95 per 100 thousand of population in the ecological dangerous region and in 1,05–1,37 exceeds the similar indicator in the control group, in particular from malignant neoplasms – 228,09 per 100 thousand of population or in 1,04–1,34 times higher. The level of the overall mortality is higher among women, and the indicator of infant mortality in the ecological hazardous region is 12,38 per 100 thousand of population, which is in 1,75 times higher than in the control group. It is proved that the increase of the level of premature mortality of the working age population is influenced ecological risk factors, namely, due to the existing harmful production factors and high levels of contamination of ecological environment in Kryvyi Rih. This situation leads to socio-economic consequences, which are manifested not only in reducing the years of potential life, but also in increasing irreversible losses due to death, reducing labor potential not only in the region but also in the country as a whole, deforming gender and age structure, which negatively affects the reproduction of the population and leads to significant economic losses in the country. The data obtained should be used by managers who are responsible for policy making in the field of public health to identify priority occupational and ecological risk management strategies for residents of the ecologically dangerous region and improving the health of the population and preserving the labor potential of the state. *Key words:* premature mortality, ecologically dangerous region, healthy years of life, labor potential, ecological risks, occupational risks.

Постановка проблеми. Збитки від передчасної смертності є чинником, який негативно позначається на економічному розвитку України та є загрозою економічній і національній безпеці, що вимагає створення сучасних дієвих медико-екологічних механізмів збереження років потенційного життя і, відповідно, трудового потенціалу держави.

Актуальність досліджень. Значну долю випадків передчасної смерті можна передбачити і запобігти їм, якщо своєчасно проводити моніторинг причин смертності, що надалі дасть змогу створити принципово нову економічну стратегію сучасного розвитку

держави, забезпечить економічне зростання та підвищення рівня національної безпеки України.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.

Дослідження виконано в рамках НДР «Наукове обґрунтування та розробка системи заходів з оцінки ризиків здоров'ю і життю працюючого населення еколого-небезпечного регіону» за номером державної реєстрації 0120U100999 та НДР «Розроблення екологічно прийнятних технологій поводження з відходами гірничорудної та металургійної промисловості» за номером Державної реєстрації 0120U101148.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Стан здоров'я є ключовою якісною характеристикою населення, а благополуччя як стан здоров'я та висока тривалість життя є важливими передумовами, без яких неможливо забезпечити стабільне підвищення продуктивності праці, формування креативно-інноваційної зайнятості та економічне зростання [1].

Поширення неінфекційних захворювань та смертності, зокрема через професійну зайнятість населення та несприятливі екологічні чинники, набуває у світі масштабів епідемії та призводить до втрат економіки [2]. В Україні передчасна смертність є неприпустимо високою та набагато перевищує аналогічні рівні в розвинених країнах світу [3].

Смертність громадян через основні види неінфекційних захворювань призводить до сукупних збитків у 5% від річного глобального ВВП. Через передчасну смертність населення щорічно в Україні втрачається біля 4 млн років потенційного життя, а обсяг недовиробленого національного продукту сягає майже 90 млрд грн щороку [4].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Незважаючи на масив знань із діагностики, лікування та профілактики захворювань, які є потенційними джерелами передчасної смертності в мешканців Кривого Рогу, нині її рівень є вищим порівняно з умовно екологічно безпечними регіонами країни. Це потребує розробки дієвих заходів зі збереження трудового потенціалу держави з урахуванням подвійного негативного впливу на стан здоров'я несприятливих умов праці та екологічних чинників.

Новизна. Проведено аналіз передчасної смертності за основними нозологічними одиницями з урахуванням віку та статі мешканців еколого-небезпечного регіону з подвійним шкідливим навантаженням на стан здоров'я шкідливих умов праці та екологічних чинників.

Методологічне або загальнонаукове значення. Аналіз передчасної смертності виконано за даними статистичних звітів Державної служби статистики України та інтерактивної візуалізації «Причини смерті в Україні, 2018» (доступно за адресою <https://socialdata.org.ua/death/>). В аналізі враховано класи захворювань та окремі причини смерті в областях, районах та містах обласного значення України, стать померлих, вік померлих (5-річні вікові групи, а також додатково виділено групи «діти»/«дорослі»), тип населеного пункту (місто, село).

Виклад основного матеріалу. Нині встановлено тенденцію до скорочення чисельності населення України. Доведено, що в країні відбувається старіння нації, і, як наслідок, різке скорочення трудового потенціалу. Для України характерний звужений тип відтворення населення. На фоні збільшення загального рівня смертності в Україні зростають втрати новонароджених.

Передчасною вважають смерть, що трапилася раніше за очікувану тривалість життя. Очікувана тривалість життя в екологічно благополучних областях України становить 71,5 (71,05–71,95) років.

Загалом у м. Кривий Ріг у 2018 році померло 1705,95 осіб на 100 тис. населення, що у 1,05–1,37 раза перевищує аналогічний показник у Полтавській та Чернівецькій областях. У структурі смертності перше місце посідають хвороби системи кровообігу – 1115,50 на 100 тис. населення у м. Кривий Ріг, 903,77 – у Чернівецькій області та 1148,87 – у Полтавській. Друге місце займає смертність від злоякісних новоутворень, яка в основній групі в 0,95–1,34 раза перевищує показники контрольної групи та становить 228,08 на 100 тис. населення, в той час як у Чернівецькій області рівень смертності від злоякісних новоутворень становить 169,93 осіб. Третє місце у структурі смертності посідає смертність від хвороб органів травлення, яка у 1,69–2,69 раза перевищує аналогічний показник у контрольній групі. Наступне рангове місце – за смертністю від хвороб органів дихання, яка по м. Кривий Ріг становить 26,82 на 100 тис. населення, що у 1,06–1,34 раза більше ніж у контрольній групі.

Рівень загальної смертності по м. Кривий Ріг становить 1705,96 на 100 тис. населення, що у 1,05–1,37 раза вище ніж у контрольній групі. Рівень загальної смертності вищий серед жінок. Показник дитячої смертності становить 12,38 на 100 тис. населення, що у 1,75 раза вище ніж у Полтавській області. Пік загальної смертності по м. Кривий Ріг серед жінок припадає на вік 80–84 роки, чоловіків 65–69 та 75–79 років. Смертність серед чоловіків віку 15–19 років превалює над смертністю серед жінок і лише у віковій групі 70–74 роки жіноча смертність зрівнюється з чоловічою, а потім починає значно переважати чоловічу (табл. 1).

Рівень смертності від злоякісних новоутворень у м. Кривий Ріг становить 228,09 на 100 тис. населення, що у 1,04–1,34 раза вище ніж у контрольній групі. У 1,14 раза переважає чоловіча смертність. Починаючи з 25–29 років смертність від злоякісних новоутворень серед жінок м. Кривий Ріг превалює над чоловічою, а вже у віці 50 років чоловіча смертність значно перевищує жіночу і досягає піку у 65–69 років, а у жінок мають місце два пікові значення – 65–69 та 75–79 років.

За даними Організації Об'єднаних Націй, забруднення атмосферного повітря сприяло появі 3,2 млн нових випадків діабету в усьому світі у 2016 р. через запалення підшлункової залози та зниження здатності контролювати утворення інсуліну. Тому доцільним є проведення аналізу рівня смертності від злоякісних новоутворень підшлункової залози, яка становить 13,02 на 100 тис. населення у м. Кривий Ріг, що у 1,02–1,24 раза перевищує аналогічний показник у контрольній групі. За цим показником по м. Кривий Ріг та Чернівецькій області чоловіча

смертність превалює над жіночою, дитячу смертність не реєстрували. Смертність у Полтавській області серед жінок та чоловіків починається з поодиноких випадків у віці 30–34 роки і досягає свого піку серед чоловіків у віці 65–69 років. Жіноча смертність від злякисних новоутворень підшлункової залози має два пікові значення – 65–69 та 75–79 років, але за своїм рівнем вона менша за чоловічу. Смертність від злякисних новоутворень підшлункової залози у м. Кривий Ріг має таку картину: серед чоловічого населення був зафіксований перший випадок у віці 25–29 років; максимальна смертність припадає на вікову групу 65–69 років; серед жіночого населення смертність від злякисних новоутворень підшлункової залози починають реєструвати у віковій групі 45–49 років та на рівні 5–7 випадків до 80–84 років (табл. 1).

Рівень смертності від хвороб органів дихання у м. Кривий Ріг становить 26,82 на 100 тис. населення, що у 1,06–1,34 раза перевищує аналогічний показник контрольної групи. У гендерній структурі переважає чоловіча смертність як в основній, так і в контрольній групах. Як в основній, так і в контрольній групах мають місце випадки дитячої смертності від хвороб органів дихання. Смертність від хвороб органів дихання у м. Кривий Ріг фіксують від народження як серед хлопчиків, так і серед дівчат. Найвищий рівень смертності від цієї патології має місце у чоловіків вікової групи 60–69 років. У жінок цей показник значно нижчий та припадає на вікову групу 75–79 років. У Чернівецькій області також має місце дитяча смертність у цій групі. Пікове значення смертності серед чоловічого населення припадає на вікову групу 80–84 роки, а у жінок – 85–89 роки (табл. 1).

Смертність від хвороб органів травлення по м. Кривий Ріг становить 90,79 на 100 тис. населення, що у 1,69–2,69 раза більше ніж у контрольній групі. Випадки смертності від хвороб травлення серед дитячого населення мали місце лише

в Полтавській області та становили 0,07 на 100 тис. населення. Смертність від хвороб органів травлення серед чоловіків перевищує жіночу на понад 50%. Смертність від хвороб органів травлення у м. Кривий Ріг починається у жіночого населення у віковій групі 20–24 роки з піковим значенням у віковій групі 75–79 років. Чоловіча смертність має найбільшу кількість випадків у віковій групі 55–59 років. У Чернівецькій області також чоловіча смертність превалює над жіночою з найбільшою кількістю випадків чоловічої смертності від хвороб органів травлення у віковій групі 55–59 років, а жіночої – 65–69 та 75–79 років. Аналогічна ситуація і в Полтавській області (табл. 1).

Рівень смертності від гострого панкреатиту та інших хвороб підшлункової залози у м. Кривий Ріг становить 3,96 на 100 тис. населення, що у 1,31–2,01 раза більше, ніж у контрольній групі. Випадків дитячої смертності від цієї патології не було зареєстровано. Смертність серед чоловічого населення в основній групі становить 2,22 на 100 тис. населення, а у контрольній – 1,76–1,92 на 100 тис. населення. Отже, смертність від гострого панкреатиту та інших хвороб підшлункової залози у м. Кривий Ріг у 1,15–1,26 раза перевищує показники в контрольній групі. У гендерній структурі чоловіча смертність превалює над жіночою як в основній, так і в контрольній групі. Смертність від гострого панкреатиту та інших хвороб підшлункової залози у м. Кривий Ріг починають реєструвати у жінок у віці 25–29 років, чоловіків – 30–34 роки. Пік смертності серед жінок припадає на вікову групу 65–69 років, чоловіків – 75–79 років. У Чернівецькій області серед жіночого населення мали місце два піки смертності від гострого панкреатиту та інших хвороб підшлункової залози: у віковій групі 55–59 та 75–79 років, у той час як серед чоловічого населення смертність починається вже у віковій групі 25–29 років, зростаючи до 35–39 років з піковим значенням у віковій групі 70–74 роки (табл. 1).

Таблиця 1

**Смертність за основними нозологіями з урахуванням статі
в основній та контрольній групах на 100 000 населення**

Місто, регіон	м. Кривий Ріг				Полтавська область				Чернівецька область			
	Загалом	Чоловіки	Жінки	Діти	Загалом	Чоловіки	Жінки	Діти	загалом	Чоловіки	Жінки	Діти
Загальна смертність	1705,96	826,00	879,96	12,38	1622,47	789,46	833,01	7,06	1238,36	613,85	624,52	12,32
Злякисні новоутворення	228,09	121,74	106,34	0,79	218,35	120,08	98,27	0,69	169,93	99,21	70,72	0,44
Злякисні новоутворення підшлункової залози	13,02	7,30	5,71	0,00	12,69	5,49	7,20	0,00	10,45	5,72	4,73	0,00
Хвороби органів дихання	26,82	20,48	6,35	0,48	19,96	15,16	4,80	0,27	25,19	17,16	8,03	0,33
Хвороби органів травлення	90,79	51,90	38,89	0,00	53,49	32,16	21,33	0,07	33,66	22,00	11,66	0,00
У т.ч. гострий панкреатит та інші хвороби підшлункової залози	3,97	2,22	1,75	0,00	3,02	1,92	1,10	0,00	1,98	1,76	0,22	0,00

Рівень смертності населення м. Кривий Ріг на 100 тис. населення ($p \leq 0,05$)

Регіон	Вік, роки							Загалом
	25–29	30–34	35–39	40–44	45–49	50–54	55–59	
м. Кривий Ріг	15,6	28,8	45,1	61,4	82,0	115,9	149,7	163,4
Чернівецька область	6,2	11,7	21,0	32,9	45,1	72,6	105,3	124,9
Полтавська область	11,9	17,6	34,1	46,6	67,3	101,6	134,4	169,8

У Полтавському регіоні перші випадки смертності від гострого панкреатиту та інших хвороб підшлункової залози серед жіночого населення мають місце у віковій групі 20–24 роки, у чоловіків – 30–34 роки. Пік смертності як серед чоловіків, так і серед жінок припадає на вікову групу 65–69 років.

Аналіз коефіцієнта смертності у мешканців м. Кривий Ріг та мешканців екологічно благополучних областей (Чернівецька, Полтавська), за даними демографічного щорічника «Населення України» Державної служби статистики України за 2013–2018 роки, показав, що статистично достовірна різниця в рівні смертності має місце у віковому діапазоні 25–60 років. У старших і молодших діапазонах статистичної різниці не виявлено.

Аналіз смертності дорослого працюючого населення наведено в таблиці 2.

Під час аналізу рівня смертності у населення м. Кривий Ріг та порівняно з показниками у Чернівецькій та Полтавській областях встановлено, що рівень смертності у населення м. Кривий Ріг достовірно вищий, ніж в областях, де відсутні джерела забруднення навколишнього середовища, а рівень шкідливих хімічних речовин в атмосферному повітрі не перевищує допустимі нормативи. У Полтавській області, яка географічно розташована в безпосередній близькості до Дніпропетровської та має нижчі показники рівнів хімічних забруднювачів у навколишньому середовищі, показники смертності населення реєструють на значно нижчому рівні. Отже, можна вважати, що на збільшення рівня передчасної смертності населення працездатного

віку має вплив додатковий фактор ризику – екологічний, що пов'язано з високим рівнем забруднення навколишнього середовища м. Кривий Ріг.

Головні висновки. Рівень передчасної смертності становить 1705,95 на 100 тис. населення в еколого-небезпечному регіоні, що у 1,05–1,37 рази перевищує аналогічний показник смертності в контрольній групі. Рівень смертності від злоякісних новоутворень (228,09 на 100 тис. населення) у 1,04–1,34 рази вище ніж у контрольній групі. Рівень загальної смертності вищий серед жінок. Показник дитячої смертності в еколого-небезпечному регіоні становить 12,38 на 100 000 населення, що у 1,75 рази вище ніж у контрольній групі. Така ситуація призводить до соціально-економічних наслідків, які проявляються не лише у зменшенні років потенційного життя, але й у збільшенні розмірів безповоротних втрат унаслідок смерті, зниження трудового потенціалу не лише регіону, а й країни загалом, деформації статево-вікової структури населення, що негативно позначається на відтворенні населення та призводить до значних економічних збитків у державі.

Перспективи використання результатів дослідження. Одержані дані з аналізу передчасної смерті необхідно використовувати менеджерам, які відповідають за формування політики у сфері громадського здоров'я для визначення пріоритетних стратегій із керування професійним та екологічним ризиком у мешканців еколого-небезпечного регіону і покращення стану здоров'я населення та збереження трудового потенціалу держави.

Література

1. Левчук Н.М. Здоров'я і тривалість життя в Україні у контексті формування передумов інноваційної зайнятості. *Демографія та соціальна економіка*. 2017. № 1(29). С. 54–65.
2. Заюков І.В. Оцінка економічних втрат через передчасну смертність населення України працездатного віку. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2018. № 5. С. 25–32. DOI: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2018-140-5-25-32>
3. Керецман А.О. Обсяг і структура втрачених років потенційного життя від хвороб органів травлення у Закарпатській області. *Україна. здоров'я нації*. 2016. № 4/1(41). С. 127–133.
4. Рингач Н.О. Економічний еквівалент втрат через передчасну смертність в Україні. *Демографія та соціальна економіка*. 2016. № 2. С. 39–49.

ЕКОЛОГІЯ ТА ЕКОНОМІКА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

УДК 504.06+504.73.03:574.47+592:630.22

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.3-30.11>

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНОЇ СТРУКТУРИ ФІТОРІЗНОМАНІТТЯ ПОЛЕЗАХИСНИХ ЛІСОСМУГ НА ПОЛЯХ ОРГАНІЧНОГО ТА ТРАДИЦІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

Мірошник Н.В.¹, Лавров В.В.², Грабовський М.Б.², Грабовська Т.О.², Тесленко І.К.¹

¹ДУ «Інститут екології Національної академії наук України»
вул. академіка Лебедева, 37, 03143, м. Київ

²Білоцерківський національний аграрний університет
пл. Соборна, 8/1, 09117, м. Біла Церква, Київська область
miroshnik_n_v@mail.ru, grabovskatiana@gmail.com

Мета статті – здійснити порівняльний аналіз екологічної структури фіторізноманіття полезахисних лісосмуг на полях органічного та традиційного виробництва. Встановлено, що насадження з розвиненим підростом і підліском є трансформованими внаслідок довготривалої відсутності лісівничого догляду, відпаду до 33,2% дерев, зрідження едіфікаторного ярусу. Відбулась часткова зміна домінантів, активізувався розвиток другого ярусу та перебудова конструкції деревостанів. Тому зімкнутість деревного намету в широких лісосмугах досі збереглася високою (0,72–0,81). Це забезпечує підтримання в них умов лісового середовища, сприятливих для птахів, інших видів біоти, а також достатній потенціал захисту агроугідь від негативних абіотичних чинників. У результаті природної перебудови конструкції деревостанів ослаблені дерева-домінанти змінилися супутніми породами і занесеними іншими видами. Вужчі, продувні, напівпродувні з розривами деградовані лісосмуги недостатньо виконують середовищестетвірні функції та інші екосистемні послуги, особливо з півдня органічних полів та з півночі традиційних. Проте різноманіття рослин у лісосмугах доволі високе незалежно від їх конструкції та суміжних полів, тобто вони певною мірою виконують функції збереження оселищ біоти. У деревних ярусах полезахисних лісосмуг домінують види змішаних екологічних стратегій, зокрема віоленти–пацієнти. Також переважають адвентивні деревні види рослин, зокрема, види-трансформери з широким фітоценотичним діапазоном. У трав'яному ярусі домінують рудеранти (36,5%) та адвентивні види (24,5%), порушення співвідношень геліофітів (невелика кількість (2,4%) тіньюлюбних рослин) та наявність (20,3%) нітрофілів у трав'яному ярусі вказує на розбалансованість структури лісосмуг за відсутності господарського догляду. Частка деревних видів зі змішаною життєвою стратегією становить 60%, що свідчить про трансформацію середовища лісосмуг під впливом різних антропогенних факторів, які змінюють умови зволоження та трофності ґрунту. *Ключові слова:* деревна рослинність, екосистема, просторова структура, трав'яний покрив, угруповання, яруси.

Comparative analysis of the ecological structure of phytodiversity of field protective forests in the fields of organic and traditional production. Miroshnyk N., Lavrov V., Grabovskyi M., Grabovska T., Teslenko I.

The aim of the article is to carry out a comparative analysis of the phytodiversity ecological structure of field protective forest belts in the fields of organic and traditional production. It is established that plantations with developed undergrowth and no undergrowth are transformed due to long-term lack of forestry care, loss of up to 33.2% of trees, liquefaction of the edificatory tier. There was a partial change of dominants, intensified the development of the second tier and restructuring of the structure of stands. Therefore, the closure of the wooden tent in the wide forest belts is still high (0.72–0.81). This ensures that they maintain forest conditions favorable for birds, other species of biota, as well as sufficient potential to protect agricultural land from negative abiotic factors. As a result of the natural reorganization of the structure of the stands, the weakened dominant trees were replaced by concomitant species and other species. Narrower, wind-permeable, semi-permeable with gaps degraded forest shelter belts do not sufficiently perform ecosystem services, especially from the south of organic fields and from the north of traditional ones. However, the diversity of plants in forest belts is quite high regardless of their design and adjacent fields, they to some extent perform the function of preserving biota habitats. The tree layer of field protective forest belts are dominated by types of mixed ecological strategies, in particular patients-violets. Adventive tree plant species, in particular, transformer species with a wide phytocenotic range, also predominate. The grass layer is dominated by ruderal species (36.5%) and adventitious species (24.5%), heliophyte ratios (a small number (2.4%) of shade-loving plants) and the presence (20.3%) of nitrophils in grasses. It indicates an imbalance in the structure of forest belts in the absence of economic care. The share of tree species with a mixed life strategy is 60%, which indicates the transformation of the forest belt environment under the influence of various anthropogenic factors that change the conditions of trophic soil and moisture. *Key words:* tree vegetation, ecosystem, spatial structure, grass cover, groups, tiers.

Постановка проблеми та актуальність дослідження. Для захисту земель від несприятливих екологічних чинників, підвищення їх продуктивності й покращення екологічних умов місцевості понад

200 років в Україні ефективно використовують методи агролісомеліорації, дотримуючись ландшафтно-екологічних принципів. Лісові насадження різного цільового призначення і конфігурації розміщують

у ландшафтах із метою найбільш раціонального та оптимального їх співвідношення з урахуванням рельєфу та особливостей землекористування [1–4]. На землях сільськогосподарського призначення створюють системи полезахисних лісосмуг (ПЗЛ). Це дає змогу створити доволі стабільний простір і робить землеробство більш екологічним та ефективнішим і водночас сприяє збалансованому використанню, збереженню та відтворенню біотичних та абіотичних ресурсів ландшафтів, впровадженню положень Європейської ландшафтної конвенції [2]. Проте зростання антропогенного впливу порушує структуру лісів, у т.ч. захисних, фрагментує їх, знижує їх продуктивність і стійкість, скорочує період існування, що зумовлює зменшення їх здатності виконувати екосистемні функції [5–10]. Посилення процесів урбанізації, розвитку транспортних мереж, господарського освоєння ландшафтів призводить до фрагментації та знищення оселищ, синантропізації рослинного покриву, космополітизації і збіднення флори зелених зон міст, антропогенізації ландшафтів. У регіонах із родючими землями, таких як Лісостеп України, за тривалий період розвитку аграрного виробництва мало збереглось природної рослинності і лісів. Так, наприклад, індекс сільськогосподарського освоєння території Київської області становить 0,59, розораність – 74,2% [11], а загальна лісистість за різними джерелами становить 19,4% [2] або 22,2% [12]. У Сквирському районі, де знаходиться об'єкт дослідження, вона утричі менша – 6,4% за оптимуму – 7,6% [11]. У таких аграрних районах чи не єдиними коридорами сполучення фрагментів природних екосистем, розділених біотопів, залишками природного каркасу територій стають комплекси захисних лісових насаджень, насамперед полезахисних лісосмуг. Ці лісосмуги певною мірою забезпечують міграцію диких тварин як екологічні коридори екомережі [13–14]. Проте створення ПЗЛ в Україні, у т.ч. Київській області, різко знизилось наприкінці ХХ ст., особливо у середині 1980-х рр. [2]. Так, у 1971–1980 рр. на Київщині їх щорічно висаджували в середньому по 223 га, в 1981–1990 рр. – 65 га, в 1991–2000 рр. – по 24 га, у Сквирському районі створення ПЗЛ знижувалось відповідно так: 56, 11 та 4 га. А в наступних роках на півдні області їх взагалі не садили [15]. Внаслідок земельної реформи, зміни цільового використання земель з 1990-х рр. припинили функціонування міжрайонні агролісомеліоративні станції, що забезпечували створення захисних насаджень і догляд за ними. Це зумовило їх антропогенне пошкодження, несанкціоноване вирубування, що прискорило погіршення санітарного стану, порушення структури, збільшення їх фрагментації. У наш час знижується продуктивність і стійкість лісосмуг, відбувається їх зрідження, деградація, скорочується період існування, що зумовлює значне зменшення здатності їх виконувати захисні та інші екосистемні функції

[1; 3; 10; 14]. Усе зазначене підвищує актуальність проблеми збереження захисних лісів та охорони біорізноманіття саме в аграрних ландшафтах. Особливу тривогу викликає можливість втрати генофонду рідкісних рослин і тих, що перебувають під загрозою зникнення. Є певна надія, що збереженню біорізноманіття посприятиме активний розвиток у світі і в Україні органічного виробництва сільськогосподарської продукції, орієнтоване на екологічні принципи землекористування та максимальне використання потенціалу біологічних методів захисту рослин [10; 13; 14; 16].

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження виконано відповідно до цілей, сформульованих у EU 2030 biodiversity strategy та New EU Forest Strategy (the last quarter of 2020).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Завершені різноцільові системи ПЗЛ як структурна частина багатофункціонального ландшафту, здатні не лише ефективно підвищувати врожайність с.-г. культур, гетерогенності ландшафту, надають важливі екосистемні послуги (секвестрація вуглецю, збереження біорізноманіття, збагачення ґрунтів та запобігання ерозії, підвищення якості повітря і води), загалом можуть забезпечувати збалансоване землекористування [3; 5–8]. Ландшафтна неоднорідність середовищ існування підсилює також збереження птахів і опосередковані птахами послуги по боротьбі зі шкідниками в інтенсивному сільському господарстві. Трав'яний ярус та ярус підліску, крім важливої екологічної ролі для птахів та інших тварин, зумовлюють природне поновлення деревних порід, є основними центрами біорізноманіття та індикатором стабільності лісових екосистем [5–9]. Вивчення флори антропогенно перетворених ділянок та процесів синантропізації, адвентивізації рослинності є одним із пріоритетних напрямів сучасної науки України, про що свідчать роботи Р.І. Бурди, Т.В. Васильєвої, Я.П. Дідуха, О.В. Лукаша, В.В. Протопопової, М.В. Шевери та багатьох інших.

Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Мета роботи – здійснити порівняльний аналіз екологічної структури фіторізноманіття полезахисних лісосмуг на полях органічного та традиційного виробництва.

Новизна. Таке дослідження проведено перше.

Методологічне або загальнонаукове значення. Вивчення трансформації екосистем та ландшафтів на різних рівнях організації сприятиме кращому розумінню процесів, що супроводжують ці явища та глибшому вивченню середовищотвірних та інших екосистемних послуг досліджених ПЗЛ.

Дослідження проводили на єдиній сертифікованій в Україні Сквирській дослідній станції органічного виробництва ІАП НААН (Київська область). За фізико-географічним районуванням

України ця територія належить до Північно-Східної Придніпровської височинної та Київської височинної областей Подільсько-Придніпровського лісостепоного краю Лісостепоної недостатньо зволоженої теплої зони Східноєвропейської рівнинної ландшафтної країни [17]. Територія дослідження має загальнодержавне значення у структурі національної екологічної мережі.

ПЗЛ досліджували у червні 2019 р. маршрутним методом навколо полів органічного та традиційного виробництва (40 га). На полях органічного виробництва у сівозміні зростають культури розторопша, соя, пшениця озима, гречка, овес. Традиційна сівозмінна включає сою, пшеницю озиму, гречку. Просторову структуру (конструкцію/будову) лісосмуг, їх видовий склад та санітарний стан деревостану досліджували методами лісознавства [18–20]. Трав'яний ярус лісосмуг досліджували з урахуванням їх таксаційної та санітарної характеристик методами [21]. Надано латинські назви [22]. Біоморфологічна структура рослинності наведена за [23]. Екоморфічний аналіз здійснювали з доповненнями [24; 25]. Назви родин вказані за системою [26]. Нами оцінено тип вегетативної рухливості рослин (темп вегетативного розмноження) як інтегральний показник ступеня стійкості виду у фітоценозі, передумови його спроможності до захвату та утримання життєвого простору [27].

Для синекологічного визначення ступеня антропогенної трансформації ПЗЛ (крім I_c деревостану) оцінювали також наслідки для трав'яного ярусу зміни середовища екосистеми – за співвідношенням у травостої терофіти/геофіти та за TG-індексом (ITG). $ITG = (G - T) / (G + T)$, де T , G – частки терофітів та геофітів у видовому складі травостою. Має діапазон значень [-1; 1], для синантропних ценозів TG-індекс від'ємний [28].

Типи екологічних стратегій рослин описували за схемою Раменського – Грайма [29]. Життєві форми рослин наведено за Раункієром [21; 30]. Проективне покриття трав'яних видів оцінювали за шкалою Браун-Бланке [30], де 1 бал – до 5%, 2 – 5–25%, 3 – 25–50%, 4 – 50–75% і 5 – 75–100%. Індекс адвентизації рослинності (окремо для деревного та трав'яного ярусів) встановлювали як частку заносних видів від загальної чисельності видів на певній тестовій ділянці. Зміну екологічних умов виявляли за структурою трав'яного ярусу, використовуючи шкали Д.М. Циганова [31]. Для оцінки α -різноманіття рослин використовували індекси різноманітності [32]:

$$H' = -\sum(P_i \times \ln P_i) \text{ Shannon};$$

$$DMn = S / \sqrt{N} \text{ Menchinick};$$

$$DMg = (S - 1) / \ln N \text{ Margalef};$$

Індекс вирівненості $Ep = H' / Lg S$ Pielou, де N_i – чисельність кожного виду, N – загальна кількість особин (кількість особин на гектар), $P_i = N_i / N$ – відносна чисельність видів або гільдії, N_{max} – чисельність найбільш масового виду, S – число зареєстрованих

них видів. Статистичну обробку даних здійснювали із застосуванням комп'ютерної програми Microsoft Excel.

Виклад основного матеріалу. Поля органічного виробництва сільськогосподарської продукції захищають чотири середньовікові лісосмуги:

– із заходу розміщена ПЗЛ-1 – 4-рядна щільна двоярусна лісосмуга шириною (В) 20,0 м і висотою (Н) 17,4 м. В I ярусі основна порода – *Fraxinus excelsior* L. індексом стану (I_c) 1,37 з домішкою *Populus nigra* L. ($I_c=1,42$), *Robinia pseudoacacia* L.; у II ярусі – *Populus laurifolia* Ledeb., *F. excelsior*, *Ulmus laevis* Pall., *U. minor* Mill. та сильно ослаблена ($I_c=3,47$) *Robinia pseudoacacia* L. Це знижує загальний стан лісосмуги. Самовільно проникли у деревостан *Juglans regia* L., *Populus tremula* L. та *Acer negundo* L. *A. negundo* (висотою 17,4 м) у зоні узлісь (74,3% їхньої території) формує непродувне суцільне узлісся. Незначна зімкнутість крон (0,58) сприяє розвитку підросту і підліску та збільшенню ЗПП до 38,1%. Цей вид домінує також у підрості, витісняючи *Acer pseudoplatanus* L., *U. minor*, *F. excelsior* (висота – 6,4 м) та самосів *J. regia* та *Malus domestica* Borkh. Через незначну зімкнутість кронного намету підріст, а також підлісок добре розвинуті і з часом можуть замінити основний деревостан. У підліску поширені *Prunus serotina* Ehrh., *Sambucus nigra* L., *Ligustrum vulgare* L., *Crataegus monogyna* JACQ., *Padus avium* Mill;

– ПЗЛ-2 захищає поля з півночі. Це – 7-рядна найбільш щільна трьохярусна лісосмуга (В=35,0 м; Н=24,3 м) із розвиненими підростом і підліском. В I ярусі основна порода – *Populus nigra* L. (діаметр 86 см, висота 23,8 м, $I_c=2,28$) з домішкою *P. laurifolia* (діаметр 82 см, висота 22,3 м; $I_c=2,23$). II ярус сформований різновіковими *Quercus robur* L. ($I_c=1,34$), *Fraxinus pennsylvanica* Marshall, *Juglans cinerea* L., *Ulmus minor* Mill., *U. laevis*. Ярус доповнили занесені види – *R. pseudoacacia*, *Cerasus avium* (L.) Moench, *J. regia* і особливо *A. negundo* (Н=6,3–18,6 м), який сформував щільне узлісся (63% їх території). Проте він недовговічний і швидко втрачає життєздатність ($I_c=3,16$). У III ярусі багато різновікових видів. *Q. robur*, *F. excelsior*, *U. laevis*, *R. pseudoacacia*, *J. regia*, *P. laurifolia*, *C. avium* та ін. Підріст пригнічений через високу зімкнутість кронного намету (0,81) з *R. pseudoacacia*, *Q. robur*, *C. avium*, *F. excelsior*, *A. negundo*. Підлісок розвинений переважно на узліссі висотою до 12 м. *S. nigra*, *Prunus cerasifera* Ehrh., *P. serotina*, *P. avium*, *Swida sanguinea* (L.) Opiz., *L. vulgare*. Більшість цих рослин під наметом відпали внаслідок затінення. Проектна ширина ПЗЛ була 50,0 м (10 рядів дерев, міжряддя – 5 м, у міжряддях – ряди чагарників). У 2018 р. було проведено лісовідновну рубку припольової смуги завширшки 15 м (три ряди дерев). На вирубці відбувається активне відновлення видів дерев підросту від пеньків (висотою до 2,3 м), вільні ділянки зайняті

щільним трав'яним покривом у вигляді біогруп. Інші ознаки антропогенного впливу: залишки спалювання порубних решток – 1,2% її площі, засміченість – 25,6% площі ПЗЛ, відпад дерев – 33,2%, ЗПП трав'яного ярусу у «вікнах» намету – 45,2%;

– ПЗЛ-3 розміщена на східному боці поля. Лісосмуга 2-рядна, одноярусна, щільна шириною (В) 16,0 м та висотою (Н) 22,6 м. Головна порода – *Populus laurifolia* Ledeb., супутні – *Q. robur*, *F. pennsylvanica*, *F. excelsior*, *U. laevis* та ін.; занесені – *Q. rubra* L., *J. regia*, *Pyrus communis* L., *A. negundo*, *P. tremula*, *C. avium*. Лісосмуга має два яруси основного деревостану та добре розвинений третій ярус молодих дерев і чагарників (підріст середньою висотою 7,5 м і підлісок – 0,7–3,8 м). Основний деревостан ослаблений (Ic=2,23). На стовбурах дерев є зрізані гілки і механічні пошкодження (сумарна площа ран на ПП 2,1 м²), подекуди утворилися дупла. Зімкнутість крон едифікаторного ярусу – 0,72. Відпад основної породи становить 26,8%: 23,6% дерев зрубано, 3,2% – старий сухостій. Підріст сформований *Quercus robur* L., *Fraxinus excelsior* L., *U. laevis*, *Malus domestica* Borkh., *Pyrus communis* L. висотою 7,5 м, *J. cinerea* (висотою 0,7–3,8 м), *Q. rubra* висотою 9,5 м. Підлісок здоровий, сформований *Sorbus aucuparia* L., *Prunus serotina* Ehrh., *Swida sanguinea* (L.) Opiz., *Cerasus vulgaris* Mill., *Sambucus nigra* L., *Ligustrum vulgare* L., *Rosa canina* L. ЗПП трав'яного ярусу в лісосмузі 31,2%;

– з півдня від поля розміщена ПЗЛ-4. Фактично – це 1-, 2- та 3-рядні залишки деградованої лісосмуги, які ми розділили, відповідно, на три секції (С1, С2, С3). Вони істотно відрізняються за шириною (В=4,0–12,0 м) та висотою (Н=12,5–14,2 м) деревостану; за щільністю, а значить, за позахисною здатністю –

відповідно, продувна, напівпродувна та щільна. На цей час ці фрагменти ПЗЛ мають різні головні породи: *U. laevis* (С1), *F. excelsior* (С2), *U. minor* (С3). Вони сформовані різною кількістю супутніх та заносних видів деревних і чагарникових порід. Особливо це добре видно по підросту і підліску, які й виконують основну захисну та середовищевірну роль. Попри значне руйнування конструкції і втрату щільності, ці фрагменти лісосмуги все ж таки не мають пошкоджених особин дерев. Внаслідок істотної зрідженості деревного намету (С1=0,62; С2=0,51; С3=0,55) травостоєм захоплено, відповідно, 42,8%, 25,2% та 17,6% території цих трьох фрагментів лісосмуги.

Поля традиційного виробництва захищені дендросадам (східний бік), плодовим садом (із півдня), насадженнями господарського двору (західний бік) і лише з півночі лісосмугою ПЗЛ-5. Це – 2-рядна продувна, фрагментована та дуже зріджена (зімкнутість крон 0,25) одноярусна лісосмуга *Betula pendula* Roth (В=24,0 м; Н=16,8 м). Супутні породи трапляються поодинокі: *Fraxinus excelsior* L., *Picea abies* (L.) Н. Karst.), *Malus domestica* Borkh., *Juglans cinerea* L. Подекуди є особини підросту і підліску. ЗПП трав'яного ярусу – 92,8%.

Для з'ясування відмінностей між позахисними лісосмугами на полях органічного та традиційного виробництва проведемо порівняльний аналіз екологічної структури дендрофлори цих ПЗЛ. Серед геліоморф (табл. 1) в усіх ПЗЛ переважають геліофіти та геліосціофіти через зрідження та розмноження вида – трансформера *A. negundo*, що заважає вторинному розмноженню аборигенних видів деревних рослин, та відповідно, змиканню деревного намету. За водним режимом переважають мезофіти, за вимогами до трофності ґрунту – мезотрофи. Нітрофіли

Таблиця 1

Структура біо- та екоморф дендрофлори ПЗЛ, %

Фактори	Життєва форма	Загалом, %	Органічне виробництво, %	Традиційне виробництво, %
Біоморфи за І.Г. Серебряковим (1962)	Дерева	77,4	76,7	78,5
	Чагарники	21,3	22,2	20,3
	Ліани	1,3	1,1	1,2
Тип вегетативної рухливості	Вегетативно малорухливі	38,6	30,0	35,7
	Вегетативно не рухливі	32,3	30,0	42,9
	Вегетативно рухливі	29,1	40,0	21,4
Геліоморфи	Геліофіти	64,5	63,3	57,1
	Сціогеліофіти	6,5	6,7	7,2
	Геліосціофіти	29,0	30,0	35,7
Гідроморфи	Ксеромезофіти	9,7	10,0	7,1
	Мезогігрофіти	3,2	3,3	14,3
	Мезоксерофіти	12,9	13,3	0
	Мезофіти	74,2	73,4	78,6
Трофоморфи	Мегатрофи	12,9	13,3	21,4
	Мезотрофи	80,6	80	71,4
	Оліготрофи	6,5	6,7	7,2
	з них нітрофіли	6,5	17,2	28,6

становлять 5–6,5%, знайдені нами масово біля полів органічного виробництва. Трапляється в усіх ПЗЛ 5 (16,7%) деревних нітрофілів – *Acer negundo* L., *Sambucus nigra* L., *Rubus caesius* L., *Parthenocissus quinquefolia* (L.) Planch. *Swida sanguinea* (L.) Opiz. знайдена нами лише у ПЗЛ біля полів органічного виробництва.

Встановлено, що в усіх ПЗЛ домінують види змішаних екологічних стратегій, зокрема віоленти-патієнти (CS, 62%, 59% відповідно). Це стійкі до стресу, нестачі ресурсів та конкурентно сильні види *P. laurifolia*, *P. nigra*, *P. communis*, *U. laevis*, *J. regia* тощо. Рослини з С-стратегією (експлеренти) за чисельністю (16%, 21% відповідно; *Quercus rubra* L., *Sambucus nigra* L.) займають друге місце і переважають біля поля традиційного виробництва, що вказує на порушення умов існування. На третьому місці – S-стрес-толеранти (12%, 14%; *Cerasus vulgaris* Mill., *C. monogyna*). Незначно (5,9%) представлені види вторинної стратегії SR (інтродуцент *Parthenocissus quinquefolia* (L.) Planch). Адвентивні види зі стратегією CR (поєднання ознак віолентності і експлерентності; *Acer negundo* L., *Robinia pseudoacacia* L.) становлять 2–6%, зустрічаються більше у ПЗЛ, що біля поля неорганічного виробництва. Це дуже сильні конкуренти – експансивні трансформери, з тривалим онтогенезом, ценопопуляції яких охоплюють кілька стадій сукцесій [33].

Досліджена дендрофлора усіх ПЗЛ налічує 30 видів із 22 родів та 12 родин. Відділ *Pinophyta* становить 3,3% видів, Відділ *Magnoliophyta* – 96,7% (табл. 2). Загалом дерев 77,4%, чагарників – 21,3%, ліан – 1,3%. Найповніше систематичну структуру рослинності відображає відсоткове співвідношення

видів із різних родин. Але через значну розбалансованість насаджень систематична структура в цих ПЗЛ порушена. Зокрема, на першому місці родина *Rosaceae* (8 видів), на другому *Salicaceae* (4 види), на третьому – *Ulmaceae*, *Oleaceae*, *Fabaceae* (по 3 види), інші 7 родин містять по 1–2 види.

До Відділу *Magnoliophyta* належать 29 деревних видів (органічне виробництво) та 13 (традиційне виробництво) (табл. 3). До Відділу *Pinophyta* належить 1 вид – *Picea abies* (L.) H. Karst. Адвентивних видів – 15, з них 7 зустрічається біля полів традиційного виробництва. Індекс адвентизації дендрофлори становить 50,0%, що зумовлено прямим втручанням людини (висаджуванням інтродуцентів), меншою мірою – саморозселенням видів-трансформерів *A. negundo*, *R. pseudoacacia*, *Juglans* L. [33]. Здичавілі інтродуценти (ергазіофіти) становлять майже 30% від адвентивних видів, із них найбільше поширені північноамериканські види: *A. negundo*, *R. pseudoacacia*, *Q. rubra*, *P. quinquefolia* (L.) Planch.

Виявлено, що ПЗЛ навколо полів органічного виробництва мають добре розвинений підріст. Проте вони доволі відрізняються кількістю рядів дерев (від 1 до 7) зімкнутістю крон дерев едифікаторного ярусу – від 0,5 до 0,8, відповідно, ступенем затінення нижніх ярусів фітоценозу. У щільних і широких деревостанах елімінували майже усі особини чагарників, висаджених між деревами. Їх замінили привнесені природними чинниками інші види чагарників та деревних видів підліску.

У трав'яному ярусі ПЗЛ виявлено 102 судинних рослини (74 – органічні поля, 79 видів – традиційні поля) з 32 родин та 85 родів. У розподілі видів між класами на *Liliopsida* припадає 14,7%, на

Таблиця 2

Систематична структура дендрофлори ПЗЛ

Родина	Загалом		Органічне виробництво		Традиційне виробництво	
	шт.	%	шт.	%	шт.	%
Відділ <i>Pinophyta</i>						
Pinaceae	1	3,2	1	3,2	1	3
Відділ <i>Magnoliophyta</i>						
<i>Aceraceae</i>	2	6,5	2	6,1	2	14,5
<i>Adoxaceae</i>	1	3,1	1	3,1	1	7,3
<i>Betulaceae</i>	1	3,2	1	3,3		
<i>Cornaceae</i>	1	3,2	1	3,3	1	7,1
<i>Fabaceae</i>	3	9,7	3	10,1		
<i>Juglandaceae</i>	2	6,5	2	6,7	2	14,5
<i>Oleaceae</i>	3	9,7	2	6,7		
<i>Rosaceae</i>	8	29	8	30,5	2	18,2
<i>Salicaceae</i>	4	12,9	4	13,3	1	9,7
<i>Ulmaceae</i>	3	9,7	3	10,4	3	21,2
<i>Vitaceae</i>	1	3,3	1	3,3	1	4,5
Разом	30	100	29	100	14	100

Magnoliopsida – 83,3%, загальне співвідношення кількості видів *Liliopsida*: *Magnoliopsida* дорівнює 1:6. До класу *Polypodiopsida* належать 2 види – *Equisetum arvense* L., *E. fluviatile* L., рослин із класу *Bryopsida* нами не виявлено. Серед 10 провідних родин трав'яних рослин, як і в більшості голарктичних флор [24], на першому місці за представництвом знаходиться *Asteraceae* – 22 види або 21,6% від загальної кількості видів (17 видів – органічні поля, 21 вид – традиційні поля). Така висока позиція родини характерна майже для всіх природних флор земної кулі. *Poaceae* (15 видів, 14,7%) – на другому місці; *Brassicaceae* – 6 видів, або 5,9%, з них 3 види – органічні поля, 6 видів – традиційні поля; *Fabaceae*, *Polygonaceae* по 5 видів, або 4,9%, *Caryophyllaceae* та *Lamiaceae* – по 4 види або 3,9%, 5 родин містять по 3 види, або 2,9%; 14 родин мають по 1 виду (1,9%), майже всі їх представники – адвентивні рослини, які є археофітами та/або карантинними бур'янами (*Portulaca oleracea* L., *Amaranthus retroflexus* L., *Asclepias syriaca* L., *Fumaria officinalis* L., *Anagallis arvensis* L. (ANGAR)), представники родин *Vitaceae* (*Vitis vinifera* L.) та *Polygonaceae* (*Fagopyrum esculentum* Moench) – втікачі з культури. Частка перших за чисельністю 7 родин становить 59,8% (61 вид) від загальної кількості видів. Для досліджених ПЗЛ характерна наявність у родинному спектрі *Urticaceae* – шосте місце та *Plantaginaceae* – сьоме місце. Родина *Ariaceae* у ПЗЛ займає досить високе 7 місце, що наближається до синантропної флори України. Родини *Polygonaceae*, *Euphorbiaceae* займають 4 та 6 місце відповідно.

Біоморфологічний спектр трав'яних рослин свідчить про наявність особливостей пристосувань трав'яного покриву до антропогенних змін (табл. 4). Нами встановлено, що в усіх досліджуваних ПЗЛ кількість однорічних та багаторічних видів майже однакова. За структурою надземних пагонів безрозеткових видів найбільше, причому біля органічних полів їх більше, ніж біля традиційних. За структурою підземних пагонів у ПЗЛ на обох типів полів домінують види без утворень, потім – довгокореневищні, яких трохи більше біля традиційних культур. Тут переважають рослини зі стрижневою кореневою системою.

У ПЗЛ переважають вегетативно нерушливі види (55–57%; *Arctium lappa* L., *Artemisia absinthium* L., *Cannabis ruderalis* Juseh., *Urtica urens* L., *Poa annua* L. тощо), що свідчить про їх адаптацію до сформованих екологічних умов агроландшафту та ПЗЛ: особливий мікроклімат під наметом насаджень; міграція рослин під намет лісосмуг із прилеглих територій (агроугідь, закрайків полів, доріг, селітебних територій), меншою мірою – зворотний потік насіння рослин із ПЗЛ. Аналіз за кліматоморфами показав, що в усіх ПЗЛ переважають гемікриптофіти, що характерно для Голарктики, особливо геофіти – відповідно 16,2 та 16,5%. За відношенням

Таблиця 3

Кількісні показники таксонів дослідженої дендрофлори ПЗЛ

Кількісні показники, шт.	Органічні поля	Традиційні поля
Кількість родин	29	14
Кількість родів	24	13
Кількість видів	29	14
Відділ <i>Pinophyta</i> , видів	1	1
Відділ <i>Magnoliophyta</i> , видів	29	13

до світла переважають геліофіти, далі за чисельністю – тіншовитривалі види (25 та 21% у ПЗЛ біля органічних і «традиційних» полів відповідно). В усіх досліджених ПЗЛ найбільше (49–54%) рудерантів, силвантів менше майже удвічі. Адвентивний компонент флори займає 24,5% (32 види), що свідчить про значну вторинну антропогенну трансформацію екотопів. Трапляється *Reynoutria japonica* Houtt., що включений до списку найнебезпечніших інвазивних видів за версією МСОП. Батьківщина цього виду – північно-західний Китай, Японія, Корея, Курильські острови [34]. Ця пізньоквітуча рослина в умовах України дає насіння лише зрідка, оскільки воно не встигає визрівати, тому вона поширюється завдяки швидкому вегетативному розростанню [35]. Але за потепління клімату можуть виникнути спалахи розмноження її насінням. Початковий етап експансії характеризується появою із занесеного насіння невеликих клонів, які швидко розростаються, займаючи дедалі більшу площу. На другому етапі експансії вид формує суцільні та щільні зарості, в яких гинуть усі інші види рослин унаслідок конкуренції. Площа таких заростей може сягати 0,02–0,03 га і більше. В Україні цей вид ще зустрічали в Олевському районі Житомирської області [34], в урбанофлорі м. Чернівці [36], у флорі Хотинської височини (Прут-дністровське межиріччя) [37]. Достовірної різниці між структурою трав'яного ярусу за співвідношеннями біо-екоморф, терофіти/геофіти (2,4) та індексом *ITG* (-0,4) у лісосмугах біля полів органічного і традиційного виробництва не виявлено (табл. 4), хоча від'ємне значення *ITG* вказує на трансформацію умов існування досліджених трав'яних видів.

Приуроченість рослин до певного екотопу відображає тип їх екологічної стратегії у фітоценозі. Нами виявлено, що у всіх ПЗЛ домінують види перехідних груп екологічних стратегій за Раменським – Граймом (61,5%), зокрема рослини з CR-стратегією (22–28%) (наприклад, *Ambrosia artemisifolia* L., *Artemisia vulgaris* L., *Arctium lappa* L., *Linaria vulgaris* Mill., *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Galium aparine* L.), їх більше на 6% біля поля традиційного виробництва. Рослин із CS стратегією 18 видів 23% (*Alopecurus pratensis* L., *Arrhenatherum elatius* (L.) J. Presl & C. Presl, *Dactylis glomerata* L., *Agrimonia eupatoria* L., *Anagallis arvensis* L. (ANGAR), *Equisetum*

Порівняння структури життєвих форм трав'яного ярусу ПЗЛ

Ознаки життєвих форм	Життєва форма	Органічні поля		Традиційні поля	
		кількість	%	кількість	%
Тривалість життєвого циклу	Однорічні, малорічні	38	51,4	40	50,6
	Багаторічні	36	48,7	39	49,4
Структура надземних пагонів	Повзучі	5	6,7	5	5,8
	Розеткові	13	17,2	16	20,1
	Безрозеткові	53	73,4	54	70,7
	Дерновинні	2	1,5	3	2,3
	Ліаноподібні (виткі)	1	1,2	1	1,1
Структура підземних пагонів	Довгокореневищні	17	24,3	20	26,6
	Короткокореневищні	10	14,9	16	20,3
	Без утворень	40	51,5	39	48,1
	Пучкокореневі	7	9,5	4	5,1
Тип кореневої системи	Стрижнева	57	77,0	65	82,3
	Мичкувата	16	23,0	14	17,7
Тип вегетативної рухливості	Вегетативно рухливі	20	27,0	20	26,6
	Вегетативно малорухливі	12	17,6	13	16,5
	Вегетативно не рухливі	42	55,4	46	57,0
Клімаморфи (життєві форми за Раункієром)	Фанерофіти	1	1,4	0	0
	Хамефіти	2	2,7	2	2,5
	Терофіти	29	39,2	31	39,2
	Гемікриптофіти	31	40,5	34	41,8
	Геофіти	11	16,2	12	16,5
Геліоморфи	Геліофіти	53	71,6	61	77,2
	Сціогеліофіти	19	25,7	16	21,5
	Сціофіти	2	2,7	2	1,3
Ценоморфи (за Бельгардом)	Сильванти	18	24,3	16	20,3
	Пратанти	11	14,9	15	19,0
	Степанти	5	6,8	8	11,4
	Рудеранти	40	54,1	40	49,4
	Адвентивні	32	24,5	24	23,5
	Нітрофіли	15	20,3	15	19,0

fluviatile L., *Humulus lupulus* L., *Lotus corniculatus* L.). З SR-стратегією (7 видів, 8,4%) наявні *Erodium cicutarium* (L.) L'Hér., *Myosotis arvensis* (L.) Hill., *Trifolium arvense* L. Із CRS-стратегії (11 видів, 13,9%) домінують *Achillea millefolium* L., *Plantago major* L., *Lolium perenne* L., *Poa trivialis* L., *Sagina procumbens* L., *Torilis japonica* (Houtt.) DC., *Trifolium repens* L. З первинних типів стратегій домінують види-експлеренти (R-стратегіи, 22–31%). Зокрема, їх на 9% більше біля полів органічного виробництва (*Euphorbia pepus* L., *Lamium purpureum* L., *Papaver rhoeas* L., *Persicaria maculosa* S.F. Gray, *Thlaspi arvense* L., *Stenactis annua* (L.) Cass., *Cannabis ruderalis* Juseh.). Домінування експлерентів серед первинних типів свідчить про порушеність умов

існування трав'яних видів у межах досліджених ПЗЛ. Найменше виявлено видів-віолентів (С-стратегів, 4 види, 1,4–4%), особливо біля органічних полів (*Cirsium arvense* (L.) Scop., *Alopecurus pratensis* L.). Пацієнти не знайдені нами у ПЗЛ. Індекс біорізноманіття Шеннона для всіх ПЗЛ 4,2, вирівняність за Пієлу 0,90 (для органічних полів) та 0,88 (для традиційних полів). Індекс різноманіття Менхінка – 6,1 та 6,4 відповідно, Індекс різноманіття Маргалефа – 14,7 та 15,5 відповідно. Таким чином, фіторізноманіття доволі високе, і майже немає відмінностей між органічним та традиційним виробництвом.

Оскільки досліджувані ПЗЛ – це середньовікові деревостани, доцільно оцінити ступінь їх збереженості (руйнації) за шкалами Циганова. Встановлено,

що в ПЗЛ звужена амплітуда за режимом затінення-освітлення (Lc), підвищений рівень вологості ґрунту (Nd). Насадження біля поля неорганічного виробництва відрізняються дещо розширеною амплітудою за омбро- (Om) та кріорежимом (Cr) порівняно з деревостанами навколо органічних полів (рис. 1).

Головні висновки та перспективи використання результатів дослідження. Більшість досліджених полезахисних лісосмуг значно трансформовані внаслідок тривалої відсутності лісогосподарського догляду. Про це свідчить структура видів у фітоценозах: домінування адвентивних видів-трансформерів у деревостані; значна частка рудерантів (54,0%) і адвентивних видів (24,5%); порушення співвідношень геліофітів (невелика кількість тіньюлюбних рослин) та наявність (20,3%) нітрофілів у трав'яному ярусі. 60% деревних видів зі змішаною життєвою стратегією свідчить про пристосування цих рослин до несприятливих для них умов, спричинених відсутністю заходів догляду, змін умов зволоження та трофності ґрунту. Лише у 2–7-рядних, ширших і щільних лісосмугах сформувався едифікаторний ярус зімкнутістю 0,72–0,81 і сприятливе для біоти середовище. Це відбулось внаслідок природної перебудови конструкції деревостанів шляхом зміни ослаблених дерев-домінантів супутніми поро-

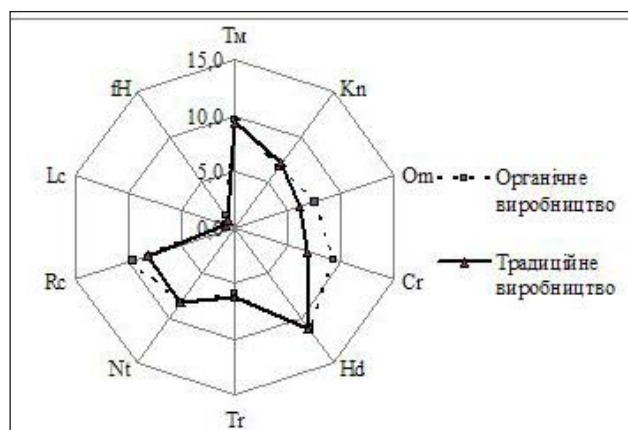


Рис. 1. Екологічна характеристика біотопа за фітоіндикаційними шкалами Циганова

дами і занесенням інших видів. Вужчі, продувні, напівпродувні з розривами деградовані лісосмуги недостатньо виконують середовищеві функції та інші екосистемні послуги, особливо з півдня органічних полів та з півночі традиційних. Проте різноманіття рослин у лісосмугах доволі високе незалежно від їх конструкції та суміжних полів, тобто вони певною мірою виконують функції збереження оселищ для тварин.

Література

1. Гладун Г.Б., Трофименко М.Е., Лохматов М.А. Захисні лісові насадження: проектування, вирощування, впорядкування. Харків : Нове слово, 2005. 390 с.
2. Стадник А.П. Ландшафтно-екологічна оптимізація систем захисних лісових насаджень України : дис. ... д-ра наук : 03.00.16 «Екологія»; Ін-т агроеколог. УААН. Київ, 2008. 60 с.
3. Фурдичко О.І., Стадник А.П. Основи управління агроландшафтами України. Київ : Аграр. наука, 2012. 384 с.
4. Протиерозійні лісові насадження яружно-балкових систем : монографія / В.Ю. Юхновський, С.М. Дударець, В.М. Малюга та ін. Київ : Кондор, 2013. 511 с.
5. Holland J.M., Douma J.C., Crowley L. et al. Semi-natural habitats support biological control, pollination and soil conservation in Europe: A review. *Agron. Sustain. Dev.* 2017. 37:31. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0434-x>
6. Kedziora A. The network of shelterbelts as an agroforestry system controlling the water resources and biodiversity in the agricultural landscape. *Papers on global change.* 2015. 22. DOI: 10.1515/igbp-2015-0016 P. 63–82
7. Ranjith P. Udawatta, Lalith M. Rankoth and Shibu Jose Agroforestry and Biodiversity. *Sustainability.* 2019. 11 (10). P. 1–22. DOI: 10.3390/su11102879 www.mdpi.com/journal/sustainability
8. Buchanan S., Baskerville M., Oelbermann M., Gordon A., Thevathasan N., Isaac M. Plant Diversity and Agroecosystem Function in Riparian Agroforests: Providing Ecosystem Services and Land-Use Transition. *Sustainability.* 2020. Vol. 12(2). P. 1–12. DOI: 10.3390/su12020568
9. Lavrov V.V., Miroshnyk N.V., Grabovska T.O., Yashchenko S.A. The herbaceous tier analysis in protective forest plantations, Ukraine. *Phytologia Balcanica.* 2019. 25 (3): 345–361. URL: http://www.bio.bas.bg/~phytolbalcan/PDF/25_3/contents.html
10. Системний підхід як методологічна основа для оцінки і зменшення загроз біорізноманіттю (лісові екосистеми). Оцінка і напрямки зменшення загроз біорізноманіттю України / О.В. Дудкін, А.В. Єна, М.М. Коржнев та ін.; відп. ред. О.В. Дудкін. Київ : Хімджест. 2003. С. 156–273.
11. Ракоїд О.О. Агроекологічна оцінка земель сільськогосподарського призначення : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 03.00.16 «Екологія»; Ін-т агроеколог. УААН. Київ, 2007. 21 с.
12. Загальна характеристика лісів України на 01.04.2016. URL: http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/publish/article?art_id=62921
13. Лавров В.В., Фурдичко О.І. Лісова галузь України у контексті збалансованого розвитку: теоретико-методологічні, нормативно-правові та організаційні аспекти. Київ : Вид-во «Основа». 2009. 424 с.
14. Лавров В.В., Житовоз А.В., Сагдеева Т.Ю. Захисні лісові насадження у зонах можливих конфліктів транспортної та екологічної мереж. *Агроекологічний журнал.* 2016. № 4. С. 15–24.
15. Ліси Київщини. URL: <https://kyivlis.gov.ua/lisy-kyuivshhyu>
16. Грабовська Т.О., Лавров В.В. Політика органічного сільського господарства України – шлях до європейських стандартів. Аграрна політика Європейського Союзу: виклики та перспективи. Київ, 2019. С. 444–453.

17. Дідух Я.П., Шеляг-Сосонко Ю.Р. Геоботаничне районування України та суміжних територій. *Укр. бот. журнал*. 2003. Т. 60, № 1. С. 6–17.
18. Анучин И.П. Лесная таксация. Москва : Лесн. пром-ть, 1977. 512 с.
19. Моніторинг та підвищення стійкості антропогенно порушених лісів : Збірник рекомендацій УкрНДІЛГА / Упорядники: В.П. Ворон, В.В. Лавров, М.А. Бондарук та ін. Харків : Нове слово, 2011. 304 с.
20. Санітарні правила у лісах України : Постанова Кабінету Міністрів України № 555 від 27 липня 1995 р. Київ, 1995. 20 с.
21. Миркин Б.М., Наумова Л.Г., Соломещ А.И. Современная наука о растительности. Москва : Логос, 2001. 264 с.
22. Mosyakin S.L., Fedoronchuk M.M. Vascular Plants of Ukraine. A nomenclature Checklist. Kiev. 1999. 345 p.
23. Серебряков И.Г. Экологическая морфология растений. Москва : Высшая школа, 1962. 378 с.
24. Тарасов В.В. Флора Дніпропетровської і Запорізької областей. Вид. друге, доповнене та виправлене. Дніпропетровськ : Ліра-2012. 296 с.
25. Екофлора України. Том 1 / Я.П. Дідух, П.Г. Плюга, В.В. Протопопова та ін.; за ред. Я.П. Дідух. Київ : Фітосоціоцентр, 2000. 284 с.
26. Takhtajan A. Flowering plants. 2nd edition. Springer. 2009. 752 p.
27. Раменский Л.Г. Избранные работы. Проблемы и методы изучения растительного покрова. Ленинград : Наука, 1971. 334 с.
28. Гончаренко І.В. Фітоіндикація антропогенного навантаження. Дніпро : Середняк Т.К., 2017. 127 с.
29. Grime J.P. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *The American Naturalist*, 111, 1977. P. 1169–1194. URL: <http://www.jstor.org/stable/2460262>
30. Raunkiaer C. Life Forms of Plants and Statistical Geography. Oxford. 1934. 632 p.
31. Цыганов Д.Н. Фитоиндикация экологических факторов в подзоне хвойношироколиственных лесов. Москва : Изд-во «Наука», 1983. 198 с.
32. Magurran A.E. Measuring biological diversity. Oxford: Blackwell Publishing. 2004. 215 p. <https://doi.org/10.2989/16085910409503825>
33. Протопопова В.В., Шевера М.В., Федорончук М.М., Шевчик В.Л. Види – трансформери у флорі середнього Придніпров'я. *Укр. ботан. журнал*. 2014. Т. 71. № 5. С. 563–572.
34. Тарасевич О.В. Розповсюдження адвентивних видів трав'янистих рослин на Поліссі та можлива загроза для лісового господарства. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2012. Вип. 121. С. 88–94.
35. Hollingsworth M.L., Bailey J.P. Evidence for massive clonal growth in the invasive weed *Fallopia japonica*. *Bot. J. of the Linnean Society*. 2000. Vol. 133 (4). P. 463–472.
36. Коржан К.В. *Reynoutria japonica* Houtt. та *R. sachalinensis* (F. Schmidt ex Maxim.) Nakai (*Polygonaceae*) на території м. Чернівці. *Актуальні проблеми ботаніки та екології* : матеріали міжн. конф. молодих учених. Київ, 2008. С. 101–102.
37. Никирса Т.Д. Флора Хотинської височини (Прут-дністровське межиріччя): аналіз, порівняльна характеристика й охорона : автореф. дис. ... канд. біол. наук : 03.00.05 «Ботаніка». Київ, 2007. 21 с.

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО СТОКУ ГІРСЬКИХ РІЧОК ЗА ВИРУБКИ ЛІСІВ ТА РОЗОРЮВАННЯ СХИЛОВИХ ТЕРИТОРІЙ

Снітинський В.В., Хірівський П.Р., Гнатів І.Р.

Львівський національний аграрний університет
вул. Володимира Великого, 1, 30831, м. Дубляни, Львівська область
petrokhirivskiy@i.ua, gnativ13@gmail.com

Зростання темпів урбанізації та зростання населення призводять до того, що антропогенне навантаження на водні об'єкти постійно збільшується. Використання значної частини річкового стоку та відведення в річки стічних вод призводить до збільшення забруднення і замулення річкових русел.

Аналіз особливостей динаміки річкового потоку, екологічних показників і руслового процесу в межах територій Карпатського регіону необхідний для оцінки та дослідження впливів цих факторів на стан річкової мережі. Гірські екосистеми Карпат мають вагомое значення для кліматичних процесів на значній території усіх прикарпатських територій. Особливістю цієї місцевості є переважання влітку внутрішньої гірсько-долинної циркуляції повітря. Водночас над горами формуються умови, які часто провокують інтенсивні дощі і буревії, посилюючи ризики виникнення раптових паводків, що призводять до зростання темпів водної ерозії.

Швидкому наростанню паводків, формуванню зсувів ґрунту та руйнівних селевих потоків сприяють гідрогеологічні особливості регіону. Половина площ карпатських схилів піддається впливу зсувних процесів, а на 70% гірських водозборів розвиваються селеві явища різної інтенсивності. При цьому режим прибережних захисних смуг майже скрізь порушується, не проводяться заходи згідно з програмами охорони довкілля щодо їх залуження та заліснення. Це додатково збільшує активність поверхневого стоку, підсилює водну ерозію та замулення річкових русел і джерел, що їх живлять.

Негативний вплив на якість води річок Карпатського регіону спричиняє потрапляння забруднених сільськогосподарських та комунально-побутових стоків, а також побутового і промислового сміття в природне середовище, особливо залишки нафтопродуктів із прилеглих територій.

Розглянуто проблему впливу антропогенного навантаження на загальний екологічний стан водних об'єктів і властивості руслових відкладень, які визначають хід руслових процесів. Встановлено взаємозв'язок стану водного об'єкта, якості води в ньому і рівня забруднення донних відкладень. *Ключові слова:* антропогенне навантаження, водні об'єкти, забруднення річкових русел, ерозійні процеси, донні відкладення, екологічні показники, русловий процес.

Features of surface runoff formation of mountain rivers during deforestation and plowing of slope areas. Snitynskyi V., Khirivskiy P., Hnativ I.

Rising urbanization and population growth mean that the anthropogenic pressure on water bodies is constantly increasing. The use of a significant part of river runoff and the discharge of wastewater into rivers leads to increased pollution and siltation of riverbeds.

Analysis of the peculiarities of the dynamics of river flow, environmental indicators and channel process within the Carpathian region is necessary to assess and study the effects of these factors on the state of the river network. The mountain ecosystems of the Carpathians are important for climatic processes in a large area of all Carpathian territories. The peculiarity of this area is the predominance of internal mountain-valley air circulation in summer. At the same time, conditions are formed over the mountains, which often provoke intense rains and storms, increasing the risk of sudden floods, which lead to an increase in water erosion.

Hydrogeological features of the region contribute to the rapid increase of floods, formation of landslides and destructive mudflows. Half of the area of the Carpathian slopes is affected by landslides, and 70% of mountain catchments develop mudflows of varying intensity. At the same time, the regime of coastal protection strips is violated almost everywhere, no measures are taken according to environmental protection programs for their meadow and afforestation. This further increases the activity of surface runoff, enhances water erosion and siltation of riverbeds and their sources.

The negative impact on the water quality of the rivers of the Carpathian region is caused by the ingress of polluted agricultural and municipal wastewater, as well as household and industrial waste into the natural environment, especially the remnants of oil products from the surrounding areas.

The problem of the impact of anthropogenic load on the general ecological condition of water bodies and the properties of channel sediments, which determine the course of channel processes, is considered. The relationship between the state of the water body, the quality of water in it and the level of pollution of bottom sediments has been established. *Key words:* anthropogenic load, water bodies, pollution of riverbeds, erosion processes, bottom sediments, ecological indicators, channel process.

Постановка проблеми. Останніми роками велика увага приділяється екологічним проблемам водозборів річок, які суттєво трансформуються в результаті техногенного впливу на природне середовище. Малі річки мають більш низьку здатність до самоочищення, тому швидше піддаються забрудненню, в результаті чого погіршується їх екологічний стан. З огляду на свою природну вразливість вони насамперед реагують на вирубування лісів та розорювання прибережних територій. Оцінка сту-

пеня трансформації водозборів, принципи і методи оцінки геоecологічної ситуації має важливе значення для подальшого використання річкових басейнів [1].

Зростання темпів урбанізації та зростання населення призводять до того, що антропогенне навантаження на водні об'єкти постійно збільшується. Вилучення значної частини річкового стоку та відведення в річки стічних вод призводить до прогресуючого забруднення і замулення річкових русел. Аналіз особливостей динаміки річкового потоку, екологічних показників і руслового процесу в межах територій Карпатського регіону необхідний для оцінки та дослідження впливів цих факторів на стан прилеглої річкової мережі [2].

Актуальність дослідження. Гірські екосистеми Карпат мають вагомe значення для кліматичних процесів на значній території усіх прикарпатських територій. Особливістю цієї місцевості є переважання влітку внутрішньої гірсько-долинної циркуляції повітря. Водночас над горами формуються умови, які часто провокують інтенсивні дощі і буревії, посилюючи ризики виникнення раптових паводків, що призводять до зростання темпів водної ерозії.

Вагому роль у формуванні паводків у басейні Дністра відіграє стан лісових ландшафтів. Ліс виконує важливі екологічні функції, серед яких – водохоронні та ґрунтозахисні. Його достатня наявність сприяє регуляції поверхневого стоку та гідрологічного режиму, протидії ерозії ґрунтів і стабілізації річкових русел.

Швидкому наростанню паводків, формуванню зсувів ґрунту та руйнівних селевих потоків сприяють гідрогеологічні особливості регіону. Половина площ карпатських схилів піддається впливу зсувних процесів, а на 70% гірських водозборів розвиваються селеві явища різної інтенсивності. При цьому режим прибережних захисних смуг майже скрізь порушується, не проводяться заходи згідно з програмами охорони довкілля щодо їх залуження та заліснення. Це додатково збільшує активність поверхневого стоку, посилює водну ерозію та замулення річкових русел і джерел, що їх живлять.

Держава в особі правоохоронних, контролюючих та водогосподарських органів допустила масштабний варварський видобуток річкового каменю, гравію та піску просто в руслах прикарпатських річок та на землях водного фонду. Ця протиправна, жодним чином не регламентована практика посилює руйнівну дію паводків, спричинює міграцію русел, створює аварійні ділянки, загрозу змиву великих територій берегів, у тому числі в населених пунктах [3].

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями полягає в розробленні рекомендацій з оптимізації моніторингу рівнів води для прогнозування паводків та виявлення змін руслових процесів і якості природних вод.

Оцінка параметрів перенесення й акумуляції відкладів русла р. Стрий отримана за моніторинговими спостереженнями, а дослідження якості води в басейні річки проведено особисто авторами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Обстеження ґрунтів у Львівській області показало інтенсивний розвиток ерозії, її залежність від властивостей ґрунтів, особливостей схилів, заліснення, кліматичних та інших умов, серед яких основною є ступінь розораності земель.

Одним із проявів нераціонального використання природних ресурсів є інтенсивне розорювання схилів і практично повна відсутність протиерозійних заходів. Посилення процесів ерозії поверхні ґрунтового покриву зумовлене також занепадом лісомеліорації, погіршенням стану полезахисних лісосмуг, нехтуванням основними правилами землекористування. Ерозія ґрунтів відбувається в усіх районах області. Особливо актуальними є дослідження для передгірських та гірських районів Карпат.

Негативний вплив на якість води річок Карпатського регіону спричиняє потрапляння забруднених сільськогосподарських та комунально-побутових стоків, а також побутового і промислового сміття в природне середовище, особливо залишки нафтопродуктів із прилеглих територій [4].

Понад 90% територій у горах – це схили. Ерозія ґрунтів, зсуви та селеві потоки є наслідками ненормативного використання гірських територій, що призводить до їх деградації та розвитку негативних процесів гірських районів [5].

Дослідження коливань максимального стоку води річок має важливе наукове й практичне значення. Знання мінливості стоку води карпатських річок сприяє розробкам нових методик його визначення і прогнозуванню паводків та підтоплення прилеглих територій [6].

Протягом останніх років головними причинами деградації ґрунтового покриву Українських Карпат та Передкарпаття стали зсуви, селі та ерозія. Варто зазначити, що ці небезпечні схилі процеси активізуються під дією природних і антропогенних факторів.

Катастрофічні стихійні явища 2008 та 2010 років у Карпатському регіоні були зумовлені одночасною дією природних факторів, а саме надмірне насичення ґрунту вологою та потужні зливи, які були посилені факторами антропогенного впливу. Одночасно визнано, що серед причин, що сприяли активізації зсувних і селевих потоків, розвитку ерозії ґрунтів у горах, поряд із надмірними опадами є надмірна вирубка лісів [5].

За інтенсивністю прояву та наслідками стихійних процесів Карпати належать до регіонів із пануванням руйнівних явищ. Це паводки, ерозія ґрунту, селі, зсуви, вітровали, снігові лавини, що нерідко спричиняють людські жертви і завдають значних збитків економіці. Загалом на Карпати припадає 32% неспри-

ятливих метеорологічних явищ України. За останні три катастрофічні паводки 1998, 2001 і 2008 рр. збитки сягали понад 4 млрд грн та загинуло 50 осіб. За масштабами шкідливих явищ регіон посідає перше місце в державі [7].

Надмірне зволоження, гірський рельєф та незначна потужність ґрунтів Карпат створюють умови для частого виникнення паводків і сприяють ерозійним процесам. Основним природним заходом запобігання цим негативним явищам є лісовий покрив [8].

Інтегральним показником гідрологічної ролі лісу є ступінь його впливу на формування режиму річкового стоку. Тому під час оцінювання гідрологічної ролі лісу для річкових басейнів пропонують, передусім, враховувати основні фактори водного режиму гірської території. Як основний показник поглинальної здатності лісового покриву на таких водозбірних басейнах рекомендують приймати відсоток лісистості, а показники його ефективності. Це зменшення максимального стоку води під час паводків та збільшення меженного стоку в сухі сезони року [9].

Новизна. Новизну роботи становлять оцінка зміни середньої витрати поверхневих вод річки

Стрий та зміна параметрів стоку за 2010–2018 рр., а також сезонні коливання витрат завислих і рухомих наносів.

Виклад основного матеріалу. Основними проблемами з охорони земельних ресурсів у передгірських районах є зменшення вмісту поживних речовин у ґрунтах, їх водна ерозія і недостатня рекультивация земель. Особливістю рільництва в Карпатському регіоні є те, що воно проводиться за значних схилів.

Масове вирубування лісів у досліджуваному регіоні проводилось на величезних площах, що простягалися від річкових долин до верхньої межі лісу. Це спричинило активізацію шкідливих геоморфологічних процесів, а саме площинної та лінійної ерозії гірських ґрунтів, селевих потоків і катастрофічних повеней. Значно впливає на деформацію русел гірських рік видобування в руслових кар'єрах значних об'ємів гравійно-галькових відкладень [10].

Були проведені обстеження силових територій на водозбірному басейні р. Стрий. Досліджено активізацію ерозійних процесів унаслідок господарської діяльності (рис. 1). Встановлено порушення вимог Водного кодексу України, а саме розташування жит-



а



б

Рис. 1. Розвиток ерозійних процесів внаслідок господарської діяльності:

а) знищення ґрунтового-рослинного покриву суцільною вирубкою лісу [4]; б) випасання великої рогатої худоби [5]



а



б

Рис. 2. Розташування будівництва на прибережній захисній смужі р. Стрий у 2020 р.: а) с. Тишівниця; б) смт. В. Синьовидне

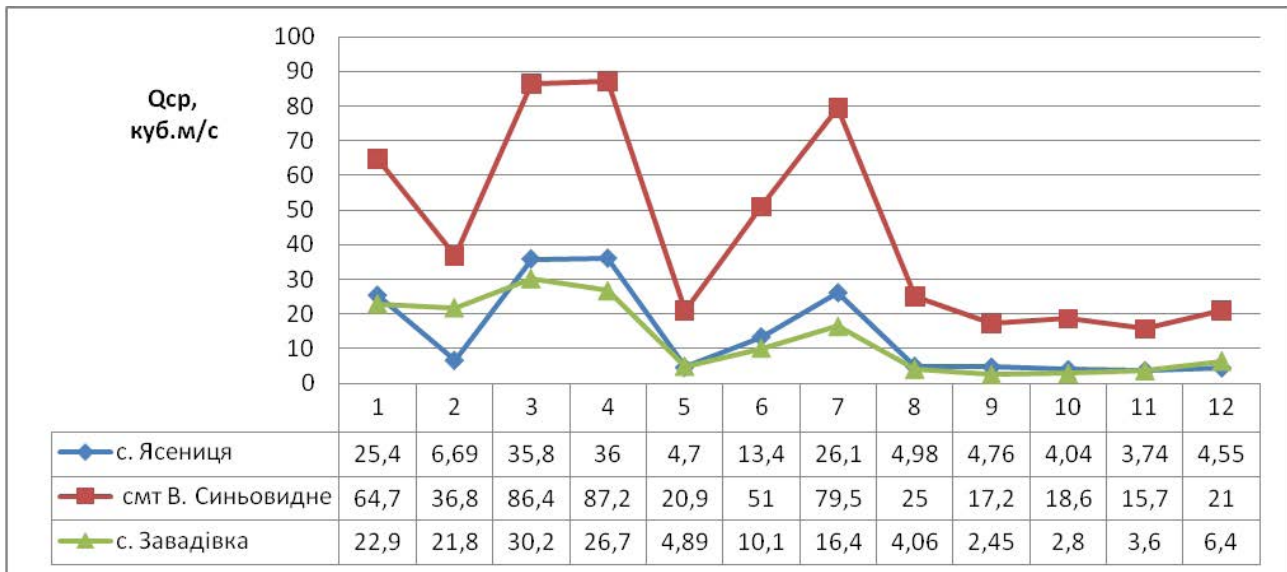


Рис. 3. Зміна середньої витрати поверхневих вод р. Стрий за 2018 р.

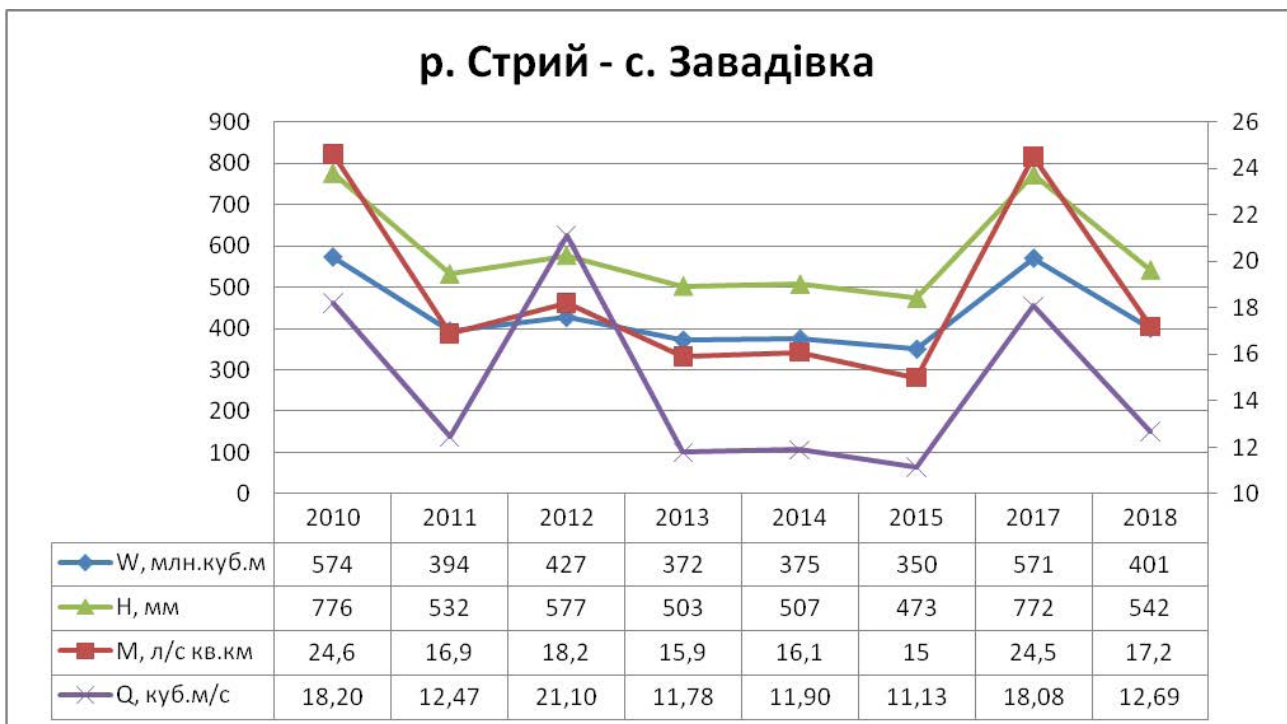


Рис. 4. Зміна параметрів стоку за 2010–2018 рр. в басейні річки Стрий: W – об’єм стоку; H – шар стоку; M – модуль стоку; Q – середня витрата поверхневих вод

лових будинків, стихійних сміттєзвалищ та інших потенційних джерел забруднень у прибережних захисних смугах річки (рис. 2). Проведені нами дослідження дали змогу встановити зміни середньої витрати поверхневих вод річки Стрий та параметрів стоку за 2010–2018 рр., а також сезонні коливання витрат завислих і рухомих наносів (рис. 3–5).

Головні висновки. Проведені дослідження показали можливе ускладнення загальної водогосподарської та екологічної ситуації, особливо на водних

об’єктах зі значним антропогенним навантаженням із погіршенням якості води через обмеження об’ємів розбавлення забруднених скидних вод та неможливості природної промивки русел річок аж до пересихання малих водотоків.

Встановлено необхідність запобігання ерозійним процесам ґрунтового покриву шляхом впровадження ґрунтозахисних технологій та здійснення інших заходів щодо збереження та відтворення родючості ґрунтів.

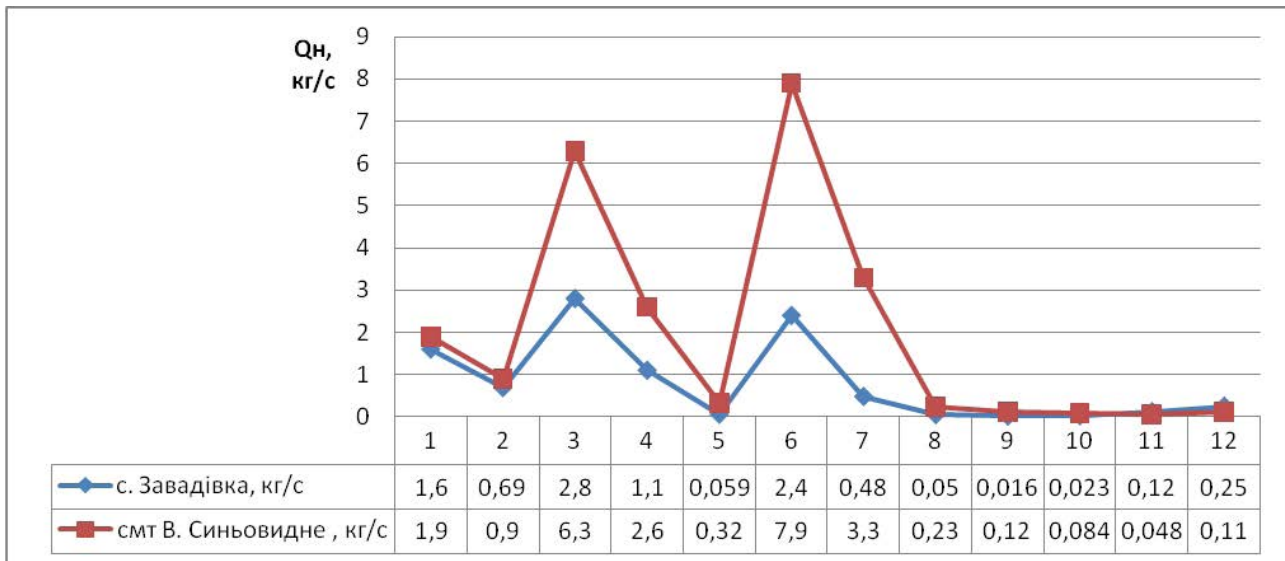


Рис. 5. Зміна сезонних витрат завислих і рухомих наносів р. Стрий за 2018 р.

Перспективи використання результатів дослідження. Узагальнення особливостей динаміки руслового процесу й екологічних показників у межах

територій Карпатського регіону дасть змогу оцінити їх вплив на стан річкової мережі, зміну якості природних вод та прогнозувати паводки.

Література

- Карпенко Н.П. Оценка геоэкологической ситуации речных бассейнов на основе атрибутивных показателей и обобщенных геоэкологических рисков. *Природообустройство*, 2018. № 2. С. 15–22.
- Баяраа У., Боровков В.С., Казённов В.В. Критерии необходимости очистки русел рек на урбанизированных территориях. *Вестник МГСУ*. 2011. № 5. С. 222–228.
- Нехтування принципами сталого розвитку зумовило катастрофічні наслідки липневого паводку 2008 року. URL: <http://climategroup.org.ua/upl/pos-pavodok08>
- Снітинський В.В., Хірівський П.Р., Гнатів І.Р., Яхно О.М., Гнатів Р.М. Техногенні джерела надходження компонентів у природні води річок Карпатського регіону. *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем* : праці X між нар. наук.-практ. конференції, Чернігів, 29–30 квітня 2020 р. Чернігів. С. 108–109.
- Солодкий В.Д., Беспалько Р.І., Казімір І.І. Екзогенні геодинамічні процеси Буковинських Карпат та Передкарпаття. *Екологічна безпека та природокористування*. 2013. Вип. 13. С. 54–63. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ebp_k_2013_13_9
- Горбачова Л.О., Барандіч С.Л. Просторово-часова мінливість максимального стоку води весняного водопілля та паводків змішаного походження річок України. *Наукові праці УкрНДГМІ*. 2016, Вип. 269. С. 107–114.
- Олійник В.С. Шкідливі стихійні явища у лісах Карпат, їх поширення та шляхи запобігання. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2011. Вип. 21.13. С. 47–54.
- Олійник В.С. Фактори виникнення паводкового стоку води в гірських лісах Карпат. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2012. Вип. 22.2. С. 21–26.
- Рак А. Ю. Взаємозв'язок та взаємозумовленість прояву стихійних явищ у гірсько-лісових екосистемах. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018. Т. 28, № 3. С. 67–72. <https://doi.org/10.15421/40280314>.
- Волосецький Б.І., Шпирналь Т.Г. Дослідження перенесення гравійно-галькових мас у руслі р. Стрий за даними геодезичного моніторингу. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2013. Вип. 77. С. 115–121.

ШЛЯХ ЗНИЖЕННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПИЛОВИДІЛЕННЯ ПІД ЧАС ПІДГОТОВКИ ВУГІЛЬНОЇ ШИХТИ ДО КОКСУВАННЯ

Бондар О.І.¹, Гончаренко М.І.¹, Засельський В.Й.²,
Пополов Д.В.², Сусло Н.В.², Зайцев Г.Л.², Сагалай Д.В.²

¹Державний заклад «Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління»
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, м. Київ,
dei20015@ukr.net, deaohoronapraci@gmail.com;

²Технологічний інститут Державного університету економіки і технологій
вул. Степана Тільги, 5, 50006, м. Кривий Ріг, Дніпропетровська обл.,
zaselskiy52@ukr.net, dmitrypopolov@gmail.com, suslo_n-v@ukr.net,
zajtsev_gennady@ukr.net, darinasagalay@gmail.com

Сьогодні проблема охорони навколишнього середовища й екології займає першорядне місце в розвитку промислового виробництва. Всі технологічні процеси коксохімічного виробництва характеризуються численними операціями, під час виконання яких виділяється значна кількість пилу. Жорсткість екологічних вимог до процесів виробництва коксохімічних продуктів зумовлює необхідність пошуку технічних рішень щодо зниження промислового пиловиділення. В існуючих технологічних схемах підготовки вугільної шихти, наприклад ГДШ (групового дроблення шихти), до коксування, весь матеріал надходить на ділянку дроблення (у молоткову дробарку), де додатково подрібнюється готовий клас 0...3 мм і нарощується пилоподібна фракція 0,5 мм до 50%. Це негативно позначається на спіканні коксу, а головне – призводить до невинного погіршення екологічного стану на самому виробництві і населеному пункті.

У статті наведені результати вимірів концентрації пилу за удосконаленої технологічної схеми ділянки дроблення вуглепідготовчого цеху коксохімічного виробництва з вологістю шихтового матеріалу $\omega = 11,2\%$ і $\omega = 13\%$.

Завдання дослідження – провести виміри концентрації пилу на ділянці дроблення вугільних концентратів за умови впровадження крутонахиленого грохота для відсіву класу 0...3 мм перед молотковою дробаркою діючої та удосконаленої технологічної схеми коксохімічного виробництва ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Крім цього, на основі одержаних даних зроблено порівняльний аналіз пиловиділення в існуючій технологічній схемі ГДШ та удосконаленій, що дозволяє відібрати готовий клас 0...3 мм перед дробленням. Для одержання даних та проведення порівняльного аналізу запропоновано методику досліджень по вимірах концентрації пилу в робочих зонах обладнання.

Дослідження показали, що впровадження нових технічних рішень з удосконалення існуючої технологічної схеми підготовки вугільної шихти до коксування шляхом відсіву класу 0...3 мм перед молотковою дробаркою надають можливість суттєво знизити запиленість ділянки дроблення майже на 40% та покращити екологічний стан на підприємстві і в навколишньому середовищі.
Ключові слова: технологічна схема, молоткова дробарка, вологість, пиловиділення, фракція, вугільна шихта, концентрація пилу.

The way of reducing industrial dust emission during preparation of coal charge for coking. Bondar O., Goncharenko M., Zaslenskiy V., Popolov D., Suslo N., Zajtsev G., Sahalai D.

Today, the problem of environmental protection and ecology is of paramount importance in the development of industrial production. All technological processes of coke production are characterized by numerous operations, during which a significant amount of dust is released. The rigidity of environmental requirements for the production of coke products necessitates the search for technical solutions to reduce industrial dust. In the existing technological schemes of preparation of coal charge (group crushing of charge) for coking, all material arrives on a crushing site (in a hammer crusher) where the ready class of 0...3 mm is in addition crushed and dusty fraction of 0,5 mm to 50%. This has a negative effect on the sintering of coke, and most importantly leads to unjustified deterioration of the environmental situation in the production and the settlement.

The article presents the results of dust concentration measurements according to the improved technological scheme of the crushing site of the coal preparatory shop of coke production with the humidity of the charge material $\omega = 11,2\%$ and $\omega = 13\%$. The task of the research is to measure the concentration of dust in the area of crushing coal concentrates under the introduction of a steep sieve for screening class 0...3 mm before the hammer crusher of the current and improved technological scheme of coke production PJSC "ArcelorMittal Kryvyi Rih". In addition, on the basis of the obtained data, a comparative analysis of dust release in the existing technological scheme and advanced, which allows to select the finished class 0...3 mm before crushing. To obtain data and conduct a comparative analysis, a research method for measuring the concentration of dust in the working areas of the equipment is proposed. Studies have shown that the introduction of new technical solutions to improve the existing technological scheme of preparation of coal charge for coking by screening class 0...3 mm before the hammer crusher provide an opportunity to significantly reduce dustiness of the crushing site by almost 40% and improve the environmental condition environment. *Key words:* technological scheme, hammer crusher, moisture, dust emission, fraction, coal charge, dust concentration.

Постановка проблеми. Сьогодні суттєво погіршився гранулометричний склад вугільних концентратів, що надходять у цехи вуглепідготовок для подальшої їх переробки і використання під час одержання коксу. Наприклад, вугільна шихта, що поступає на комбінат ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», містить готового класу 0...3 мм (який не потребує переробки) – 70,7%, в якому знаходиться до 35% класу менше 0,5 мм, що представляє пилоподібну фракцію [1; 2].

Актуальність дослідження. У наявних технологічних схемах підготовки вугільної шихти, наприклад, ГДШ (групового дроблення шихти) до коксування, весь матеріал надходить на ділянку дроблення (у молоткову дробарку), де додаткове подрібнення готового класу 0...3 мм нарощує пилоподібну фракцію 0,5 мм до 50%, що негативно позначається на спіканні коксу, а головне – призводить до невиправданого погіршення екологічного стану виробництва і населеного пункту.

Дослідження виконано в рамках НДР «Розроблення екологічно прийнятних технологій поводження з відходами гірничорудної та металургійної промисловості» за номером Державної реєстрації 0120U101148.

Мета статті – дослідження зменшення пиловиділення на ділянці дроблення вугільних концентратів за умови впровадження крутонахилого грохота для відсіву класу 0...3 мм перед молотковою дробаркою в існуючій технологічній схемі ГДШ коксохімічного виробництва ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Новизна. Зменшення обсягу пиловиділення дрібнодисперсного класу 0–0,5 мм у наявних умовах підготовки вугільної шихти до коксування можливо за рахунок відсіву готового класу 0...3 мм перед подачею вугілля в молоткову дробарку. Проте складність реалізації такої задачі полягає в тому, що відсівний пристрій повинен мати високу продуктивність – забезпечувати продуктивність 240 т/год по готовому класу в умовах обмеженої площі наявної технологічної схеми ділянки дроблення.

У зв'язку з цим групою фахівців технологічного інституту Державного університету економіки і технологій та Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління були досліджені процеси пиловиділення під час роботи удосконаленої технологічної схеми підготовки вугільної шихти зі встановленим експериментальним відсівним пристроєм [3] (рис. 1), за схемою його установки в системі ланцюгів і апаратів вуглепідготовчого цеху (рис. 2).

Виміри концентрації пилу проводили для вугільної шихти вологістю 11,2% і 13% за прискорених коливань коробка, рівних 33 м/с², (з) вільною опорою і жорстко закріпленою сіючою поверхнею, що нахилена до горизонту під кутом 50°. Розмір щілини секцій решіт з поперечними колосниками був обраний відповідно до рекомендацій [3] за формулою:

$$L_{\min} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \left(\frac{d_k}{\cos \alpha} + \frac{h_n}{2} \operatorname{tg} \alpha \right), \quad (1)$$

де: K_1 – коефіцієнт, що враховує матеріал сіючої поверхні;

K_2 – коефіцієнт, що враховує форму отворів і частинок;

K_3 – коефіцієнт, що враховує вологість матеріалу;

d_k – діаметр куска, мм;

h_n – товщина просіваючої поверхні;

α – кут нахилу просіваючої поверхні, град.

Марочний і гранулометричний склад вугільної шихти, що поступає на дроблення (табл. 1).

Відбір проб здійснювався у різні періоди часу аналітичними аерозольними фільтрами типу АФА-ВП-20-1 з фільтротримачами типу JPA-10 з використанням аспіратора А-01. Як зважувальний пристрій, що дозволяє визначити маси дослідних і контрольних фільтрів, використані цифрові ваги AXIS модель А500.

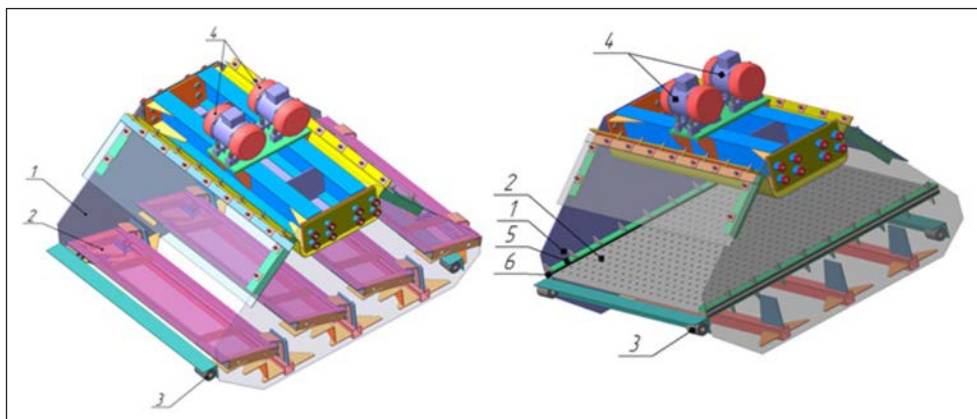


Рис. 1. Крутонахилений грохот для відсіву дрібних класів із закріпленою (а) і вільно опертою (б) сіючою поверхнею:
1 – короб; 2 – сіюча поверхня; 3 – амортизатор; 4 – віброзбудник; 5 – опора; 6 – упор

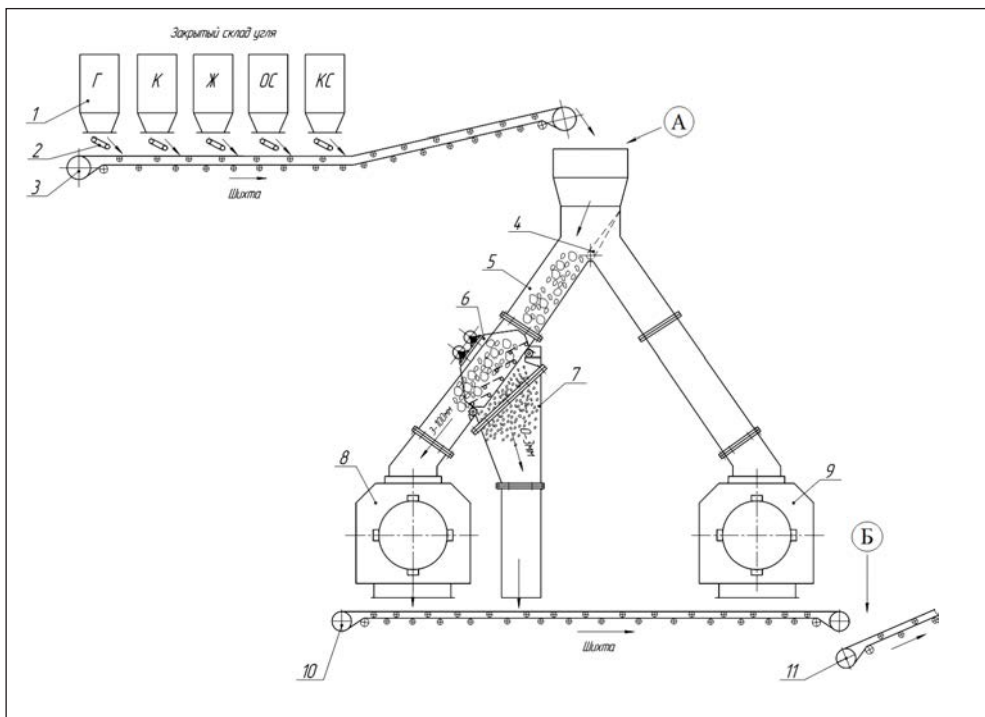


Рис. 2. Технологічна схема підготовки вугільної шихти з встановленим експериментальним грохотом для відсіву готового класу 0-3 мм у системі вуглепідготовки коксохімічного виробництва:

- 1 – бункер; 2 – стрічковий автодозатор; 3 – конвеєр шихтоподачі; 4 – клапан; 5 – жолоб; 6 – експериментальний грохот для відсіву дрібного класу; 7 – рух дріб'язку в бункері; 8, 9 – молоткова дробарка; 10 – збірний конвеєр; 11 – перевантажувальний конвеєр

Таблиця 1

Марочний і гранулометричний склад вугільної шихти в вуглепідготовчому цеху КХП ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Склад шихти	Гранулометричний склад вугільного концентрату (%) по класах, мм									Клас 3-0 мм
	100-80	80-60	60-40	40-25	25-10	10-6	6-3	3-1,5	0,5-0	
Ж 27										70,7
К 35	0,7	1,1	1,4	1,6	2,3	9,6	12,6	35,9	34,8	
К+КО+ОС12										
К+КО+КЖ26										

Концентрацію пилу С відповідно до [4; 5] та проведених дослідів визначали за формулою:

$$C = \frac{M_{\text{пилу}} \cdot 10^6}{V} \text{ (мг/м}^3\text{)}, \quad (2)$$

де: $M_{\text{пилу}}$ – маса пилу, що осіла на фільтрі з урахуванням $\varnothing M_{\text{контр}}$ (маса контрольного фільтру в г);

V – об'єм повітря, що пройшло через фільтр, в л.

Математичну обробку одержаних результатів проводили варіаційно-статичним методом. Достовірність відмінності цих даних від контрольних оцінювали за допомогою критерію Ст'юдента [6].

Виклад основного матеріалу. Загальний вигляд розробленого експериментального відсівного при-

строю (рис. 2), встановленого в жолобі подачі вугільної шихти (технологічна схема рис. 1), складається з двох різних типів сіючих поверхонь. У одному разі сіюча поверхня утворювалася чотирма секціями решіт з поперечно розташованими круглими колосниками діаметром 10 мм (рис. 2а), в іншому – вільно опертою пластиною з отворами круглої форми (рис. 2б). Як віброзбудник застосовувалися два мотор-вібратори, які працюють в режимі самосинхронізації і генерують спрямовані перпендикулярні коливання до сіючої поверхні [7]. Мотор-вібратори забезпечені дебалансними масами, які розміщені під кришками з ущільнювальними кільцями, що не викликає додаткове пилення від встановленого обладнання [8]. Технічна характеристика експериментального відсівного пристрою представлена в табл. 2.

Таблиця 2

Технічна характеристика експериментального відсівного пристрою вугільного дріб'язку

№ з/п	Параметри	Одиниці виміру	Величина
1	Продуктивність по живленню	т/год	300
2	Крупність, до	мм	100
3	Амплітуда коливань	мм	1...3
4	Кут нахилу сіючої поверхні	град.	50
5	Привод: мотор-вібратор кількість установлена міцність	тип шт. кВт	VV41B/4 2 5Б2
6	Габаритні розміри: довжина ширина висота	мм мм мм	2040 1484 1435
7	Маса	кг	900

На гістограмі (рис. 3) представлені результати вимірів концентрації пилу при працюючому обладнанні ділянки дроблення вуглепідготовчого цеху

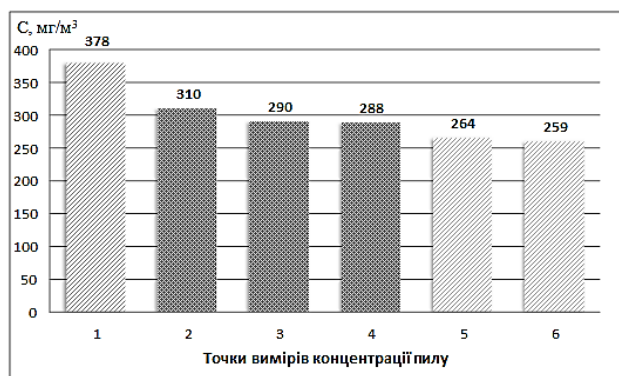


Рис. 3. Гістограма зміни пиловиділення на ділянці дроблення за вологості шихти $\omega = 11,2\%$:

1 – під час роботи без відсівного пристрою (точка В);
2 – під час роботи без відсівного пристрою (точка А);
3 – під час роботи з відсівним пристроєм з жорстко закріпленою сіючою поверхнею (точка А); 4 – під час роботи з відсівним пристроєм з вільно опертою сіючою поверхнею (точка А); 5 – під час роботи з відсівним пристроєм з вільно закріпленою сіючою поверхнею (точка В); 6 – під час роботи з відсівним пристроєм з жорстко закріпленою сіючою поверхнею (точка В).

коксухімічного виробництва з вологістю шихтового матеріалу $\omega = 11,2\%$.

Одержані результати свідчать, що установка відсівного пристрою дозволяє суттєво знизити (більш ніж на 30%) концентрацію пилу в зоні роботи молоткової дробарки (точка В) як з жорстко закріпленою, так і з вільно закріпленою сіючою поверхнею.

На гістограмі (рис. 4) показано розподіл концентрації пилу при працюючому обладнанні з вологістю шихтового матеріалу $\omega = 13\%$.

З одержаних результатів видно, що зі збільшенням вологості рівень концентрації пилу в середньому для всіх досліджуваних точок і варіантів використаного обладнання порівняно з результатами з вологістю матеріалу $\omega = 11,2\%$, знизився ще на 10÷15%.

Головні висновки. Результати дослідження стосовно впровадження нових технічних рішень, що стосуються удосконалення наявної технологічної схеми підготовки вугільної шихти до коксування шляхом відсіву класу 0...3 мм перед молотковою дробаркою, надають можливість суттєво знизити запиленість ділянки дроблення не менш ніж на 40% та покращити екологічний стан як на самому підприємстві, так і в навколишньому середовищі.

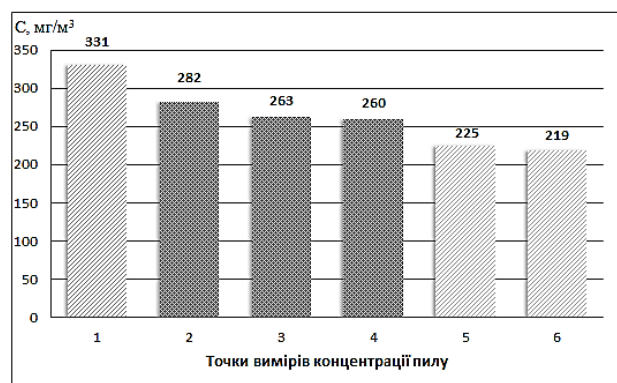


Рис. 4. Гістограма зміни пиловиділення на ділянці дроблення за вологості шихти $\omega = 13\%$:

1 – під час роботи без відсівного пристрою (точка В);
2 – під час роботи без відсівного пристрою (точка А);
3 – під час роботи з відсівним пристроєм з жорстко закріпленою сіючою поверхнею (точка А); 4 – під час роботи з відсівним пристроєм з вільно опертою сіючою поверхнею (точка А); 5 – під час роботи з відсівним пристроєм з вільно закріпленою сіючою поверхнею (точка В); 6 – під час роботи з відсівним пристроєм з жорстко закріпленою сіючою поверхнею (точка В).

Література

- Лялюк В.П. Совершенствование подготовки угольных шихт – путь к повышению качества кокса для доменной плавки / В.П. Лялюк, В.А. Шеремет, П.И. Огорвин, А.Д. Учитель, И.А. Ляхова, Д.А. Кассим, Г.Л. Зайцев. *Бюллетень научной-технической и экономической информации «Черная металлургия»*. 2010. № 3. С. 25–31.
- Лялюк В.П. Организация рационального дробления угольной шихты – путь к повышению качества кокса для доменной плавки / В.П. Лялюк, В.А. Шеремет, А.В. Кекух, П.И. Огорвин, С.А. Писарь, А.Д. Учитель, И.А. Ляхова, Д.А. Кассим. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2010. № 2. С. 48–52.
- Засельський В.Й. Удосконалення обладнання та процесів вуглепідготовки і коксортування металургійного виробництва / В.Й. Засельський, Д.В. Пополов, Г.Л. Зайцев [та ін.]. Кривий Ріг : Вид. Р.А. Козлов, 2019. 203 с.
- Клименко А.П. Методы и приборы для измерения концентрации пыли / А. П. Клименко. Москва : Химия, 1978. 208 с.

5. Беспалов В.И. Теория и практика обеспыливания воздуха / В.И. Беспалов Д.С. Данельянц, Й.В. Мишнер. Киев : Наук. думка, 2000. 190 с.
6. Воронина О.А. Математические основы планирования и проведения эксперимента. Учеб. пособие / О.А. Воронина. Орел : ОрелГТУ, 2007. 124 с.
7. Засельський В.Й. Інерційні грохоти з неоднорідними коливаннями / В.Й. Засельський. Дніпропетровськ : Пороги, 2007. 144 с.
8. Пополов Д.В. Повышение надежности работы грохотов агломерата, работающих в трактах шихтоподготовок доменных цехов / Д.В. Пополов, В.Й. Засельский. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2018. № 7. С. 215–219.

НАКОПИЧЕННЯ ШЛАКІВ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ: ОЦІНКА ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ ТА ЕКОЛОГІЧНО ОБҐРУНТОВАНЕ ПОВОДЖЕННЯ

Бондар О.І., Риженко Н.О., Салій І.В.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2., 03035, м. Київ
dei20015@ukr.net, alsko2011@ukr.net, igorsalij1964@gmail.com

Розглянуті найбільш вагомі чинники забруднення промисловими відходами, зокрема, шлаками металургійних підприємств. навколишнього середовища та їх негативний вплив на всі компоненти довкілля. При відкритому способі складування відвалів шлак є джерелом забруднення атмосфери через емісію поллютантів у повітря, об'єкти гідросфери і ґрунт, впливаючи при цьому на стан флори, фауни і здоров'я людей. Негативні наслідки впливу шлаків у відвалах є багатофакторними: ґрунти (зміна щільності зложення ґрунтового профілю, забруднення ґрунту та міграція поллютантів за ґрунтовым профілем); водні екосистеми (забруднення водних об'єктів токсикантами; міграція небезпечних речовин у ґрунтові води); атмосферне повітря (забруднення токсикантами та їх перенесення на значні відстані); вплив на клімат; здоров'я людини (підвищення ризику онкозахворювань, вплив на імунну систему); ландшафти (руйнування фацій та зміна (або утворення нових) елементів рельєфу, порушення функціонування ландшафтоутворюючих чинників, зміщення компонентної та територіальної екологічної рівноваги в ландшафті, нерациональне використання земельних ресурсів); біота (вплив на біорізноманіття, зниження біопродуктивності). Впровадження технологій використання металургійних шлаків як заміника природних дорожньо-будівельних матеріалів у дорожньому будівництві призведе до зниження обсягів відходів – шлакових відвалів, а також сприятиме збереженню природних ресурсів, що використовуються у виробництві традиційних будівельних матеріалів. Тому шлак доцільно розглядати не як відходи, а цінну сировину, що забезпечує і стимулює впровадження екологічно дружних технологій, зменшуючи навантаження на компоненти довкілля від емісій токсикантів та інших небезпечних впливів, що призведе до істотних позитивних змін як для здоров'я населення, так і для біоти. *Ключові слова:* шлаки, відходи, оцінка впливу на довкілля, екологічно обґрунтоване поводження.

Storage of metallurgical enterprises slags: environmental impact assessment and environmentally friendly management.
Bondar O., Ryzhenko N., Saliy I.

One of the most important factors of environmental pollution and negative impact on all components of the environment is the large amount of industrial waste, including slag from metallurgical enterprises. In the open method of storage of dumps, slag is a source of air, soil, water and biota pollution through the emission of pollutants. The negative consequences of the impact of slag in the dumps are multifactorial: soils (change in the solidity of the soil profile, soil contamination and migration of pollutants in the soil profile); aquatic ecosystems (pollution of water with toxicants; migration of hazardous substances into groundwater); atmospheric air (pollution by toxicants and their transfer over long distances); climate impact; human health (increased risk of cancer, effects on the immune system); landscapes (destruction of facies and change (or formation) of new relief elements, dysfunction of landscape-forming factors, displacement of component and territorial ecological balance in the landscape, irrational use of land resources); biota (impact on biodiversity, reduction of bioproductivity). The technologies implementation of the use of metallurgical slag will lead to reduce the volume of slag dumps, as well as contribute to the preservation of natural resources used for the production of traditional building materials. Therefore, slag should be considered not as waste, but a valuable product that provides the introduction of environmentally friendly technologies. As a result, the load on the environment components from emissions of toxicants and other hazardous effects will be considerably reduced. This will lead to significant positive changes for both public health and biota. *Key words:* slags, waste, environmental impact assessment, environmentally friendly management.

Постановка проблеми. У рейтингу WorldSteelAssociation (WSA) Україна зберігає провідне місце у виробництві металопродукції і наближається до країн першої десятки світу [1]. Виробництво металопродукції в Україні нині забезпечують провідні підприємства, зокрема, ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», ПАТ «Металургійний комбінат «Азовсталь», ПАТ «ММК ім. Ілліча, ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат», ПАТ «Запоріжсталь» тощо. За оперативними даними ОП «Укрметалургпром», за 5 місяців 2020 року українськими металургійними підприємствами вироблено 7,43 млн тонн металопродукції (93,8% порів-

няно з аналогічним періодом 2019 року). Однак металургійна галузь є одним із найбільш інтенсивних забруднювачів, викиди якої від стаціонарних джерел забруднення сягають 38% загальної кількості поллютантів. На підприємства чорної металургії припадає близько 15% всіх промислових викидів в атмосферу пилу, 8–10% – викидів діоксиду сірки, 10–15% – загального обсягу споживання води. До цього варто додати величезну кількість твердих відходів (шлаків, шлаків тощо). Структура виробництва шлаку по деяких металургійних підприємствах України у 2018 році наведена на рисунку 1.



Рис. 1. Структура виробництва шлаку по металургійних підприємствах

За різними оцінками, в Україні накопичено приблизно 35–36 млрд тонн різних техногенних відходів. Обсяг накопичених у відвалах золошлакових матеріалів, твердих продуктів згоряння вугілля від ТЕЦ – понад 250 млн тонн, металургійних шлаків – понад 160 млн тонн. Більшість із них хоч і мають ресурсну цінність, у буквальному сенсі зберігаються під відкритим небом; 54,5% обсягу металургійних шлаків розміщується у відвалах або на тимчасових складах після видобутку з них скрапу і флюсів для застосування в технологічному процесі. Сталеплавильний шлак у нашій країні практично не знаходить застосування. Тоді як у країнах ЄС, за даними Euroslag, 46% від загального обсягу його утилізації доводиться саме на дорожнє будівництво. Також в ЄС його застосовують як мінеральні добрива (2,7%) і для гідравлічного інжинірингу (2,2%). На рисунку 2 наведено розподіл відходів металургійних підприємств (за Носковою та Макогон) [2]. Основну частину відходів металургійних підприємств становлять шлаки, які є багатокомпонентними системами, що складаються з продуктів високотемпературної взаємодії руди, порожньої породи, флюсів, палива та штучних мінералів, містять оксиди (SiO₂, CaO, FeO, MgO, Al₂O₃ і (рідше) ZnO) змінного складу, є нестійкими у фізико-хімічних умовах земної поверхні.

Річне утворення шлаків у середньому становить: 4,4 млн тонн доменних шлаків, 2,6 млн тонн сталеплавильних, 0,829 млн тонн феросплавних. За даними Каненко та Злобина, на металургійних підприємствах України накопичено 240 млн тонн шлаків, 128 млн тонн з яких є сталеплавильні [3]. Подальше накопичення металургійних шлаків як відходів завдаватиме серйозної шкоди довкіллю і здоров'ю людини, які займають величезні площі, забруднюють токсичними речовинами компоненти екосистеми, підвищують собівартість готової продукції підприємств через значні витрати на їх транспортування, розміщення і зберігання. У зв'язку

з цим одним із найактуальніших прикладних екологічних питань є дослідження можливості застосування шлаків як будівельних матеріалів.



Рис. 2. Розподіл відходів металургійних підприємств

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження виконано в рамках НДР «Розроблення екологічно прийнятних технологій поводження з відходами гірничорудної та металургійної промисловості» за номером Державної реєстрації 0120U101148.

Виклад основного матеріалу.

Властивості шлаку. Властивості доменного шлаку у відвалах залежать від характеристик вихідних матеріалів, режиму доменного процесу і від умов його охолодження після зливу. Тому відвальний доменний шлак у відвалах різних заводів та навіть у відвалі одного комбінату відрізняється за зовнішнім виглядом, складом, будовою, фізичним та механічним властивостями. З часом під дією вологи і вуглекислоти відбуваються більш-менш тривалі фізичні та хімічні процеси вапняного і залізного розпаду. Щільні кам'яноподібні шматки мають міцність на стиснення 150–600 кг/см² і більше, в той час як

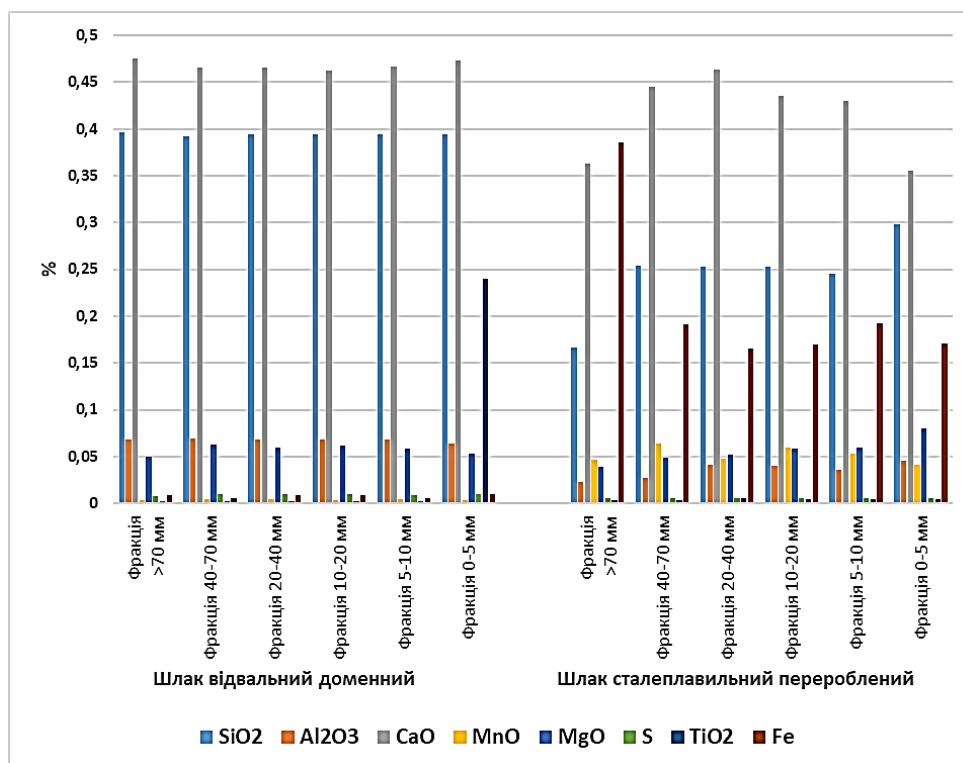


Рис. 3. Хімічний склад шлаків ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

пористі різновиди – 50–150 кг/см². Переважаючими за розміром шлаки у відвалах більшості заводів є фракції 5–40 мм. Вони становлять до 70% за вагою. Великі шматки і брили містяться, як правило, в кількості 5–10%, а дрібні і пил розміром до 5 мм – 25–30%. Однак гранулометричний склад одержаного шлаку залежить від методу розроблення відвалів. Шлак є металургійним розплавом (після твердіння – каменевидна або склоподібна речовина), що покриває поверхню рідкого металу при металургійних процесах – плавлі сировини, обробці розплавлених проміжних продуктів і рафінуванні металів. Шлак є сплавом оксидів змінного складу; головні компоненти шлаку – кислотний оксид SiO₂ і основні оксиди CaO, FeO, MgO, а також амфотерні Al₂O₃ (рис. 3).

Екологічні проблеми накопичення шлаків як відходів. Ефект впливу забрудників-складників відходів на довкілля виявляється в різних напрямках, тому в процесі переробки та використання будь-яких відходів виробництва, особливо шлаків, доцільно враховувати ефект впливу на довкілля як за сценарію невикористання відходів як потенційних будівельних матеріалів, так і за умов їх використання. При відкритому способі складування відвалів шлак є джерелом забруднення атмосфери через емісію забруднюючих речовин у повітря, об'єкти гідросфери і ґрунт, а через них – на стан флори, фауни і здоров'я людей.

За умов складування на відвалах шлак піддається впливу атмосфери, що робить його чутливим

до фізичних та хімічних процесів [4; 5]. Скрізь, де є металургійні шлаки, у водоймах накопичуються води з надзвичайно високою концентрацією сульфідів, які іноді прориваються в струмки і річки, що призводить до сильного забруднення та виникнення техногенних аварій. Кисень у воді витрачається на окислення сульфідів, вміст кисню в таких сульфідних водоймах дорівнює нулю і це призводить до загибелі живих організмів. Основні види впливу відходів металургійних підприємств на довкілля та здоров'я людини наведено на рисунку 4.

Більшість металургійних комбінатів мають відвали, в яких переважно складаються шлаки без спеціальної обробки і спеціалізована шлакова продукція перед відправленням її споживачам. Для складування відходів використовується до 40% території підприємства. Збільшення обсягів утворення відходів призведе до низки негативних наслідків (рис. 5).

За розрахунками Крюковської (2019), за використання шлаків, зменшення їх обсягів у відвалах призведе до поліпшення екологічного стану Криворізького регіону [6–8]. Зниження обсягів шлаків у відвалах на 50% дасть змогу знизити ймовірність виникнення головної події, яка призведе до екологічних проблем на 13,9% щодо базового сценарію. При середньому значенні обсягу утворення з 1 тонни виплавленого чавуну утворюється 450–540 кг шлаку, якщо прийняти середнє значення 500 кг, то річний обсяг утворення шлаків становить 11,28 млн тонн. Прогнозована маса збереженого дорожньо-

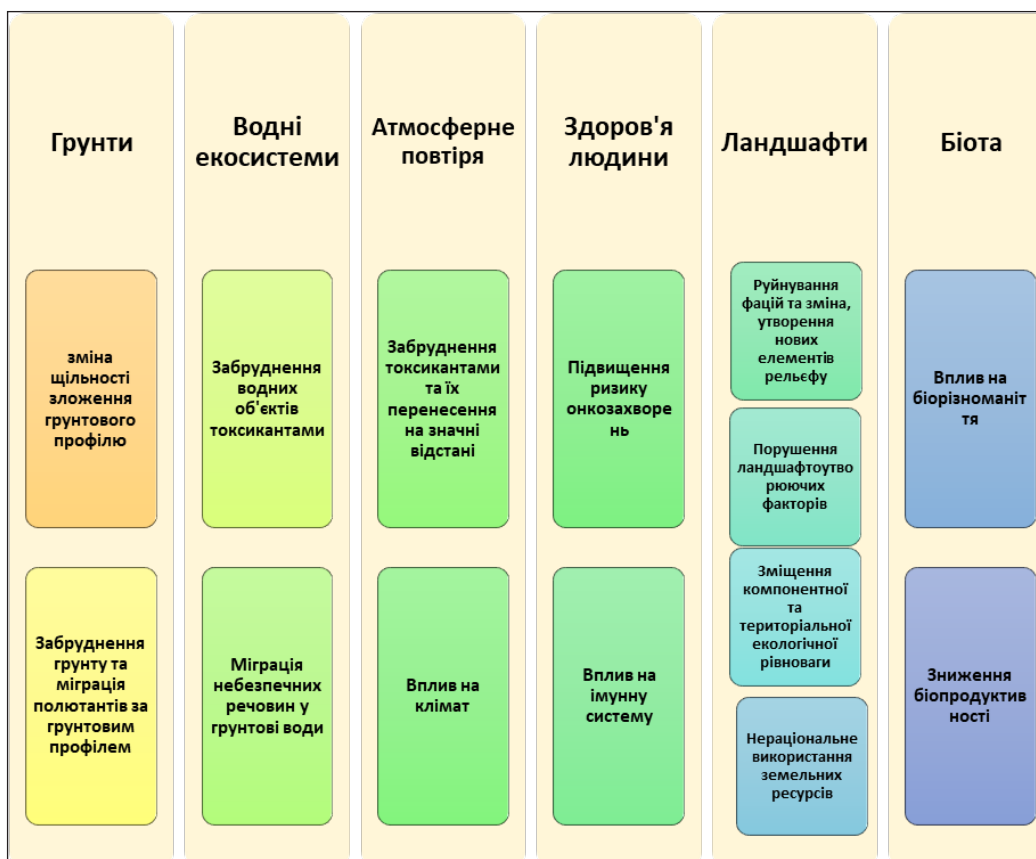


Рис. 4. Основні види впливу відходів металургійних підприємств на довкілля та здоров'я людини

будівельного матеріалу у випадку 20% заміни природних матеріалів шлаками для 3000 км доріг різної категорії складає 2 905 848 т, а для 50% – 7 264 620 т. Необхідна маса шлаків для заміни цього обсягу природних матеріалів становить 2 356 550 т та 5 891 375 т відповідно. Ступінь використання утворених шлаків (тобто утилізації відходів) у річному вимірі за різними сценаріями становить 21 та 52% відповідно.

Світовий досвід «екологічно дружнього» використання металургійних шлаків як альтернативного заміника природних будівельних матеріалів у дорожньому будівництві. Є низка підходів щодо використання шлаків як будівельних матеріалів доріг. Шлак має певну споживчу цінність у зв'язку з можливістю отримання продукції з певними важливими властивостями, внаслідок цього значення шлакопереробки для металургів різко зростає. Продуктами переробки в металургійних відходах є щебінь, гранульований шлак, шлакова пемза, мінеральна вата [6]. За рахунок використання відходів як вторинних матеріальних ресурсів можна вирішити низку таких важливих задач, як економія сировини, запобігання забруднення водою, ґрунту і повітряного басейну, використання відходів для будівництва доріг. Отже, шлакові матеріали варто розглядати як одні з найбільш технічно та економічно вигідних альтернативних матеріалів для використання в будь-

яких будівельно-ремонтних роботах, як нині, так і в майбутньому. Поступове скорочення накопичення відходів металургійної промисловості, розширення можливостей утилізації, знешкодження, екологічно безпечно їх видалення для повторного використання в дорожньому будівництві дасть змогу досягнути підвищення рівня екологічної безпеки – звільнення площ, з одного боку, і заміна природних матеріалів – з іншого.

Під час виробництва 3 т нержавіючої сталі утворюється близько 1 т сталевих шлаку. Пораховано, що за рік 50 млн т сталевих шлаку виробляється з різних металургійних виробництв по всьому світу. Тільки в Європі близько 12 млн т сталевих шлаку виробляється щороку. Сталевий шлак є залишковим матеріалом, що утворюється під час виробництва нержавіючої сталі чи від плавлення лома для виробництва сталі в електродуговій печі (EAF) або шляхом перетворення заліза на сталь в основній кисневій печі (BOF). Сталевий шлак конкурує з природним агрегатом, висока продуктивність якого обмежена. Тому шлак доцільно розглядати не як відходи, а цінну продукцію, яка забезпечує впровадження екологічно дружніх технологій.

За даними Mohd. Rosli Hainin et al (2015), сталеві шлаки успішно використовуються для будівництва доріг [9]. Країни Європи, Канада, Австралія та США



Рис. 5. Наслідки збільшення обсягів утворення шлаків

визнають сталеві шлаки навіть не як промислові відходи, а як корисний будівельний матеріал, та успішно використовують для наплавлення та основи бруківки. Khan et al. (2002) зазначали, що перевагою використання сталевих шлакових бетону є висока стійкість до ковзання (як у вологих, так і сухих умовах), що надаються протягом усього періоду експлуатації тротуарів [10]. Stock і Ibberson (1996) описували використання сталевих шлаків у бітумному дорожньому будівництві в Південному Йоркширі та його околицях протягом останніх 60 років: більше 300 000 т сталевих шлаку на рік було використано для будівництва доріг [11]. Різні країни по всьому світу зі спекотним кліматом, наприклад, Сінгапур, Малайзія, Австралія, Південна Африка, Саудівська Аравія та Італія, вже реалізували чудові властивості шлакового асфальту [12]. Висока температура поверхні змушує традиційний асфальт стати пластичним, а потім деформується дуже легко, що призводить до розриву [13]. Однак використання шлаків EAF показало економічну доцільність порівняно з природними матеріалами [14]. Розрахунки Mumrin et al. (2005) показали, що вартість будівництва дорожньої бази може зменшитися при використанні сталевих шлаку в поєднанні з природною ґрунтовою сумішшю, оскільки це забезпечує максимальну міцність і стійкість при коротшій товщині порівняно з використанням традиційних матеріалів. Результати випробувань Kehagia (2008) виявили, що сталевий шлак EAF є кращим у високо напружених зонах, де традиційні матеріали малоефективні [15–17]. Nainin et al. (2012) також зазначали властивість шлаків утримувати тепло значно довше, ніж природні агрегати, що корисне в процесі будівництва доріг [18]. Напрями застосування відходів у дорожньому будівництві наведено на рисунку 6.

Відповідно до Каталогу місцевих матеріалів та відходів виробництва для дорожнього будівництва [19], найширше застосовані види промислових відходів і вторинних продуктів промисловості, що наведено на рисунку 7.

За різними оцінками, у Сполучених Штатах Америки щорічно виробляється біля 15,5 млн т доменного шлаку [20]. Майже весь доменний шлак, вироблений у США, і приблизно 90% його кількості – шлак із повітряним охолодженням (ACBFS). У разі подрібнення до потрібної товщини хімічний склад і склоподібна (некристалічна) природа осклованих шлаків такі, що у сполученні з водою вони реагують з утворенням цементних продуктів гідратації. Величина цих цементних реакцій залежить від хімічного складу, вмісту скла та ступеня подрібнення шлаку. Доменний шлак із повітряним охолодженням (ACBFS) вважається багатьма спеціалізованими агентствами звичайним заповнювачем і може замінити як грубі, так і дрібні заповнювачі в асфальтових покриттях. Однак ACBFS краще абсорбує, ніж звичайний заповнювач і тому користується високим попитом. Крім того, шлак має меншу питому вагу, ніж звичайні мінеральні наповнювачі, що призводить до більш високого виходу асфальтового покриття (більший обсяг при тій самій вазі). Принаймні, в 17 штатах США є специфікації, що охоплюють використання ACBFS як заповнювач в асфальті гарячої суміші для поверхневого шару. До них належить Алабама, Колорадо, Флорида, Іллінойс, Індіана, Кентуккі, Луїзіана, Мічиган, Нью-Йорк, Огайо, Пенсильванія, Теннессі, Техас, Юта, Вірджинія, Західна Вірджинія і Вісконсин [21]. Типовий склад доменного шлаку США наведено у таблиці 1.



Рис. 6. Напрями застосування відходів у дорожньому будівництві

Таблиця 1
Типовий склад доменного шлаку США

Складники	%
Оксид кальцію (CaO)	41,0
Діоксид кремнію (SiO ₂)	36,0
Оксид алюмінію (Al ₂ O ₃)	13,0
Оксид магнію (MgO)	7,0
Оксид заліза (FeO або Fe ₂ O ₃)	0,5
Оксид мангану (MnO)	0,8
Сірка (S)	1,5

Асфальтобетон із гарячою сумішшю, що містить правильно відібрані і оброблені агрегати АСВФС, демонструє гарний опір тертю на поверхнях дорожнього покриття, хорошу стійкість до зачистки і високу стабільність. Кутова форма і високий кут тертя (від 40° до 45°) подрібненого АСВФС сприяє високій бічній стабільності, коли АСВФС вводиться в дорожні суміші. Це особливо корисно, коли необхідно враховувати жорстке гальмування і прискорення. АСВФС також виявляє високу стійкість до заморожування-відтаування та вивітрювання [22].

Доменні шлаки в багатьох країнах переробляють переважно на щебінь. У Франції та Чехії шлаки гранують. Шлаки у Франції та Китаї низько основні і не схильні до силікатного розпаду. В Англії, Чехії частина шлаків має високу основність і використання їх обмежене [23]. Хімічний склад доменних шлаків у Чехії (на прикладі підприємства Kotouč Štramberk, Ltd) наведено в таблиці 2 [24].

В Японії більше 30 років використовується шлак доменної печі як бетонний агрегат [25]. Щорічний продаж шлаків для сукупного використання корпорації Nippon Steel & Sumitomo Metal залишається на рівні 1 млн т. Оскільки сучасна тенденція світової спільноти орієнтована на переробку відходів, ком-

панія актуалізувала реалізацію ефективного використання шлаку, дослідивши використання доменного шлаку як конкретного агрегату для широких різновидів застосувань. Шлак використовується як бетонний агрегат для дорожнього покриття, а також для лиття бетонних виробів. Використання шлаку розширюється, і ще в 2013 році було запропоновано використання тонкодисперсного шлакоутворювача для високоміцного бетону. Кількість вироблення шлаку в Японії становить приблизно 300 кг на 1 т виробленого чавуну, а щорічне виробництво доменного шлаку (шлаку BF) перевищує 24 млн т.

Таблиця 2

Хімічний склад доменних шлаків підприємства Kotouč Štramberk, Ltd, Чехія

Показник	Одиниці виміру	Значення
CaO	%	36,3
MgO	%	11,7
SiO ₂	%	42,5
Al ₂ O ₃	%	6,8
Fe ₂ O ₃	%	0,18
SO ₃	%	1,56
K ₂ O	%	0,36
Cl	µg·g ⁻¹	156,6
Sr	µg·g ⁻¹	377,3
Ba	µg·g ⁻¹	834,7

Доменні шлаки також використовують для виробництва шлакової вати. З розплавлених металургійних шлаків відливають каміння для бруківки доріг, бордюрний камінь, жаростійкі плитки, труби й інші вироби. Основним споживачем шлаків є цементна промисловість. Європейськими нормами дозволяється вводити в портландцемент до 35%

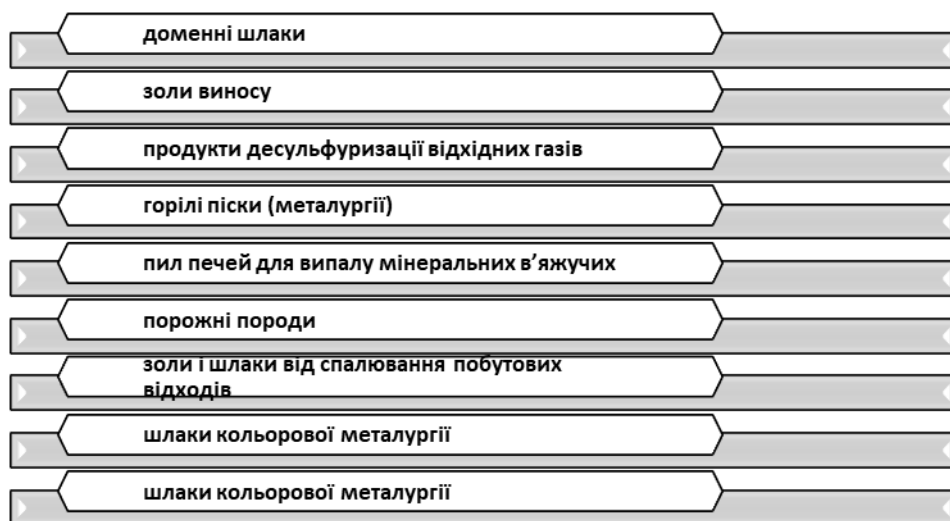


Рис. 7. Найбільш широко застосовані види промислових відходів і вторинних продуктів промисловості

доменного гранульованого шлаку, а в шлакопортландцемент – до 80%. Введення доменних шлаків у сировинну суміш збільшує продуктивність печей і знижує витрату палива на 15%, а собівартість – на 25–30%. Крім того, шлак як активна добавка значно покращує низку будівельно-технічних властивостей цементу [26].

Чільне місце за обсягом та значенням для дорожньо-будівельної галузі посідають доменні шлаки, отримані як побічний продукт при виплавці чавуну із залізних руд. Його особливістю є неоднорідність за розмірами, міцністю та фізико-хімічними властивостями, що ще недавно змушувало ставитися з деякою недовірою до цього матеріалу і обмежувало його застосування [6; 7]. Хімічний склад металургійних шлаків та їх фізичні властивості дають змогу застосувати шлаки як компонент для виробництва будівельних матеріалів (шлакобетону і цементу) в дорожньому будівництві [8]. Використання шлакових матеріалів є найбільш технічно та економічно вигідними для використання в будь-яких будівельно-ремонтних роботах при будівництві автомобільних доріг. Щебінь та суміші з шлакових матеріалів застосовують у шарах дорожнього одягу, в процесі укріплення узбіччя, влаштування шорстких поверхневих обробок покриттів та приготування асфальтобетонних сумішей [27].

Металургійні шлаки всіх металургійних комбінатів України придатні для дорожнього будівництва. Важливим є питання, для яких доріг і в яких конструктивних шарах дорожнього одягу їх застосовувати. На думку А.Я. Тулаєва, щебінь із доменних шлаків заводів України має подрібнюваність 20–40% і зношування в поличному барабані 30–55%. При таких показниках механічних властивостей шлаки південних заводів найчастіше не можуть бути використані у верхніх шарах дорожніх покриттів. Але водночас вони належать до категорії шлаків із високою активністю (4–8 МПа). Тому використання їх в'язучих властивостей при будівництві основ дорожнього одягу дає змогу одержувати більш економічні й довговічні конструкції [28]. Альтернативою гранітному щебню може бути щебінь із шлаку металургійного,

який, на відміну від гранітного, з часом набирає міцність. Пікове значення міцності шлаку в конструктивному шарі дорожнього одягу досягається на 5-й рік експлуатації автомобільної дороги.

Головні висновки. Одним із найбільш вагомих чинників забруднення навколишнього середовища і негативного впливу на всі компоненти довкілля є значна кількість промислових відходів, зокрема, шлаків металургійних підприємств. При відкритому способі складування відвалів шлак є джерелом забруднення атмосфери через емісію забруднюючих речовин у повітря, об'єкти гідросфери і ґрунт, негативно впливаючи на стан флори, фауни і здоров'я людей.

Негативні наслідки впливу шлаків у відвалах є багатофакторними: ґрунти (зміна щільності зложення ґрунтового профілю, забруднення ґрунту та міграція поллютантів за ґрунтовым профілем); водні екосистеми (забруднення водних об'єктів токсикантами; міграція небезпечних речовин у ґрунтові води); атмосферне повітря (забруднення токсикантами та їх перенесення на значні відстані); вплив на клімат; здоров'я людини (підвищення ризику онкозахворень, вплив на імунну систему); ландшафти (руйнування фацій та зміна (або утворення нових) елементів рельєфу, порушення функціонування ландшафтоутворюючих факторів, зміщення компонентної та територіальної екологічної рівноваги в ландшафті, нераціональне використання земельних ресурсів); біота (вплив на біорізноманіття, зниження біопродуктивності).

Зменшення обсягів металургійних шлаків у відвалах підприємств Кривого Рогу призведе до поліпшення екологічного стану регіону. Впровадження технологій використання металургійних шлаків як заміника природних дорожньо-будівельних матеріалів у дорожньому будівництві призведе до зниження обсягів шлакових відвалів та збереження природних ресурсів, які використовуються для виробництва традиційних дорожньо-будівельних матеріалів. Тому навантаження на компоненти довкілля від емісій токсикантів та інших небезпечних впливів значно зменшиться, що призведе до суттєвих позитивних змін як для здоров'я населення, так і для біоти.

Література

1. Рейтинг WorldSteelAssociation. URL: <https://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2020/Global-crude-steel-output-increases-by-3.4--in-2019.html?fbclid=IwAR06LxjASFv4au17rMQqEwxxBNuxJFU6b03GQ5GnlBXI-6lC2ocp6Cnyyo>
2. Носков В.А., Макогон В.Ф. Состояние и перспективы утилизации железосодержащих отходов в металлургическом производстве Украины. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2001. № 4. С. 98.
3. Каненко Г.М., Злобин А.Г. и др. Использование отходов металлургических предприятий в строительной индустрии. *Экология и промышленность*. 2005. № 1 (2). С. 41.
4. Спільник Н.В. Негативний вплив шлаків на навколишнє середовище URL: http://www.rusnauka.com/9_SNP_2015/Ecologia/2_190025.doc.htm
5. Макарова В.М. Вплив шлакових відвалів на стан навколишнього природного середовища Дніпропетровського району. URL: http://www.rusnauka.com/17_AVSN_2012/Ecologia
6. Крюковська Л.І., Скорченко В.Ф. Методи дослідження технічних характеристик шлаків для дорожнього будівництва. *Екологія промислових підприємств. Проблема утилізації відходів* : праці міжнародної науково-технічної конференції, 13–17 вересня 2004 р., м. Ялта. Київ : Знання, 2004. 116 с.

7. Крюковська Л.І. Підвищення рівня екологічної безпеки у дорожньому будівництві шляхом використання металургійних шлаків : дис. ... канд. техн. наук : 21.06.01 «Екобезпека». 2019. 188 с.
8. Крюковська Л.І., Скорченко В.Ф. Методи дослідження технічних характеристик шлаків для дорожнього будівництва. *Екологія промислових підприємств. Проблема утилізації відходів* : праці міжнародної науково-технічної конференції, 13–17 вересня 2004 р., м. Ялта. Київ : Знання, 2004. 116 с.
9. Mohd. Rosli Hainina, Md. Maniruzzaman A. Azizab, Zulfiqar Alia, Ramadhansyah Putra Jayaa, Moetaz M. El-Sergany, Haryati Yaacob Steel Slag as A Road Construction Material. *Jurnal Teknologi*. 73:4, 2015, pp. 33–38.
10. Khan, Z.A., Malkawi, R.H., Al-Ofi, K.A., Khan, N. 2002. Review of Steel Slag Utilization in Saudi Arabia. 6 th Saudi Engineering Conference. KFUPM, Dhahran, Saudi Arabia.
11. Stock, A., Ibberson, C.M., Taylor, I. 1996. Skidding Characteristics of Pavement Surfaces Incorporating Steel Slag Aggregates. *Journal of the Transportation Research Board*. 1545(1): 35–40.
12. Jones, N. 2000. The Successful Use of Electric Arc Furnace Slag in Asphalt. Proceedings 2nd European Slag Conference. Euroslag.
13. Martin, J., Cooley Jr, L.A., Hainin, M.R. 2003. Production and Construction Issues for Moisture Sensitivity of Hot-Mix Asphalt Pavements. Transportation Research Board National Seminar. San Diego, California. Pp. 209–222.
14. Rohde, L., Peres Nãñez, W., Augusto Pereira Ceratti, J. 2003. Electric Arc Furnace Steel Slag: Base Material for Low-Volume Roads. *Journal of the Transportation Research Board*. 1819(1): 201–207.
15. Kehagia, F. 2008. Skid resistance performance of asphalt wearing courses with electric arc furnace slag aggregates. *Waste Management & Research*, 27(3), 288–294.
16. Ziari, H., & Khabiri, M.M. 2007. Preventative maintenance of flexible pavement and mechanical properties of steel slag asphalt. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 15(3), 188–192
17. Chris Maharaj, Daniel White, Rean Maharaj & Cheryon Morin Re-use of steel slag as an aggregate to asphaltic road pavement surface. *Cogent Engineering* (2017), 4: 1416889.
18. Hainin, M.R., Yusoff, N.I.M., Sabri, M.F.M., Aziz, M.A.A., Hameed, M.A.S., & Reshi, W.F. (2012). Steel slag as an aggregate replacement in Malaysian hot mix asphalt. *ISRN Civil Engineering*, 2012, 1–5. <https://doi.org/10.5402/2012/459016>
19. Каталог місцевих матеріалів та відходів виробництва для дорожнього будівництва ДП «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНД»). 2011 р.
20. User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/97148/bfs1.cfm>
21. Collins, R.J. and S.K. Ciesielski. 1994. Recycling and Use of Waste Materials and By-Products in Highway Construction, National Cooperative Highway Research Program Synthesis of Highway Practice 199, Transportation Research Board, Washington, DC.
22. ASA/RTA. A Guide to the Use of Slag in Roads, Australian Slag Association and Roads and Traffic Authority of NSW, New South Wales, Australia, 1993.
23. Рекус И.Г., Шорина О.С. Основы экологии и рационального природопользования. Москва, МГУП, 2001. 146 с.
24. Václavík V., Dirner V., Dvorský T., Daxner J. The use of blast furnace slag. *Metalurgija*, 51.2012 4, 461–464.
25. Takayuki Miyamoto, Koichi Torii, Kenichi Akahane, Sachiko Hayashiguchi. 2015. Production and Use of Blast Furnace Slag Aggregate for Concrete. *Nippon steel & sumitomo metal technical report*. Vol. 109. Pp. 102–108.
26. Доменные шлаки могут заменить дорогой цемент. *Приазовский рабочий*. 2016. № 153 (20297). URL: <http://pr.ua/news.php?new=27431>
27. ДСТУ Б В.2.7-149:2008 Будівельні матеріали. Щебінь і щебенево-піщані суміші із шлаків металургійних для дорожніх робіт. Технічні умови.
28. Дорожные одежды с использованием шлаков / А.Я. Тулаев, М.В. Королев, В.С. Исаев, В.М. Юмашев. Под ред. А.Я. Тулаев. Москва, Транспорт, 1986. 221 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ SRF И RDF НА ЦЕМЕНТНЫХ ЗАВОДАХ УКРАИНЫ

Гапонич Л.С., Голенко И.Л., Топал А.И.

Институт угольных энерготехнологий Национальной академии наук Украины
ул. Андреевская, 19, 04070, г. Киев
haponych@ukr.net

За последние годы в Украине объемы сбора твердых бытовых отходов достигают 11–12 млн т. По нашим расчетам, теплота сгорания необработанных твердых бытовых отходов для городов Украины составляет 4,8–7,0 МДж/кг. Согласно Директиве № 1999/31/ЕС, на полигоны нельзя вывозить отходы с теплотой сгорания более 6,0 МДж/кг. Национальной стратегией управления отходами в Украине до 2030 г., которая определяет правительственную политику в этой сфере, предусмотрено уменьшение объемов захоронения твердых бытовых отходов до 80% в 2018 г., до 50% в 2023 г. и до 30% в 2030 г. Кроме того, планировалось увеличение уровня термической переработки до 5% в 2018 г., до 7% в 2023 г. и до 10% в 2030 г. В 2019 г. в Украине переработано и утилизировано всего 5,4% твердых бытовых отходов, из них термически переработано меньше 2%. Почти 95% собранных и не обработанных твердых бытовых отходов поступают на полигоны для захоронения. Поэтому сегодня в Украине актуальной является задача увеличения уровня переработки твердых бытовых отходов, в том числе термической. Приоритетным направлением деятельности является превращение отходов в ресурсы и снижение объемов их образования.

Основная тенденция в управлении твердыми бытовыми отходами в странах Европейского Союза заключается в их комплексной переработке – раздельном сборе, сортировке, механико-биологической обработке и производстве энергетического топлива RDF и SRF из оставшихся фракций твердых бытовых отходов. Преимуществом этого подхода является превращение отходов в товарную продукцию, которая может накапливаться, складироваться, транспортироваться, а ее качественные характеристики могут варьироваться. Теплота сгорания RDF и SRF в зависимости от морфологического состава исходных твердых бытовых отходов и технологии производства составляет 8–25 МДж/кг. RDF и SRF имеют более однородный физический и химический состав, чем твердые бытовые отходы. В Украине есть потенциал для ежегодного производства 1,5–2,0 млн т RDF / SRF топлив с теплотой сгорания 15–7 МДж/кг.

В последние годы в Украине производится порядка 9 млн т цемента. Наши расчеты показывают, что в 2018 г. расход энергоресурсов в цементной промышленности Украины в пересчете на уголь составил 1,2 млн т. В странах Европейского Союза в качестве альтернативного топлива в цементных печах активно применяют компоненты твердых бытовых отходов или топлива, полученные на их основе. Использование на цементных заводах RDF / SRF способно частично заменить дефицитный в Украине уголь с соблюдением требований Европейского Союза по обращению с отходами. *Ключевые слова:* твердые бытовые отходы, твердое восстановленное топливо, теплота сгорания, отходы в энергию, цементный завод.

Перспективи використання SRF та RDF на цементних заводах України. Гапонич Л.С., Голенко І.Л., Топал О.І.

За останні роки в Україні обсяги збору твердих побутових відходів досягають 11–12 млн т. За нашими розрахунками, теплота згорання необроблених твердих побутових відходів для міст України становить 4,8–7,0 МДж/кг. Згідно з Директивою № 1999/31/ЄС, не можна вивозити на полігони відходи з теплою згорання понад 6 МДж/кг. Національною стратегією управління відходами в Україні до 2030 р., яка визначає урядову політику в цій сфері, передбачено зменшення обсягів поховання твердих побутових відходів до 80% у 2018 р., до 50% у 2023 р. і до 30% у 2030 р. Крім того, планувалося збільшення рівня термічного перероблення до 5% у 2018 р., до 7% у 2023 р. і до 10% у 2030 р. У 2019 р. в Україні перероблено й утилізовано всього 5,4% твердих побутових відходів, із них термічно перероблено менше ніж 2%. Майже 95% зібраних і не оброблених твердих побутових відходів надходять на полігони для поховання. Тому нині в Україні актуальною є задача підвищення рівня перероблення твердих побутових відходів, у тому числі термічного. Пріоритетним напрямком діяльності є перетворення відходів у ресурси й зменшення обсягів їхнього утворення.

Основна тенденція в управлінні твердими побутовими відходами в країнах Європейського Союзу полягає в їхньому комплексному переробленні (роздільний збір, сортування, механіко-біологічна обробка) й виробництві енергетичного палива RDF / SRF із решти фракцій твердих побутових відходів. Перевагою цього підходу є перетворення відходів у товарну продукцію, яка може накопичуватися, складуватися, транспортуватися, а її якісні характеристики можуть варіюватися. Теплота згорання RDF і SRF в залежності від морфологічного складу вихідних твердих побутових відходів і технології виробництва становить 8–25 МДж/кг. RDF і SRF мають однорідніший фізичний і хімічний склад, ніж тверді побутові відходи. В Україні є потенціал для щорічного виробництва 1,5–2,0 млн т RDF / SRF палив із теплою згорання 15–17 МДж/кг.

В останні роки в Україні виробляється майже 9 млн т цементу. Наші розрахунки показують, що у 2018 р. витрата енергоресурсів у цементній промисловості України в перерахунок на вугілля склала 1,2 млн т. У країнах Європейського Союзу як альтернативне паливо в цементних печах активно залучають компоненти твердих побутових відходів або палива, отримані на їх основі. Використання на цементних заводах RDF / SRF здатне частково замінити дефіцитне в Україні вугілля з додержанням вимог Європейського Союзу щодо поводження з відходами. *Ключові слова:* тверді побутові відходи, тверде відновлюване паливо, теплота згорання, відходи в енергію, теплота згорання, цементний завод.

The prospects to use SRF and RDF at cement plant of Ukraine. Haponych L., Holenko I., Topal O.

During the last years the amount of municipal solid waste (MSW) in Ukraine has reached almost 11–12 mln t annually. According to our estimate, heating value of not-sorted MSW from the cities of Ukraine varies in the range of 4.8–7.0 MJ/kg. As to Directive

№ 1999/31/EU, it is not allowed for waste having heating value higher than 6 MJ/kg to be disposed at a landfill. The National strategy of waste management in Ukraine till 2030, which determines the government politics in this sphere, envisions a decrease in the volumes of MSW burial to 80% in 2018, to 50% in 2023, and to 30% in 2030. In addition, it was planned to enhance the level of thermal treatment to 5% in 2018, to 7% in 2023, and to 10% in 2030. In 2019, only 5.4% from MCW were treated and utilized, and less than 2% of them were treated. About 95% of gathered and nontreated MSW come to range for burial. In view of this it is of great importance for Ukraine to increase the level of utilization of MSW including those using thermal treatment. The priority directions of activity lie here waste transformation into resources and the reduction of volumes of their formation.

The main idea in MSW management in EU countries is to follow their complex treatment – separated collection, sorting, mechanical-biological treatment, production of energy fuels as RDF and SRF from remaining fraction of MSW. The advantages of such approach are conversion of wastes toward useful end-products/goods which can be accumulated, stored up, transported, and can have qualitative characteristics to be varied as needed. Heating value of RDF and SRF is about 8–25 MJ/kg depending on morphological composition of initial MSW and way of production. RDF and SRF have more uniform physical and chemical composition compared to MSW. In Ukraine there is a potential for annual production of RDF / SRF fuel as much as 1.5–2.0 mln t having heating value of 15–17 MJ/kg.

During the last years, about 9 mln t of cement are produced in Ukraine. Our calculations show that, in 2018, the consumption of energy resources in the cement industry of Ukraine in terms of coal was 1.2 mln t. In EU countries components of MSW or fuels derived from it are actively used as alternative fuel in cement plant. The use of RDF/SRF at cement plants is capable to partly substitute coal being deficit fuel in Ukraine while meeting the requirements of EU on waste management. *Key words*: municipal solid waste, solid recovered fuel, heating value, waste to energy, cement plant.

Постановка проблемы. Верховная Рада Украины и Европейский Парламент 16 сентября 2014 г. синхронно ратифицировали Соглашение об ассоциации между Украиной, с одной стороны, и Европейским Союзом (далее – ЕС), Европейским сообществом по атомной энергии и их государствами-членами, с другой стороны (далее – Соглашение об ассоциации). Это Соглашение предусматривает постепенное приближение законодательства Украины к политике и законодательству ЕС в сфере охраны окружающей среды в 8 секторах: управление окружающей средой и интеграция экологической политики в другие отраслевые политики, качество атмосферного воздуха, управление отходами и ресурсами, качество воды и управление водными ресурсами, включая морскую среду, охрана природы, промышленное загрязнение и техногенные угрозы, изменение климата и защита озонового слоя, генетически модифицированные организмы.

Политика в области управления отходами в ЕС определяется восемью директивами, из них в список Соглашения об ассоциации вошли три: Рамочная Директива № 2008/98/ЕС от 19 ноября 2008 г. об отходах и отмене некоторых директив, Директива № 1999/31/ЕС от 26 апреля 1999 г. о захоронении отходов и Директива № 2006/21/ЕС от 15 марта 2006 г. об управлении отходами добывающих предприятий. Внедрение этих директив в Украине связано со значительными изменениями в законодательстве в сфере управления отходами. Срок внедрения директив составляет от 2 до 5 лет, с 2019 до 2022 г. Важным этапом имплементации директив ЕС в сфере обращения с отходами является разработка и одобрение распоряжением Кабинета Министров Украины № 820-р от 8 ноября 2017 г. Национальной стратегии управления отходами в Украине до 2030 г. (далее – Стратегия), которая определяет правительственную политику в сфере обращения с отходами. Задачей Стратегии является очистка окружающей среды и уменьшение отходов, в том числе твердых бытовых отходов (далее – ТБО), поступающих на полигоны для захоронения.

Актуальность исследований. Стратегией предусмотрено уменьшение объема захоронения ТБО до 80% в 2018 г. и до 30% в 2030 г. Кроме того, в соответствии с Директивой № 1999/31/ЕС, до 2030 г. планируется сокращение количества полигонов ТБО с 6 000 до 1 000 и строительство 19 стационарных установок термической утилизации отходов. Приоритетным направлением деятельности является превращение отходов в ресурсы и снижение объемов их образования.

Связь авторского исследования с важными научными и практическими заданиями. В последние годы в Украине объемы сбора ТБО достигают 11–12 млн т/год, при том, что только 77–78% населения Украины охвачено услугами по сбору и вывозу ТБО. В 2019 г. в Украине переработано и утилизировано всего 5,4% ТБО, из них 1,7% сожжено и 3,7% попало на заготовительные пункты вторичного сырья и мусороперерабатывающие установки. Почти 95% собранных и не обработанных ТБО накапливается на полигонах. В Украине работает только один мусоросжигательный завод «Энергия» (г. Киев). В 2019 г. на нем было сожжено 198,4 тыс. т несортированных ТБО с теплотой сгорания 7,1 МДж/кг. Завод может производить 227 тыс. Гкал тепловой и до 50,7 млн кВт·ч электрической энергии в год. Сегодня в Украине актуальной является задача увеличения уровня переработки ТБО, в том числе термической. Разработка научных основ и экологически безопасных технологий термической переработки альтернативных топлив, в том числе ТБО, является важной научной и актуальной практической задачей.

Анализ последних исследований и публикаций. ТБО – это отходы, которые образуются в процессе жизнедеятельности человека, накапливаются в жилых домах и учреждениях социальной сферы и непригодны к дальнейшему использованию по месту их появления. Количественные и качественные характеристики ТБО не являются постоянными и зависят от страны, города или поселка их образования, времени года [1; 2]. Усредненный морфологический

состав ТБО в Украине (данные взяты из Шестого национального сообщения Украины по вопросам изменения климата) таков: пищевые отходы – от 35 до 50%, бумага и картон – от 10 до 15%, вторичные полимеры (пластмассы, ПЭТФ бутылки, полимерная пленка, ТетраПак упаковка) – от 9 до 13%, стекло – от 8 до 10%, черные и цветные металлы – 2%, текстильные материалы – от 4 до 6%, древесина – 1%, строительный мусор – 5%, другие отходы (уличный мусор, листья, гигиенические средства, кости, кожа, резина, комбинированные отходы, опасные отходы и так далее) – 10%. Морфологический состав ТБО существенно меняется в течение года, летом и осенью увеличивается доля органических отходов, зимой – неорганического вещества.

Учитывая высокую стоимость строительства, и эксплуатации установок сжигания и совместного сжигания топлив, полученных с ТБО [3; 4], перспективы их энергетической утилизации в Украине возможны только тогда, когда захоронение отходов будет дороже переработки. На сегодня в Украине захоронение ТБО на полигонах остается самым дешевым из всех видов обращения с ТБО. Ставка налога на захоронение ТБО в Украине составляет 7,5 грн/т (37,86 грн/м³) или 0,25 €/т, тогда как в странах ЕС – 50–350 €/т [3].

При термической переработке ТБО образуется энергия, которая может быть использована для производства электроэнергии и тепла [3]. Термин «Отходы в Энергию» (Waste-to-Energy, WtoE, W2E) включает не только инсинерацию смешанного потока ТБО, но и получение возобновляемого топлива из бытовых и/или промышленных отходов – RDF (Refuse Derived Fuel), SRF (Solid Recovered Fuel) и биогаза с последующей их утилизацией на тепловой электростанции, теплоэлектроцентрали либо в энергоустановках промышленных предприятий [2]. Инсинератор – это установка для утилизации различных типов отходов путем высокотемпературного сжигания с последующей очисткой дымовых газов. Инсинерация позволяет на 90% уменьшить объем и на 75% – массу ТБО. Для инсинерации применяют три основных вида термической обработки отходов: сжигание (полное окислительное сгорание) – наиболее распространенный процесс, пиролиз (термическая деструкция органического материала в отсутствие кислорода) и газификация (частичное окисление). Для сжигания ТБО применяют технологии сжигания на решетках, вращающиеся печи и различные модификации кипящего слоя [3]. Минимальное значение теплоты сгорания ТБО для коммерческой инсинерации – 6 МДж/кг. В случае, когда содержание влаги <50%, золы <60%, а содержание углерода >25%, отходы пригодны для сжигания без вспомогательного топлива [5].

В европейских странах доля ТБО, которая подвергается обработке, в последние годы возрастает. В 2017 г. она почти достигла 98%. Инсинерации, в том числе с получением энергии, подвергается 25%

общего объема ТБО (в странах-членах ЕС – 28%), и этот показатель ежегодно увеличивается [1; 3]. Среднее значение теплоты сгорания ТБО, утилизируемых на европейских заводах WtoE, – 10 МДж/кг. В 2013 г. в странах ЕС работало 939 установок термической переработки отходов, из них 562 по технологии WtoE [1; 2]. В 2016 г. из ТБО было произведено 40 млн кВт·ч электроэнергии и 93 млн кВт·ч теплоты, что сократило использование ископаемого органического топлива на 40–45 млн т и, кроме того, предотвратило выброс до 50 млн т в год парниковых газов (в пересчете на CO₂), которые могли бы выделяться в виде CH₄ и CO₂ в случае складирования этих отходов на полигоне или свалке [2]. В 2004 г. в странах ЕС в качестве альтернативного топлива в цементных печах использовалось 6,1 млн тонн различных видов отходов [6]. В 2007 г. около 17% традиционных видов топлива на цементных заводах было замещено отходами. На некоторых заводах уровни замещения составили более 80%. Это позволило сэкономить около 4 млн т угля [4]. Уголь является основным топливом, сжигаемым в цементных печах. В Австрии уровень замещения традиционного топлива отходами в 2007 г. составил 47%. В цементной промышленности Польши используют в год около 900 тыс. т такого топлива, им замещают около 43% традиционного топлива [2].

Цель работы. Целью работы является анализ современного состояния обращения с ТБО и оценка перспектив энергетического использования в Украине альтернативного топлива, полученного из ТБО.

Изложение основного материала. Теплота сгорания ТБО и их компонентов варьируется очень широко, от 3 до 40 МДж/кг (табл. 1) [3; 4].

Таблица 1

Теплота сгорания для различных типов отходов, используемых в качестве топлива в странах ЕС

Вид горючих отходов	Q _i , МДж/кг
Дерево	16
Бумага, картон	3–16
Текстиль	40
Пластмассы	17–40
Восстановленное топливо из ТБО (RDF)	14–25
Резина	26
Промышленный шлам	8–14
Муниципальный осадок сточных вод	12–16
Мука животного происхождения, жиры	14–18, 27–32
Сельскохозяйственные отходы	12–16
Растворители и связанные с ними отходы	20–36
Осадок сточных вод: влажность > 10%, влажность < 10%	3–8, 8–13
Нефтяные и масляные отходы	25–36

Для замещения традиционного топлива в цементной печи необходимо топливо с теплотой сгорания более 15–17 МДж/кг. ТБО городов Украины характе-

ризируются более низкими значениями теплоты сгорания, однако некоторые составляющие ТБО и восстановленное топливо из ТБО с достаточной теплотой сгорания могут заменить ископаемое топливо и обеспечить его экономию. В табл. 2 приведены элементный состав и теплота сгорания смешанных ТБО разных городов и Украины в целом. Элементный состав (на рабочее состояние) рассчитан по морфологическому составу и элементному составу компонентов ТБО для разных городов Украины [5]. Низшая теплота сгорания на рабочий состав топлива Q_i^r , МДж/кг рассчитана по формуле Менделеева:

$$Q_i^r = 4,18(81C^r + 300H^r - 26(O^r - S^r) - 6(9H^r + W^r)) \times 10^{-3}.$$

По нашим расчетам, теплота сгорания необработанных ТБО для городов Украины составляет 4,8–7,0 МДж/кг. Согласно Директиве № 1999/31/ЕС, нельзя вывозить на полигоны отходы с теплотой сгорания более 6 МДж/кг.

Концепция “Recovered” (восстановление) является ключевым элементом интегрированного обращения с отходами. Преимуществами этого подхода к переработке отходов является то, что отходы превращаются в товарную продукцию, которая может накапливаться, складироваться, транспортироваться. Refuse – в англоязычных странах это общий термин для определения твердых бытовых и коммерческих или промышленных отходов. Термин Refuse Derived Fuel (RDF) обычно относится к выделенным высококалорийным фракциям ТБО. Для отделения фракций ТБО, которые можно использовать как топливо, разработаны две технологии: механико-биологическая обработка (далее – МБО) отходов с получением твердого восстановленного топлива и / или биогаза и сухая стабилизация [7]. МБО отходов объединяет механические и биологические методы. К механическим методам относятся: отдельный сбор, сортировка с помощью сит, магнитов и другого, смешивание, сушка, измельчение, прессование, гранулирование. Такое сырье, как бумага, стекло, пластик

и металл идут на переработку. Биологически разлагающиеся фракции ТБО могут быть отправлены на компостирование и анаэробное сбраживание. Все остальные фракции, а это около трети ТБО, являются сырьем для твердого восстановленного топлива. При использовании технологии сухой стабилизации остаточные отходы (без инертных и металлов) подвергаются биологической обработке: сушатся и стабилизируются с помощью процесса компостирования. При этом образуется топливо с высокой теплотой сгорания. Таким образом, RDF – это органическое топливо, полученное из ТБО при удалении вторичного сырья и негорючих материалов. Качественные характеристики RDF варьируются в зависимости от морфологического состава ТБО и технологии производства: может быть получено топливо с теплотой сгорания 8–25 МДж/кг в виде порошка или гранул разного размера и плотности. RDF имеет более однородный физический и химический состав, чем ТБО.

Solid Recovered Fuel, SRF (твердое восстановленное топливо, твердое рекуперированное топливо) – это твердое топливо, полученное из безопасных отходов, в том числе твердых бытовых, промышленных и коммерческих отходов, включая бумагу, картон, дерево, текстиль и пластмассу, которое может быть использовано для производства энергии в установках сжигания или совместного сжигания. SRF производится в соответствии с классификацией и техническими характеристиками, изложенными в Европейском стандарте EN 15359:2011. Этот стандарт принят в Украине методом подтверждения – «ДСТУ EN 15359: 2018 Твердое восстановленное топливо. Технические характеристики и классы (EN 15359: 2011, IDT)».

Количество RDF / SRF, получаемого из ТБО, варьируется от 25 до 55% (по массе) в зависимости от страны, типа сбора, методов обработки и требований к качеству [7]. В ЕС в 2003 г. было произведено около 3 млн т RDF / SRF, в 2005 г. – более 5 млн т, а в 2017 г. – уже 17,5 млн т. Производство и потребление RDF / SRF в мире ежегодно увеличивается. На

Таблица 2

Элементный состав и теплота сгорания смешанных ТБО разных городов Украины и Украины в целом

Страна или город	Элементный состав, %							Q_i^r , МДж/кг
	C ^r	H ^r	O ^r	N ^r	S ^r	A ^r	W ^r	
Украина	20,3	2,8	17,5	0,6	0,1	20,2	38,5	6,9
Винница	18,6	2,6	15,8	0,4	0,1	21,8	40,2	6,3
Киев	17,1	2,4	14,4	0,5	0,1	24,4	40,9	5,7
Львов	19,6	2,7	15,3	0,6	0,2	17,3	43,8	6,7
Мелитополь	20,2	2,9	18,1	0,4	0,1	21,0	40,0	7,0
Николаев	19,6	2,7	15,3	0,6	0,2	17,3	43,8	6,7
Полтава	16,5	2,3	13,6	0,6	0,1	25,4	41,3	5,5
Суммы	14,0	2,0	10,6	0,5	0,1	39,0	33,8	4,8
Харьков	18,3	2,6	16,5	0,5	0,1	22,7	38,8	6,1
Черкассы	20,3	2,8	15,5	0,6	0,2	18,7	41,3	7,0

заводах WtoE при совместном сжигании с углем при производстве цемента на тепловых электростанциях и теплоэлектроцентралях в 2015 г. было утилизировано около 13,5 млн т RDF / SRF, из них 6,2 млн. т – на цементных заводах (данные CEMBUREAU – Европейской цементной ассоциации).

В цементной промышленности используют технологии вращающихся печей. Такие печи также используют для сжигания опасных отходов [3; 4]. Во вращающейся печи температура процесса сгорания достигает 1 400–1 500 °С, температура пламени при этом достигает 2 000 °С. Сжигание происходит в кислородной атмосфере. При наивысшей температуре материал пребывает в зоне горения до 20 минут. Время пребывания уходящих газов при температуре более 1 100 °С составляет 8–10 секунд, а при температуре более 1 600 °С – 2–3 секунды. Такие условия необходимы для получения клинкера высокого качества. Газообразные продукты сгорания находятся в зоне с температурой выше 1 200 °С в течение 50–60 секунд. Теплоемкость разогретой вращающейся цементной печи является настолько высокой, что даже в случае аварийной остановки и прекращения подачи топлива в течение примерно получаса температура поверхности печи и материала не снижается [8; 9]. Продолжительность обжига в цементных печах создает возможность безопасно и в соответствии с экологическими требованиями сжигать практически все виды горючих отходов [10].

Предельные выбросы загрязняющих веществ в дымовых газах при сжигании отходов регламентируются Директивой № 2010/75/ЕС о промышленных выбросах (Табл. 3). Требования Директивы № 2010/875/ЕС о промышленных выбросах являются определяющими для выбора технологий сжигания отходов (далее – СО).

В последние годы в Украине производится порядка 9 млн т цемента. Производство цемента является энергозатратным. По данным ассоциации Укрцемент, существующих мощностей достаточно для производства 13 млн т цемента в год. В 2018 г. было произведено 9,11 млн т цемента, причем производство клинкера составило 6,6 млн т. Сухим способом было произведено 80,1%, мокрым – 19,9% клинкера. Затраты энергоресурсов для сухого метода производства клинкера составляют 3,0–4,2 МДж/кг, мокрого – 5,0–6,4 МДж/кг [11]. Наши расчеты показывают, что в 2018 г. расход энергоресурсов в цемент-

ной промышленности Украины в пересчете на уголь составил 1,2 млн т.

В Украине, начиная с 2014 г., наблюдается дефицит угля всех марок. Использование на цементных заводах в качестве топлива или добавки к основному топливу RDF и SRF способно частично заменить дефицитный в Украине уголь с соблюдением требований ЕС по обращению с отходами. Наши расчеты показывают, что в Украине есть потенциал для производства 1,5– 2,0 млн т RDF / SRF с теплотой сгорания 15–17 МДж/кг ежегодно. Надо отметить, что производство RDF и SRF в Украине только начинается. На рынке уже есть предложения по поставке таких топлив в виде гранул и брикетов калорийностью 14,5–27,0 кДж/кг, цена которых колеблется от 2 000 до 3 000 грн/т.

Новизна. Рассчитаны элементный состав и теплота сгорания смешанных ТБО разных городов Украины и Украины в целом. Оценены перспективы применения технологий WtoE в цементной промышленности Украины в части использования в цементных печах топлив на основе ТБО – RDF и SRF. Показано, что в Украине есть потенциал для ежегодного производства 1,5–2,0 млн т RDF / SRF с теплотой сгорания, пригодной для сжигания в цементных печах.

Основные выводы. Главная тенденция в управлении ТБО в странах ЕС заключается в их комплексной переработке – раздельном сборе, сортировке, механико-биологической обработке, и производстве энергетического топлива RDF и SRF из оставшихся фракций ТБО. Преимуществом этого подхода является превращение отходов в товарную продукцию с необходимыми для выбранного направления использования качественными характеристиками. В Украине есть потенциал для ежегодного производства 1,5–2,0 млн тонн RDF / SRF с теплотой сгорания 15,0–17,0 МДж/кг. Использование RDF и SRF на цементных заводах в качестве добавки к технологическому топливу способно частично заменить дефицитный в Украине уголь, уменьшить загрязнение окружающей среды и снизить эмиссию парниковых газов. Задачей последующих исследований является выбор технологии получения RDF / SRF с показателями, пригодными для использования в цементной промышленности, изучение его физических параметров, химического состава и экспериментальное исследование процессов его термической конверсии.

Таблица 3

Требования Директивы № 2010/75/ЕС о промышленных выбросах

Вещество, мг/м ³	Пыль	СОУ*	HCl	HF	SO ₂	NO _x	CO	Cd+Pb	Hg	Тяжелые металлы	Диоксины и фураны, нг/м ³
CO	10	10	10	1	50	200	50	0,05	0,05	0,5	0,1
Совместное СО	30	10	10	1	50	500	–	0,05	0,05	0,5	0,13

*Газообразные и парообразные органические вещества, выраженные как суммарный органический углерод (СОУ)

Литература

1. UNEP. Waste-to-Energy: Considerations for Informed Decision-Making. 2019. URL: <https://www.unenvironment.org/ietc/resources/publication/waste-energy-considerations-informed-decision-making>.
2. Saveyn H., Eder P., Ramsay M., Thonier G., Warren K., Hestin M. Towards a better exploitation of the technical potential of waste-to-energy. EUR 28230 EN. 2016. DOI : 10.2791/870953.
3. Neuwahl Frederik, Cusano Gianluca, Benavides Jorge Gómez, Holbrook Simon, Roudier Serge. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration. EUR 29971 EN. 2019. 764 p. DOI : 10.2760/761437.
4. Schorcht Frauke, Kourti Ioanna, Scalet Bianca Maria, Roudier Serge, Sancho Luis Delgado. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide. 2013. 506 p. URL: https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/CLM_Published_def_0.pdf.
5. Соломин И.А., Афанасьева В.И. Состав и свойства твердых коммунальных отходов, учитываемые при выборе технических методов обращения с отходами. *Природообустройство*. 2017. Вып. 3. С. 82–90. DOI : 10.26897/1997-6011-2017-3-82-90.
6. Pedersen M.N. Co-firing of Alternative Fuels in Cement Kiln Burners. Technical University of Denmark. 2018. URL: https://backend.orbit.dtu.dk/ws/files/161972551/808873_PhD_thesis_Morten_Nedergaard_Pedersen_fil_fra_trykkeri.pdf.
7. Refuse derived fuel, current practice and perspectives (B4-3040/2000/306517/ MAR/E3). WRc, 2003. URL: <http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/rdf.pdf>.
8. Khrunyk S. Bezpieczeństwo ekologiczne wykorzystania paliw alternatywnych z odpadów w przemyśle cementowym. *Dioksyny w przemyśle i środowisku* : IX Konferencja Naukowa, Kraków – Tomaszowice, 12–13.06.2008. Kraków : Wydawnictwo Naukowe Politechniki Krakowskiej, 2008. S. 110–117.
9. Саницький М.А., Марків Т.Є., Хруник С.Я., Круць Т.М., Рецько К.О. Використання альтернативного палива в цементній промисловості. *Теорія і практика будівництва. Вісник НУ «Львівська політехніка»*. 2007. № 600. С. 258–264.
10. Саницький М.А., Хруник С.Я., Марків Т.Є., Мазурак О.Т. Використання альтернативних палив у цементній промисловості. *Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні* : матеріали IV Міжнар. наук.-практ. конф. Львів : ЛьЦНТЕІ, 2007. С. 152–156.
11. Плашихін С.В. Довідник з ресурсоефективного та чистого виробництва. Цементна промисловість. Київ : Центр ресурсоефективного та чистого виробництва, 2020. 96 с. URL: http://www.recpc.org/wp-content/uploads/2020/03/Posibnik_CemProm_A5_prosm.pdf.

ЕКОЛОГІЧНІ ШКОДИ КАРБОНОВМІСНОГО ПИЛУ ТА ЗМЕНШЕННЯ ЙОГО НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ ЯК СКЛАДНИК СТАЛОГО РОЗВИТКУ ГІРНИЧОВИДОБУВНОЇ ГАЛУЗІ

Горобей М.С.

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

Розглянуто ризики негативного впливу карбонівмісного пилу на довкілля та здоров'я людини як ключове питання сталого довкілля. Як один із важливих ресурсів за всю історію індустріалізації, вугілля і досі широко використовується в різних галузях промисловості. Проте вугледобувна промисловість спричиняє серйозні екологічні проблеми. Близько 30% світового попиту на первинну енергію задовольняється за допомогою вугілля, що унеможливає його заміну в найближчому майбутньому. За умови забезпечення реалізації заходів, визначених Енергетичною стратегією України до 2035 року й Стратегією екологічної політики до 2030 року, неможливо повністю припинити діяльність із видобутку вугілля. За таких обставин вся діяльність гірничовидобувних компаній має сприяти сталому розвитку. Вугільним шахтам потрібно інвестувати в чистіші технології виробництва з метою зменшення заподіяння шкоди навколишньому природному середовищу. Викиди пилу, які утворюються під час основних процесів видобутку вугілля, засвідчують, що важливою екологічною проблемою, яка супроводжує експлуатацію вугільних шахт, кар'єрів, терміналів зберігання та перевантаження, є забруднення атмосферного повітря карбонівмісним пилом, який може потрапляти в повітря протягом значного часу й переміщатися на великі відстані. Аналіз екологічного впливу карбонівмісного пилу, спричиненого видобутком вугілля, важливий для запобігання екологічних катастроф. Проведені обстеження підтвердили шкідливий вплив карбонівмісного пилу на повітря, воду, ґрунт та екологію місцевості, де є підприємства з видобутку вугілля, на здоров'я людей, а також можливість трансграничного забруднення пиловими частками. Отже, поліпшення якості атмосферного повітря може розв'язуватися шляхом вдосконалення наявних і впровадження новітніх технологій. Для зменшення шкідливого впливу на довкілля рекомендується локалізувати викиди карбонівмісного пилу в місцях його утворення за допомогою диспергової води. Запропоновано заходи зменшення негативного впливу карбонівмісного пилу, що сприятимуть ефективній та екологічно стійкій експлуатації вугільних ресурсів. *Ключові слова:* екологічна безпека, гірничовидобувна промисловість, забруднення повітря, карбонівмісний пил, довкілля, здоров'я людини, запобігання та контроль пилу, запобігання забрудненню, пилоподавлення, гідрознепилення, екологічна стійкість, сталий розвиток.

Ecological damages of carbon-containing dust and reduction of its negative impact on the environment as a component of sustainable development of the mining industry. Gorobei M.

The risks of the negative impact of carbon-containing dust on the environment and human health as a key issue for a sustainable environment are considered. As one of the important resources in the history of industrialization, coal is still widely used in various industries. However, the coal industry causes serious environmental problems; about 30% of world demand for primary energy is provided coal, which makes it impossible to replace it in the near future. Under the conditions of ensuring the implementation of the measures set by the Energy Strategy of Ukraine until 2035 and the Strategy of Environmental Policy until 2030, it is impossible to completely stop coal mining activities. In such circumstances, all mining companies must promote sustainable development. Coal mines need to invest in cleaner production technologies in order to reduce damage to the environment. Dust emissions generated during major coal mining processes indicate that an important environmental problem that accompanies the operation of coal mines, quarries, storage and transshipment terminals is air pollution by carbon-containing dust, which can enter the air for a long time and move long distances. Analysis of the environmental impact of carbon dust caused by coal mining is important to prevent environmental problems. Studies have confirmed the harmful effects of carbon dust on the air, water, soil and ecology of the area where the coal mines are located, on human health, as well as the possibility of transboundary dust pollution. Therefore, improving air quality can be solved by improving existing and introducing new technologies. To reduce the harmful impact on the environment, it is recommended to localize the emissions of carbon-containing dust in the places of its formation with the help of dispersed water. The measures proposed in the study to reduce the negative impact of carbon-containing dust will contribute to the efficient and environmentally sustainable exploitation of coal resources. *Key words:* ecological safety, mining industry, air pollution, carbon dust, environment, human health, prevention and control of dust, pollution prevention, dust suppression, hydrodedusting, ecological stability, sustainable development.

Постановка проблеми. Забруднення навколишнього природного середовища та його вплив на здоров'я людини є ключовим питанням сталого довкілля (Генеральна Асамблея ООН, 1987 рік).

На сьогодні глобальні екологічні проблеми тісно пов'язані з антропогенним забрудненням повітря. Охорона атмосферного повітря є ключовою пробле-

мою поліпшення природного середовища, оскільки повітря займає особливе місце серед інших компонентів біосфери, виконує найскладнішу захисну екологічну функцію. Проблеми впливу забруднення повітря на здоров'я людини широко вивчаються у всьому світі.

Здорове довкілля є визначальним фактором здоров'я та розвитку людини. За даними Всесвітньої

організації охорони здоров'я (ВООЗ), тільки забруднення повітря, яке є одним з найсерйозніших ризиків для здоров'я, щорічно спричиняє 7 млн смертей, і понад 90% людей дихають забрудненим повітрям. Цей показник більш ніж удвічі перевищує попередні оцінки і підтверджує, що нині забруднення повітря є найбільшим в світі екологічним ризиком для здоров'я. Скорочення викидів, що забруднюють повітря може зберегти мільйони життів [1].

Організм людини чутливий до найменших змін компонентного складу вдихуваного повітря і реагує природними реакціями на наявність домішок навіть природного походження. Висока концентрація зважених часток має пряму фіброгенну дію на тканини дихальних шляхів. Ці частки, як наждачний папір, постійно подразнюють їх. Вдихання повітря, що містить велику кількість зважених часток, може мати негативні наслідки. Вугільний пил, який в чистому вигляді є хімічно інертним, при тривалому впливі на організм людини призводить до виникнення хронічних пилових захворювань легень – таких як пневмокозіоз, що характеризується прогресуючим розвитком фіброзу легень, до розвитку бронхітів, пневмонії, бронхіальної астми, емфіземи, дерматитів, кон'юнктивіту та іншого, пригнічує діяльність нервової, серцево-судинної, травної систем, призводить до порушення обміну речовин і зниження захисних функцій організму. За високої адсорбційної здатності пилові частки можуть утримувати на своїй поверхні молекули газоподібних токсичних речовин, наприклад, оксиду і діоксиду вуглецю, які потрапляючи до організму людини, призводять до його хімічного ураження. Карбоновмісний пил є фактором збільшення смертності від серцевих та респіраторних захворювань (дрібні частинки прямують глибоко в легені і переходять у кров, створюючи ризик інсульту та інфаркту), зниження легеневої функції з розвитком обструктивних захворювань дихальних шляхів та збільшення поширеності їх симптомів. Вплив на здоров'я людей пов'язаний як з короткочасною, так і з довгостроковою дією часток пилу [2].

Енергетична стратегія України до 2035 року [3], передбачає збільшення енергетичної незалежності країни шляхом збільшення власного видобутку карбонових енергоносіїв, що, власне, унеможливіє швидке збільшення виробництва енергії за рахунок відновлювальних та альтернативних джерел [4], а також повне припинення діяльності з видобутку вугілля. Зважаючи на це, вугільним шахтам потрібно інвестувати в інноваційні технології виробництва для зменшення шкоди навколишньому природному середовищу, зокрема, зменшенню забруднення карбоновмісним пилом.

Запобігання забрудненню карбоновмісним пилом довкілля – актуальна проблема, вирішення якої є передумовою науково-технічного прогресу у сфері екологічної безпеки та сприятиме більш ефективній та екологічно стійкій експлуатації вугільних ресурсів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує статистично встановлений зв'язок між забрудненням повітря та загальною захворюваністю населення. А у разі епідемій – здатність імунної системи протистояти інфекційним хворобам. Забруднене повітря чітко пов'язане з поширеністю хронічних респіраторних захворювань. Стан довкілля входить до четвірки ключових чинників, що формують індивідуальний (і колективний) імунітет. Тому тривале його забруднення у може істотно збільшити поширеність та наслідки інфекційних захворювань серед населення (наприклад, пандемії COVID-19).

За даними публікацій [5–7], внесок забруднення повітря у частоту та тяжкість найбільш поширених захворювань органів дихання, травлення, шкіри, алергічних реакцій тощо становить до 30% від загальної кількості факторів, що впливають на здоров'я. Останні дослідження засвідчили, що забруднення частками карбоновмісного пилу спричиняє близько 1 млн. смертей щорічно у всьому світі [8].

Системні дослідження провідних вітчизняних та закордонних фахівців з проблем аналізу екологічних і техногенних загроз для основних компонентів довкілля, що виникають на різних етапах функціонування гірничих підприємств (С.В. Гошовського, Г.І. Рудька, П.І. Копача, О.А. Улицького, І.Ф. Ярембаша, Л.Є. Шкици й інших, Б.А. Грядущого, В.Б. Гого, В.М. Єрмакова, А.Б. Качинського, Є.О. Яковлева, О.М. Трофимчук, О.І. Лисенка, О.Г. Драчука, Wenbing Gu, Yi Tan, W.S. Liu, C. Pettit, W. Pulle та інших) свідчать про те, що боротьба з карбоновмісним пилом є складним науково-практичним завданням.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Діяльність шахт зумовлює виникнення комплексу явищ і процесів, негативних в техногенному та екологічному аспектах, зокрема, забруднення довкілля карбоновмісним пилом. Жоден з відомих способів і засобів гідрознеплення не забезпечує зниження запиленості повітря відповідно до санітарних норм. Не зрозуміла повною мірою роль динамічного змочування карбоновмісного пилу, тому механізм гідрознеплення повітря зрештою залишається недостатньо вивченим. У зв'язку з цим виникає необхідність встановлення науково-обґрунтованих параметрів для створення і використання ефективних способів гідрознеплення, розробки теоретичних основ екологічної безпеки для довкілля та людини на територіях функціонування гірничих підприємств. Тому актуальне сьогодні питання вивчення процесів взаємодії крапель диспергованих водних потоків із частками сухого та осадженого карбоновмісного пилу.

Виклад основного матеріалу. Карбоновмісний пил, що утворюється під час видобутку, перевалки та переробки вугільної сировини, є найшкідливішим забруднювачем повітря, що спричиняє

високий рівень захворюваності людей на території, де він поширюється. Вдихання карбоновмісного пилу спричиняє широке коло респіраторних захворювань, включаючи невиліковний пневмоконіоз, хронічну обструктивну хворобу легень, дифузний фіброз, хронічний бронхіт та інші хронічні захворювання органів дихання [9;10].

Проблема забруднення повітря в Україні є однією з найважливіших екологічних проблем. Оскільки основна частина населення живе в районах, де концентрація забруднюючих речовин регулярно перевищує гранично допустимі рівні.

Вугільна промисловість посідає особливе місце серед галузей, що сприяють пиловому забрудненню атмосфери [11–15]. Основними джерелами забруднення атмосферного повітря під час видобутку вугілля в шахтах є відвали гірських порід, вугільні склади та основні вентиляційні стволи шахт (рисунк 1).

Вугільна промисловість впливає не лише на територію підприємств, що займаються видобутком вугілля, а й навколишнє середовище прилеглих населених пунктів.

Викинутий через вентиляційні системи шахт грубодисперсний пил інтенсивно осідає в межах санітарно-захисних зон шахт. Тонкодисперсний пил виноситься за їх межі, забруднюючи довкілля на відстані до 3 500 м від вугільної шахти. Забруднення атмосферного повітря та зміна екологічних параметрів мають повільний, накопичувальний ефект негативних наслідків, що проявляється через багато десятиліть. Якість повітряного басейну, в свою чергу, впливає на стан лісів, урожайність сільськогосподарських культур тощо.

Карбоновмісний пил впливає на людей, які живуть неподалік вугільних шахт, та спричиняє захворювання органів дихання та алергію. Він небезпечний як транспортер в організм людини і тварин шкідливих і отруйних речовин, що осідають на тонкодисперсних частках вугілля.

На територіях, де проводяться гірничовидобувні роботи, мешкають близько 20% місцевого населення України, а обсяг житлової забудови за останні роки досяг 30%. За даними Інституту екологічної гігієни та токсикології України, щороку на одну людину припадає понад 95 кг шкідливих речовин. У зв'язку з діяльністю вугледобувних підприємств екологічне навантаження на біосферу регіону є найбільшим в Європі [16].

Інтенсивність впливу забруднення навколишнього середовища на території прилеглих територій шахт різна в часі та просторі і залежить від обсягу та технології видобутку. Викиди великих вугледобувних підприємств містять значний відсоток пилових часток різних хімічних складів, які мають ефект осідання на підстилаючій поверхні. Навіть якщо їх вміст у повітрі не перевищує встановлених норм, вони можуть накопичуватися у депонуючих середовищах (грунтах, сніговому покриві). Тому, з одного боку, наявність пилу відображає забруднення повітря, а з іншого – характеризує процеси вторинного надходження забруднюючих речовин у природне середовище (наприклад, під час таяння снігу). Карбоновмісний пил є джерелом забруднення та негативно впливає на довкілля та здоров'я людини [17], як показано в таблиці 1, тому зменшення всіх його викидів є актуальною проблемою в сучасних умовах.

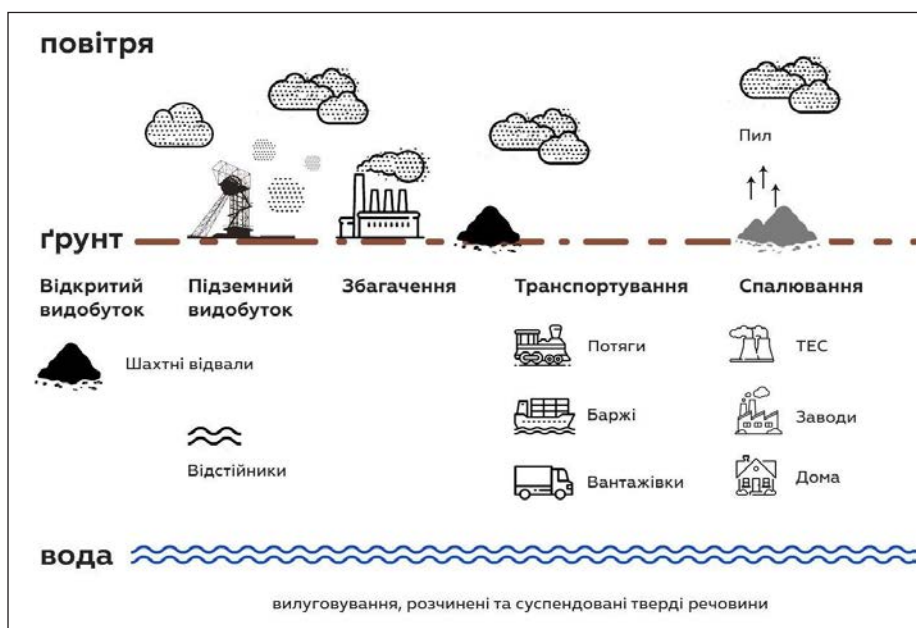


Рис. 1. Екологічні наслідки впливу карбоновмісного пилу на довкілля під час його видобутку, транспортування, зберігання та переробки

Найсуттєвіший наслідок – погіршення якості повітря. За останнє десятиріччя викиди пилу та газу в атмосферу підприємств вугільної промисловості зросли більш ніж удвічі. Через вивітрювання гірських порід у повітря потрапляє великий спектр забруднюючих речовин.

Легкість дрібних пилових часток дозволяє їм тривалий час залишатися зваженими у повітрі і пролітати від сотень до тисяч кілометрів, залежно від вітру та інших метеорологічних умов. Перенесення пилових часток на значну відстань робить характер забруднення транскордонним. Тому гірничодобувні та переробні галузі мають своєчасно вживати ефективних заходів щодо зменшення забруднення.

Високі витрати на охорону навколишнього середовища та втрати вугілля в процесі зберігання та транспортування вимагають розробки та впровадження нових економічно вигідних та ефективних технологій для значного зменшення забруднення повітря.

У ХХІ столітті охорона екологічного та геологічного середовища привертає все більше уваги до галузі видобутку корисних копалин з метою реалізації стратегії сталого розвитку ООН.

Інтеграція розвитку мінеральних ресурсів та охорони навколишнього середовища стала важливою тенденцією розвитку в міжнародній гірничій галузі.

Зменшення викидів забруднюючих речовин в атмосферу є одним із пріоритетів екологічної безпеки у гірничодобувній галузі. Запобігання утворенню карбонівмісного пилу та потрапляння його в атмосферу є важливою і невід'ємною частиною видобутку вугілля.

Основним напрямком діяльності в галузі боротьби з пилом є запобігання його утворення та потрапляння в робочі виробки та атмосферу. Найпоширенішим інструментом боротьби з пилом у цьому випадку є гідрознепилення. Гідрознепилення на гірничих підприємствах включає запобігання пилоутворення під час руйнування гірського масиву, переробки та транспортування пилоутворюючого матеріалу та пригнічення пилу, що утворюється. Гідрознепилення застосовується майже в усіх гірничих процесах і за будь-яких кліматичних умов, навіть за низьких температур.

З метою запобігання негативного впливу карбонівмісного пилу на населення необхідно розробити та застосувати на практиці ефективну систему мінімізації розповсюдження його поза підприємствами. Для зниження рівня екологічної небезпеки викидів пилу з вугільних шахт рекомендується локалізувати його за допомогою диспергованої води. Це вимагає пошуку нових способів і засобів пилоподавлення з підвищенням ефективності та надійності на основі

Таблиця 1

Вплив карбонівмісного пилу на довкілля і людину

Середовище	Екологічний аспект і джерела	Типи і/або шляхи	Потенційна дія
Повітря	Викиди пилу Джерело: вітрова ерозія відвалів, бортів кар'єрів та сховищ, пил машинного відбивання, подрібнення; навантажно-розвантажувальних та транспортних операцій, буріння свердловин. діючі об'єкти або мобільне устаткування, яке порушує шар ґрунту	Частинки вугілля і породи	Збільшення кількості респіраторних захворювань робітників Збільшення кількості респіраторних захворювань серед населення прилеглих територій Забруднення повітря
Ґрунти	Перенесення пилу на ґрунт Джерела: покинуті матеріали, завислий пил з породних відвалів, та місць зберігання вугілля, від збагачення та транспортування вугілля, завислий у воді осад, забруднювачі, розчинені в стоках, фільтрах або водах, які відкачуються	Похідні завислі часточки ґрунту і породи, карбонівмісний пил	Забруднення ґрунтів Зменшення придатності прилеглих ґрунтів для відновлення рослинності
Поверхневі води	Пиловий осад	Розчинені або захвачені смолисті похідні вугілля, пил	Негативні наслідки для здоров'я населення, нижче за течією Негативний вплив на водні екосистеми Зменшення комунального водопостачання Втрата водних шляхів Збільшення витрат на очищення води Підкислення і евтрофікація водних об'єктів.
Підземні води	Дренаж забруднених вод Джерела: Відвали – поверхневий дренаж Фільтрати відвалів Дренаж земель з порушеним ґрунтовим шаром і дренаж з об'єктів Дренаж ґрунтових вод, що відкачуються з різних геохімічних водоносних шарів, які скидаються на поверхні	Розчинені або захвачені смолисті похідні вугілля, карбонівмісний пил	Негативні наслідки для населення нижче за течією і приймаючих екосистем у зв'язку з підвищеною біологічною і хімічною потребою в кисні Зменшення комунального водопостачання Втрата водних шляхів Збільшення витрат на очищення води

подальших теоретичних та експериментальних досліджень.

Виробництва, що займаються видобутком та транспортуванням вугілля, мають вживати ефективні заходи зменшення наслідків, щоб стримувати вплив твердих часток на довкілля. Викиди пилу у навколишнє природне середовище повинні регулярно контролюватися. Належна практика може допомогти мінімізувати навантаження на довкілля та людей.

Заходи щодо зменшення карбоновмісного пилу, включаючи використання закритих конструкцій для завантаження та зберігання, навчання персоналу різними методиками для мінімізації викидів пилу, оцінка вологості вугілля та практичні практики управління, такі як покриття та змочування відкритих запасів, використання сучасних ефективних засобів гідрознепилення відіграють ключову роль у запобіганні розповсюдження карбоновмісного пилу.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Отже, аналіз наукової літератури та результатів експериментальних досліджень щодо впливу атмосферних суспендованих частинок на людину дозволяє зробити висновок, що тверді частки можуть становити значний ризик залежно від їх розмірів, морфометричних та фізико-хімічних характеристик; серйозну небезпеку представляють різноманітні респіраторні захворювання, що виникають під впливом зважених часток карбоновмісного пилу.

Для підвищення технічного рівня захисту атмосферного повітря та поліпшення ситуації в місцях

розташування підприємств вугільної промисловості необхідні такі заходи:

- оснащення джерел викидів карбоновмісного пилу ефективними установками для очищення від пилу та газу;

- заміна пило- та газоочисних споруд, що не забезпечують очищення викидів за встановленими стандартами, більш ефективними аналогами;

- використання діючих ефективних методів та технічних засобів для запобігання та зменшення пилоутворення та викиду карбоновмісних пилових часток в атмосферу під час технологічних процесів видобутку та переробки вугілля;

- виробничий контроль за технічним станом очисних споруд та їх працездатністю.

Забруднення повітря та зміни навколишнього середовища мають повільний, накопичувальний негативний вплив на довкілля та здоров'я людини [18].

Карбоновмісний пил руйнує екосистеми та становить загрозу здоров'ю людини, а отже, важливість ефективних методів пилоподавлення не варто недооцінювати. Поліпшення атмосферного повітря повинно вирішуватися шляхом удосконалення існуючих та впровадження інноваційних технологій.

Аналіз впливу на довкілля карбоновмісного пилу, спричиненого гірничовидобувною діяльністю, є важливим для запобігання екологічних катастроф, а відповідні заходи зменшення його негативного впливу сприяють ефективній та екологічно стійкій експлуатації вугільних ресурсів.

Література

1. World Health Organisation : офіційний вебсайт. URL: https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1 (дата звернення: 15.07.2020).
2. Драчук Ю.З. Напрямок зменшення негативного впливу на довкілля у вугільному регіоні. *Економічний вісник Донбасу*. 2007. № 1 (7). С. 33–37.
3. Енергетична стратегія України на період до 2035 року : документ від 10 грудня 2019 р. / Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: <https://menr.gov.ua/news/34422.html>.
4. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року : Закон України від 28 лютого 2019 р. № 2697-VIII / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text>.
5. Холодов А.С., Кириченко К.Й., Задорнов К.С., Голохваст К.С. Вплив твердих часток у повітрі житлових районів на здоров'я людини. *Періодичний вісник Камчатського державного технічного університету*. 2019. С. 82.
6. Гілмундінов В.М., Казанцева Л.К., Тагаєва Т.О., Кугаєвська К.С. Вплив забруднення навколишнього середовища на здоров'я населення регіонів Росії. *Регіон: економіка та соціологія*. 2013. № 1. С. 209–228.
7. Кіку П.Ф., Беніова С.Н., Гельзер Б.І. Навколишнє середовище та екологічно залежні захворювання людини. Владивосток: Далекосхідний федеральний університет, 2017. С. 390.
8. Coal Dust: Environmental Impacts And Good Coal Dust Management Practices. URL: <https://www.environment.co.za/environmental-issues/coal-dust-environmental-impacts-and-good-coal-dust-management-practices.html> (дата звернення: 28.01.2019).
9. Petsonk E.L., Rose C., Cohen R. Coal mine dust lung disease. New lessons from old exposure. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2013. № 187 (11). P. 1178–1185.
10. Laney A.S., Weissman D.N. Respiratory diseases caused by coal mine dust. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2014. № 56 (10S). P. 18–22.
11. Surber S., Simonton D. Disparate impacts of coal mining and reclamation concerns for West Virginia and central Appalachia. *Resources Policy*. 2017. V. 54. P. 1–9.
12. Yu X. Coal mining and environmental development in southwest China. *Environmental Development*. 2017. V. 21. P. 77–86.
13. Hota P., Behera B. Coal mining in Odisha: an analysis of impacts on agricultural production and human health. *The Extractive Industries and Society*. 2015. V. 2. № 4. P. 683–693.
14. Ghose M., Majee S. Characteristics of hazardous airborne dust around an Indian surface coal mining area. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2007. V. 130. № 1–3. P. 17–25.

15. Осипова Н.А. та ін. Вплив вугільного виробництва на забруднення снігового покриву на прилеглих міських територіях (тематичний приклад Міжреченська). *Вісник Томського політехнічного університету. Георесурсна інженерія*. 2017. Т. 328. № 12. С. 36–46.
16. Васильєва І.В. Актуальні питання моніторингу породних відвалів вугільних шахт та навколишнього середовища. *Мінеральні ресурси України*. 2015. № 3. С. 39–45.
17. Горобей М.С., Бондар О.І. Проблемні питання негативного впливу карбонівмісного пилу на атмосферне повітря та шляхи їх вирішення. *Проблеми екологічної безпеки* : збірник наукових праць XVII Міжнародної науково-технічної конференції, м. Кременчук, 02–04 жовтня 2019 року. Кременчук : Видавництво ПП Щербатих О., 2019. С. 181–186.
18. Качурин Н.М., Рибак Л.Л., Єфімов В.І., Воробйов С.А. Розподіл ресурсів на профілактику забруднення атмосфери гірничопромислового району. *Безпека праці в промисловості*. 2015. № 2. С. 24–27.

МОДЕЛЮВАННЯ СЦЕНАРІЇВ МОДЕРНІЗАЦІЇ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ ДО 2030 РОКУ З МЕТОЮ СКОРОЧЕННЯ ВИКИДІВ ДІОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ

Шатоха В.І., Матухно О.В.

Національна металургійна академія України
пр. Гагаріна, 4, 49005, м. Дніпро
shatokha@gmail.com, helen.matukhno@gmail.com

Мета роботи – опрацювання сценаріїв скорочення обсягів викидів парникових газів у металургійній галузі шляхом впровадження найкращих доступних технологій за умов реалізації різних варіантів стратегії розвитку виробництва та споживання сталі. Задача дослідження – моделювання обсягів викидів діоксиду вуглецю за різними сценаріями розвитку виробництва та споживання сталі при одночасному впровадженні найкращих доступних технологій. У роботі виконано моделювання модернізації металургійної галузі України до 2030 року з метою скорочення викидів парникових газів шляхом впровадження найкращих доступних технологій в умовах реалізації різних сценаріїв розвитку металургійної галузі. Показано, що впровадження ключових найкращих доступних технологій може забезпечити скорочення питомих викидів CO₂ на чверть від поточного рівня. Лише за умов відсутності зростання виробництва сталі впровадження найкращих доступних технологій може забезпечити скорочення середньорічного показника викидів CO₂ протягом 2021–2030 років. За умов помірного зростання виробництва сталі впровадження найкращих доступних технологій забезпечує стабілізацію сумарних викидів приблизно на сучасному рівні, а за умов пришвидшеного зростання виробництва сталі загальні викиди CO₂ збільшуються навіть у разі впровадження найкращих доступних технологій. Результати досліджень свідчать, що з урахуванням міжнародних зобов'язань України зі скорочення викидів парникових газів протягом наступного десятиріччя має розпочатися впровадження інноваційних технологій виробництва чавуну і сталі з метою забезпечення більш радикального скорочення викидів CO₂, ніж це можливе шляхом впровадження найкращих доступних технологій. Результати роботи можуть бути застосовані в процесі розробки державної стратегії розвитку металургійної галузі України з урахуванням кліматичних зобов'язань. *Ключові слова:* кліматичні зобов'язання, парникові гази, викиди, діоксид вуглецю, металургійна галузь, моделювання, найкращі доступні технології.

Modeling the scenarios of Ukrainian steel industry modernization towards 2030 aimed at carbon dioxide emissions reduction.
Shatokha V., Matukhno O.

The purpose of the work is to develop scenarios for reducing greenhouse gases emissions of the steel industry by introducing the best available technologies under conditions of various steel production and consumption strategies implementation. The objective of the study is modeling carbon dioxide emissions under various steel production and consumption scenarios while introducing the best available technologies. Modeling of Ukrainian steel industry's modernization pathways towards 2030 has been performed aimed at greenhouse gases emissions reduction via deployment of the best available technologies' in the context of various development scenarios implementation. It is shown that the deployment of key best available technologies can provide reduction in specific CO₂ emissions by a quarter from the current level. Only in the absence of growth in steel production, the introduction of the best available technologies can ensure a reduction of the average annual CO₂ emissions over the period of 2021–2030. Under conditions of moderate growth in steel production, the introduction of the best available technologies ensures the stabilization of total emissions approximately at the current level, whereas under conditions of accelerated growth in steel production the total CO₂ emissions increase even if the best available technologies are implemented. Results of research suggest that, taking into account Ukraine's international commitments to reduce the greenhouse gases emissions, over the next decade, the introduction of innovative iron and steel technologies for the production should begin to ensure a more radical reduction in CO₂ emissions than it can be achieved using the best available technologies. The results of the work can be applied in the state strategy for the development of the steel industry in Ukraine, taking into account climate commitments. *Key words:* climate commitments, greenhouse gases, emissions, carbon dioxide, steel industry, modeling, best available technologies.

Постановка проблеми. Стратегічні засади соціально-економічного розвитку України значною мірою визначаються Угодою про асоціацію Україна-ЄС (ратифікована 1 вересня 2017 року), що охоплює низку економічних та регуляторних питань, включаючи проблеми, пов'язані з запобіганням зміні клімату, які розглядаються у розділі VI та додатках XXX, XXXI до Угоди [1]. Однією з вимог, що висуваються в Угоді, є встановлення процедур моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів від енергетичних та промислових установок, а також запровадження системи торгівлі квотами на викиди парникових газів.

Актуальність дослідження. У грудні 2019 року прийнято Закон України «Про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів» [2], який почне діяти з 01.01.2021 року. Закон розроблено відповідно до зобов'язань України в рамках Угоди про асоціацію, зокрема щодо транспонування Директиви 2003/87/ЄС про створення системи торгівлі квотами на викиди парникових газів [3].

Таким чином, із 2021 року в Україні має бути запроваджена єдина для всіх підприємств система обліку викидів парникових газів, а пошук інструментів та шляхів зменшення обсягів викидів стане надзвичайно актуальним для вітчизняної промисло-

вості. Водночас нині бракує науково обґрунтованого аналізу, на підставі якого можна було б вибрати стратегію розвитку, зокрема, чорної металургії з урахуванням кліматичних зобов'язань.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями щодо запобігання зміні клімату полягає в пошуку інструментів і шляхів зменшення обсягів викидів парникових газів металургійною галуззю України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Металургійна галузь в Україні є джерелом 77% промислових викидів парникових газів. У 2018 році (останній рік, за який на час написання цієї статті є детальний кадастр викидів в Україні) безпосередньо виробництво основних продуктів та напівпродуктів – чавуну, сталевих заготовок, агломерату та окатишів спричинило викиди 39,88 млн т парникових газів. Додатково при енергетичному використанні технологічних газів (насамперед колошничкового газу доменних печей) утворилося 10,19 млн т парникових газів. Таким чином, загальні викиди парникових газів підприємствами гірничо-металургійного комплексу становили 50,07 млн т на рік [4].

Незважаючи на наявність значних надлишкових потужностей із виробництва сталі у світі, Міжнародне енергетичне агентство прогнозує зростання попиту на сталь на 51% до 2050 року від рівня 2011 року [5], отже, Україна може зберегти свою нішу у світовому експорті сталі [6]. Разом із тим потреба в заміні металоємного обладнання в промисловості і комунальному секторі становить понад 330 млн т [7], що перевищує десятирічний обсяг виробництва при повному використанні наявних потужностей. З огляду на це металургійне виробництво в Україні у видимій перспективі має усі можливості для збереження істотних обсягів. Варто зазначити, що головним імпортером української металопродукції є Європейський Союз (приблизно 32% від загального експорту), але можливість збереження цього ринку збуту залежатиме від дотримання українськими виробниками сталі вимог Угоди про асоціацію, зокрема, у сфері запобігання зміні клімату [8].

Метою цієї роботи є опрацювання сценаріїв скорочення обсягів викидів парникових газів у металургійній галузі шляхом впровадження найкращих доступних технологій (НДТ) за умов реалізації різ-

них варіантів стратегії розвитку виробництва та споживання сталі.

У процесі дослідження було сформульовано такі задачі:

- 1) моделювання сценаріїв виробництва та споживання сталі в Україні до 2030 року;
- 2) визначення динаміки впровадження НДТ;
- 3) моделювання обсягів викидів діоксиду вуглецю за умов реалізації різних сценаріїв розвитку виробництва та споживання сталі при одночасному впровадженні НДТ.

Новизна. Виконано моделювання сценаріїв скорочення викидів парникових газів шляхом впровадження найкращих доступних технологій у металургійній галузі України до 2030 року.

Методологічне або загальнонаукове значення. Результати роботи можуть бути застосовані у процесі розробки державної стратегії розвитку металургійної галузі України з урахуванням кліматичних зобов'язань.

Для вирішення поставлених задач дослідження розроблено модель оцінювання можливості скорочення витрати енергії та викидів парникових газів шляхом запровадження найкращих доступних технологій до 2030 року, що відповідає першому періоду впровадження Паризької Угоди. Викиди CO₂ обчислюються з урахуванням обсягів виробництва, технологій та ресурсів, що застосовуються. Передбачено взаємодоповнюючі сценарії модернізації із застосуванням низки ключових НДТ, які забезпечують економічно ефективне скорочення викидів CO₂. У моделі передбачено, що між 2021 та 2030 роками виробництво та споживання готової сталі змінюватимуться з різним середньорічним темпом зростання в складних відсотках (Compound Annual Growth Rate, CAGR) на рік, а саме:

$$CAGR(t_0, t_n) = \left(\frac{V(t_n)}{V(t_0)} \right)^{\frac{1}{t_n - t_0}} - 1, \quad (1)$$

де $V(t_0)$, $V(t_n)$ – початковий та кінцевий обсяги споживання відповідно, t_0 , t_n – початковий та кінцевий роки відповідно.

Показник CAGR розраховано методом послідовних ітерацій. Модель розглядає три сценарії щодо виробництва та споживання сталі, наведені в таблиці 1. Імпорт сталі в Україну прийнято рівним нулю –

Таблиця 1

Сценарії виробництва та споживання сталі

№	Назва сценарію	Показники на 2030 рік, млн т		CAGR, %		Коментарі
		Виробництво	Споживання	Виробництво	Споживання	
1	Помірне виробництво, помірне споживання	30	10	3,4	5,4	споживання сталі приблизно відповідає рівню перед фінансовою кризою 2008 року
2	Високе виробництво, високе споживання	35	15	4,8	9,0	виробництво сталі приблизно відповідає рівню перед фінансовою кризою 2008 року
3	Помірне виробництво, високе споживання	30	15	3,4	9,0	сценарій найбільше відповідає концепції сталого економічного розвитку

не лише для спрощення моделі, але й з урахуванням того, що більшість імпортованого сортаменту виробляється або могла б бути вироблена на вітчизняних підприємствах. За базовий рівень виробництва сталі прийнято показники 2019 року.

Показники скорочення викидів парникових газів внаслідок впровадження НДТ прийнято згідно з рекомендаціями УкрДНТЦ «Енергосталь» [9]. Як базові вихідні дані щодо викидів парникових газів прийнято показники 2018 року, за якими нині доступна найбільш надійна офіційна статистика. Зокрема, прийнято такі показники викидів діоксиду вуглецю:

– при виробництві чавуну у доменних печах 1,66 т CO₂/т чавуну (враховуючи виробництво коксу та агломерату);

– загалом при виробництві чорної сталі, з огляду на виробництво енергії з доменного газу та випал вапняку 2,38 т CO₂/т сталі.

Статистичні дані та прогнозовані показники технологічної структури виробництва та розливки сталі в Україні наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Технологічна структура виробництва та розливки сталі (%)

Технологія	Роки	
	2018	2030
<i>виробництво</i>		
Мартен	22,8	0
Конвертер	69,7	92,5
Електродугова піч	7,5	7,5
<i>розливка</i>		
У зливки	46,0	5,0
Безперервний	54,0	95,0

У моделі прийнято припущення щодо ринку та особливостей виробництва сталі в Україні:

– на виробництво 1 т чавуну витрачається 1 т агломерату, а решту необхідної залізорудної сировини становлять окатиші;

– на виробництво 1 т сталі витрачається 0,80 т чавуну (решта – металолом);

– вихідне виробництво сталі (2019 рік) – 20,8 млн т на рік;

– вихідне споживання сталі (2018 рік) – 5,4 млн т на рік.

Прийняті у моделі припущення щодо потенціалу зі скорочення викидів діоксиду вуглецю та особливостей впровадження найкращих доступних технологій наведено в таблиці 3. Детальний опис цих технологій виходить за рамки цієї роботи, але варто зазначити, що їх впровадження узгоджується з кращими світовими практиками та має забезпечити відповідність української металургії світовому рівню не лише за викидами парникових газів, але й за витратою енергоносіїв.

Щодо запровадження безперервної розливки, передбачено залишити 5% розливки в злитки, враховуючи можливе виробництво сталі для спеціальних потреб (наприклад, крупногабаритні злитки). Як сценарій модернізації технології виробництва сталі передбачено заміну мартенівського виробництва конвертерним при збереженні частки виробництва у електродугових печах (ЕДП) на існуючому рівні. Збільшення частки виробництва сталі в ЕДП могло б забезпечити більш суттєве скорочення викидів CO₂, але на користь застосованого підходу свідчать такі фактори:

1) в Україні існує дефіцит якісного скрапу, водночас наявні величезні ресурси якісної залізної руди. Навіть за сценаріями, передбаченими у табл. 1, потреба у скрапі для конвертерного виробництва має становити 6–7 млн т на рік, а за умов зростання частки виробництва сталі в ЕДП ця потреба суттєво збільшиться;

2) окрім того, суттєве збільшення частки ЕДП потребуватиме досить радикальної зміни інфраструктури виробництва сталі, що пов'язане з додатковими фінансовими витратами;

3) нарощування частки виплавки сталі в ЕДП не відповідає сценарію модернізації виробництва сталі Міжнародного енергетичного агентства B2DS (Beyond 2°C Scenario [10]), спрямованого на обмеження глобального потепління в межах менш ніж 2°C, де за стратегічний напрям прийнято розвиток інноваційного виробництва чавуну, яке найбільш ефек-

Таблиця 3

Скорочення викидів CO₂ та обсяги впровадження НДТ

№	Впроваджені найкращі доступні технології	Скорочення викидів CO ₂ за даними [9]	Частка виробництва, де впроваджено НДТ, %		Рік початку швидкого зростання
			2018	2030	
1	Модернізація аглофабрик	31 кг CO ₂ /т агломерату	0	100	2021
2	Впровадження газових безкомпресорних утилізаційних турбін (ГУБТ)	30,2 кг CO ₂ /т чавуну	0	100	2022
3	Модернізація повітрянагрівачів	61 кг CO ₂ /т чавуну	0	100	2023
4	Заміна розливання у зливки на безперервний спосіб	276 кг CO ₂ /т сталі	52,26	95	2022
5	Заміна мартенівського виробництва конвертерним	354,1 кг CO ₂ /т сталі	69,3	92,5	2022

тивно може бути запроваджено саме в рамках модернізації схеми «доменна піч-конвертор».

Для визначення динаміки впровадження найкращих доступних технологій застосовано моделювання шляхом побудови S-подібних кривих із використанням формули:

$$n_t = \frac{M}{1 + e^{\left[\frac{-\ln(81)}{\Delta_t} (t - t_m) \right]}}, \quad (2)$$

де M – рік остаточного насичення ринку;

Δ_t – інтервал часу в роках, протягом якого насичення ринку зростає з 10% до 90%;

t_m – середина циклу насичення – коли $n_t = M/2$.

Розраховані за даними табл. 3 та формули (2) траєкторії, що зображують динаміку впровадження НДТ, наведені на рис. 1.

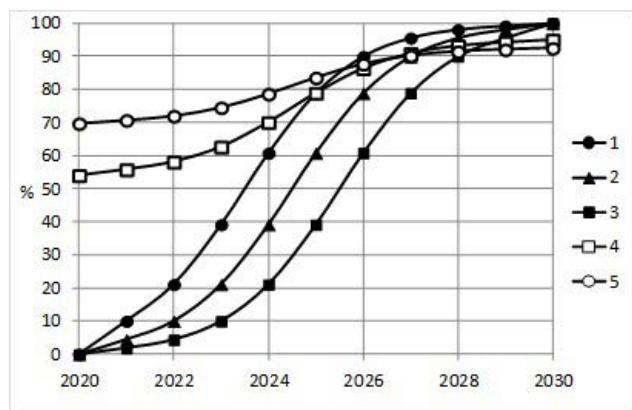


Рис. 1. Динаміка впровадження НДТ (позначення – у табл. 3)

Результати та обговорення. Статистичні дані та результати моделювання виробництва, споживання та експорту сталі за трьома сценаріями відповідно до припущень, окреслених у таблиці 1, наведено на рисунках 2–4. Очевидно, однією з передумов реалізації розроблених сценаріїв є зростання внутрішнього попиту на сталь, що відповідає стратегічним засадам соціально-економічного розвитку України. Водночас має бути збережено ринки для експорту сталі, принаймні, на сучасному рівні.



Рис. 2. Статистичні дані та результати моделювання виробництва, споживання та експорту сталі за сценарієм «помірне виробництво – помірне споживання» (млн т на рік)



Рис. 3. Статистичні дані та результати моделювання виробництва, споживання та експорту сталі за сценарієм «високе виробництво – високе споживання» (млн т на рік)



Рис. 4. Статистичні дані та результати моделювання виробництва, споживання та експорту сталі за сценарієм «помірне виробництво – високе споживання» (млн т на рік)

Розраховані згідно з розробленою моделлю питомі викиди діоксиду вуглецю на тону сталі за умови впровадження НДТ, наведених у таблиці 3, в період до 2030 року показане на рисунку 5, де також наведені статистичні дані з 1990 року для України та ЄС, а також середньосвітовий показник за період 2003–2017 років, доступний зі статистичної звітності Світової асоціації сталі [11]. Сумарне скорочення викидів становитиме 25% від поточного рівню, що відповідає показнику питомих викидів 1,77 т $\text{CO}_2/\text{т}$ сталі, тобто дещо перевищує сучасний середньосвітовий показник (1,83 т $\text{CO}_2/\text{т}$ сталі у 2017 році). Варто зазначити, що порівняно низькі показники питомих викидів в Україні у період 2000–2013 років пов'язані з екстенсивним використанням імпортованого природного газу в доменному та мартенівському виробництві та не можуть слугувати орієнтиром для модернізації. Окрім того, набагато нижчі показники питомих викидів в ЄС не завжди є ознакою екологічної досконалості, але зумовлені суттєво різною структурою виробництва сталі, чавуну та залізородних матеріалів щодо України (детальний аналіз відмінностей наведено в роботі [8]).

Результати моделювання викидів діоксиду вуглецю на металургійних підприємствах України на основі різних сценаріїв зростання виробництва (помірне та високе), розроблених у попередньому етапі, а також без зростання наведено на рисунку 6, де також наведено дані статистичної звітності про викиди CO_2 у період 1990–2018 років.

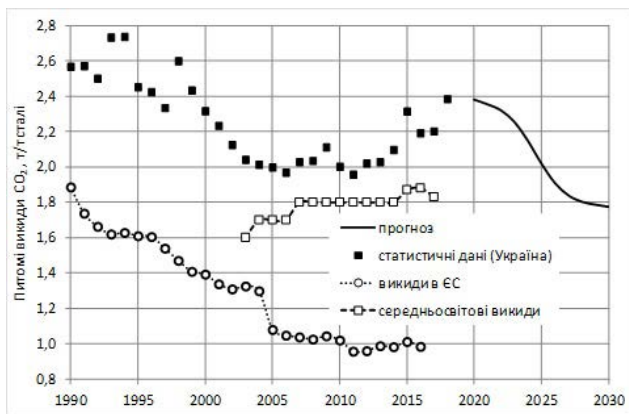


Рис. 5. Скорочення питомих викидів CO_2 в результаті впровадження НДТ

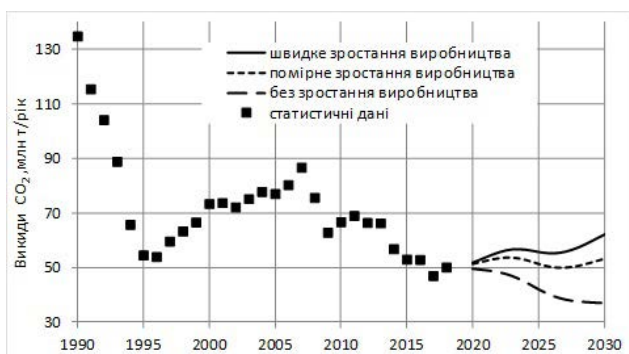


Рис. 6. Статистичні дані та прогнозовані викиди CO_2 на металургійних підприємствах України при впровадженні НДТ за умов реалізації різних сценаріїв розвитку виробництва сталі

Як видно з отриманих за результатами моделювання даних (рисунок 6), за умови реалізації сценаріїв, які передбачають зростання виробництва сталі, після 2022 року, коли максимального темпу набирає поширення найкращих доступних технологій (що видно з рисунку 1), спостерігається скорочення валових викидів діоксиду вуглецю, незважаючи на те, що відбувається пропорційне щорічне зростання виробництва (рисунок 2–4), тобто забезпечується відокремлення кількості викидів від зростання виробництва, що є одним з головних завдань Паризької угоди з запобігання зміни клімату. Причому в разі помірному зростання виробництва сталі викиди CO_2 у 2027 році навіть дорівнюватимуть рівню, що спостерігався у 2018 році. Втім, після 2027 року потенціал скорочення викидів шляхом впровадження НДТ поступово вичерпується, внаслідок чого спостерігається суттєве зростання викидів CO_2 : для сценарію з помірним зростанням викиди у 2030 році перевищуватимуть показник 2018 року на 5,7%, а для сценарію зі швидким зростанням викиди 2030 року перевищують показник 2018 року на 23,4%.

Лише для сценарію без зростання виробництва сталі спостерігається постійне скорочення викидів CO_2 , з досягненням у 2030 році показника, що становить 72,2% від рівня 2018 року. Втім, такий варіант не відповідає стратегії індустріалізованого соціально-економічного розвитку України.

Моделювання свідчить, що валові викиди CO_2 за період 2021–2031 років становитимуть 0,42, 0,52 та 0,57 млрд $\text{m}^3 \text{CO}_2$ для сценаріїв без зростання, з помірним та швидким зростанням відповідно. Варто зазначити, що за відсутності впровадження НДТ викиди становили б за зазначеними сценаріями 0,49, 0,62 та 0,68 млрд $\text{m}^3 \text{CO}_2$ відповідно.

Таким чином, у рамках соціально-економічних сценаріїв, що передбачають зростання виробництва сталі, для забезпечення галузевих завдань та зобов'язань України за Паризькою кліматичною угодою, після 2027 року має розпочатися впровадження інноваційних технологій виробництва чавуну та сталі, що мають значно більший потенціал скорочення викидів порівняно з найкращими доступними технологіями. Аналіз таких технологій та перспективи їх впровадження у світі раніше було розглянуто в роботі [12]. Аналіз можливостей та очікуваних результатів застосування таких технологій в Україні буде досліджено в нашій наступній роботі.

Головні висновки. З урахуванням потреби у науково обґрунтованих даних для прийняття рішень із модернізації чорної металургії України відповідно до міжнародних зобов'язань у сфері клімату, виконано моделювання сценаріїв виробництва і споживання сталі та перспектив скорочення викидів парникових газів шляхом впровадження найкращих доступних технологій (НДТ) у металургійній галузі України до 2030 року. Модернізація агломераційних фабрик, модернізація повітрянагрівачів доменних печей, впровадження газових утилізаційних безкомпресорних турбін для використання енергії стиску доменного газу, зміна мартенівського виробництва конвертерним та впровадження безперервної розливки сталі може забезпечити сукупне скорочення питомих викидів CO_2 на тону сталі до 25%. Результати моделювання свідчать, що скорочення середньорічного показника викидів CO_2 шляхом впровадження НДТ забезпечується лише за умов відсутності зростання виробництва сталі. За умов помірному зростання виробництва сталі впровадження НДТ забезпечує стабілізацію сумарних викидів приблизно на сучасному рівні, а за умов пришвидшеного зростання виробництва сталі загальні викиди CO_2 збільшуються навіть при впровадженні НДТ. З урахуванням міжнародних зобов'язань України зі скорочення викидів парникових газів, протягом наступних 5–7 років має розпочатися впровадження інноваційних технологій виробництва чавуну і сталі з метою забезпечення більш радикального скорочення викидів CO_2 , ніж це можливе за рахунок впровадження НДТ.

Література

1. Угода про асоціацію Україна-ЄС. URL: <https://www.kmu.gov.ua/diyalnist/yeuropejska-integraciya/ugoda-pro-asociaciyu> (дата звернення 14.05.20)
2. Про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів: Закон України від 12.12.2019 № 377-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/377-20> (дата звернення 14.05.20)
3. Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 2003. URL: https://web.archive.org/web/20070412154746/http://europa.eu/eur-lex/pri/en/oj/dat/2003/l_275/l_27520031025en00320046.pdf (дата звернення 14.05.20)
4. Проект Національного кадастру антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів в Україні за 1990-2018 роки. URL: <https://menr.gov.ua/news/34928.html> (дата звернення 14.05.20)
5. Energy Technology Perspectives 2012: Pathways to a Clean Energy System / IEA. URL: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/ETP2012_free.pdf (дата звернення: 14.05.20)
6. Steel statistical yearbook 2018. URL: <https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:37ad1117-fefc-4df3-b84f-6295478ae460/Steel+Statistical+Yearbook+2016.pdf> (дата звернення: 14.05.20)
7. Амоша А.И., Большаков В.И., Минаев А.А., Залознова Ю.С., Збаразская Л.А., Макогон Ю.В. и др. Украинская металлургия: современные вызовы и перспективы развития : монография. Донецк : НАН Украины, Ин-т экономики пром-сти. 2013. 114 с.
8. Shatokha V. Ukraine's commitments under Association Agreement: Challenges and opportunities for the steel industry. *Materiaux et Techniques*. 2019. Volume 107. Issue 1. Article number 2018044; DOI: 10.1051/mattech/2018044. URL: https://www.researchgate.net/publication/331933686_Ukraine%27s_commitments_under_Association_Agreement_challenges_and_opportunities_for_the_steel_industry (дата звернення: 14.05.2020)
9. Shatokha V., Stalinskiy D., Coole T., De Lepeleer G., Karpash M., Kruhlenko L., Petrenko A., Saey P., Shvets I Environmentally sustainable industrial development. URL: <http://euclim.com/wp-content/uploads/2016/02/Environmentally-sustainable-industrial-development.pdf> (дата звернення: 14.05.2020)
10. International Energy Agency, 2017. Energy Technology Perspectives: Catalysing energy technology transformations, OECD/IEA, Paris. URL: https://www.oecd.org/about/publishing/Corrigendum_EnergyTechnologyPerspectives2017.pdf (дата звернення: 14.05.2020)
11. Worldsteel Association, 2018. Sustainability indicators 2003 - 2017. URL: <https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:6315d64c-c3a9-460b-8f80-dcbeaeaac5c4/Indicator%2520data%25202003%2520to%25202017%2520and%2520relevance.pdf> (дата звернення: 14.05.2020)
12. Shatokha V. Chasing shadows: Technology and socioeconomic barriers versus climate targets for iron and steel industry. *Archives of Materials Science and Engineering*. 2018. Volume 92. Issue 1. Pages 33–40. DOI: 10.5604/01.3001.0012.5510.

IMPROVING THE ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF VEHICLES UPGRADING THE COOLING SYSTEM OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Zaichenko S.V.¹, Shalenko V.O.², Zaichenko L.I.¹, Krupa K.V.¹

¹National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
37, Peremohy av., 03056, Kyiv

²Kyiv National University of Construction and Architecture
31, Povitroflotskyi Av., 03037, Kyiv

zstefv@gmail.com, vadshal@i.ua, juk.luda@gmail.com, krupa@gmail.com

The article discusses the work of a fundamentally new cooling system for a cylinder-piston group of an internal combustion engine of a vehicle. Ensuring environmental and economic requirements is possible only with the use of powerful engines characterized by elevated temperatures of fuel combustion processes. It is the most thermally loaded part of the internal combustion engine of the cylinder-piston group that is – the piston. High engine piston temperatures cause a number of negative operational and environmental negative effects. Among the existing cooling schemes, a combined system is common. This system requires the installation of a special pump and complex system of channels of the crankshaft. The developed cylinder piston cooling system allows to reduce and stabilize the temperature, which in turn will improve the environmental friendliness, reliability and energy efficiency of using this type of energy source in transport systems. The basis of the operation of the temperature stabilization system of the piston of a vehicle engine is the principle of a vibration pump. The principle of robots consists in acting on a liquid column with a working body and creating a short-term pressure pulse. Stabilization of the piston temperature is achieved by constant washing with a stream of oil, moving along a specially formed channel of the piston walls. To determine the parameters of the system of forced oil cooling of the piston of the engine of an autonomous power source, the acceleration of the connecting rod is determined. Determination of the tangent component of the connecting rod acceleration and the equation of the liquid column under the action of the plunger allows you to set the pressure developing vibration pump and with the known design of the piston channels. The parameters of the flow of the working fluid allow us to determine the amount of thermal energy that is removed by the developed cooling system. *Key words*: reliability, temperature, vehicle, piston, internal combustion engine, pressure, flow rate.

Підвищення екологічних показників транспорту шляхом модернізації системи охолодження двигуна внутрішнього згорання. Зайченко С.В., Шаленко В.О., Зайченко Л.І., Крупа К.В.

У статті розглянуто роботу принципово нової системи охолодження циліндропоршневої групи двигуна внутрішнього згорання транспортного засобу. Забезпечення сучасних екологічних та економічних вимог можливе лише за умови використання потужних двигунів, що характеризуються підвищеною температурою процесів згорання палива. Саме найбільш термічно навантаженою деталлю двигуна внутрішнього згорання циліндропоршневої групи є поршень. Висока температура поршня двигуна є причиною низки негативних експлуатаційних та екологічних негативних наслідків. Серед схем охолодження поширеною є комбінована система. Ця система потребує встановлення спеціального насоса і складної системи каналів колінчастого валу. Розроблена система охолодження поршня циліндра дає змогу знизити і стабілізувати температуру, що своєю чергою дасть змогу підвищити екологічність, надійність і енергоефективність використання цього типу джерела енергії в транспортних системах. В основу роботи системи стабілізації температури поршня двигуна транспортного засобу покладено принцип вібраційного насоса, що полягає в наданні стовпу рідини робочим органом короткочасного імпульсу тиску. Стабілізація температури поршня досягається постійним омиванням потоком масла, що рухається по спеціально утвореному каналу стінок поршня. Для визначення параметрів системи примусового масляного охолодження поршня двигуна автономного джерела живлення визначено прискорення шатуна. Встановлення дотичної складової частини прискорення шатуна і рівняння стовпа рідини під дією плунжера дає змогу визначити тиск, який розвиває вібраційний насос і при відомій конструкції каналів поршня. Відомі параметри потоку робочої рідини дають змогу визначити кількість теплової енергії, яка відводиться розробленою системою охолодження. *Ключові слова*: надійність, температура, транспортний засіб, поршень, двигун внутрішнього згорання, тиск, витрати.

Statement of a problem. Reliable use of vehicles based on internal combustion engines is possible only if the working condition of the source of mechanical energy [1–3]. Among the main internal combustion engines that significantly affect the reliable and energy-efficient operation of the engine should be distinguished cylinder-piston group with the most heat-loaded part among the parts.

The high temperature of the engine piston is the cause of a number of negative operational and environmental negative consequences. The first group includes the effect of high piston temperature on the rate of oil deposits in the groove, coking and as a consequence of occurrence. Improper load distribution between the rings, which leads to loss of tightness of the combustion chamber.

The breakthrough of the exhaust gases leads to a violation of the lubrication of the piston, which in turn leads to an increase in friction and an even greater increase in piston temperature. These phenomena can lead to the formation of burrs and jamming of the piston with the stop of the generating unit.

Ensuring modern environmental and economic requirements is possible only with the use of high-power engines, characterized by elevated temperatures of fuel combustion processes. Based on the above, it is possible to conclude that the creation of a system that has stabilized the required piston temperature in order to ensure high environmental performance is an important scientific task.

The solution to this problem is possible by intensifying heat transfer to the environment through the use of forced oil cooling of the piston.

The purpose of modeling. The purpose of this study is to develop a system of forced oil cooling of the engine piston of vehicles.

Statement of the basic to materials. To solve this problem, a system of stabilization of the temperature of forced oil cooling of the engine piston by installing a vibrating pump (Fig. 1). The main elements of the system of forced oil cooling of the engine piston are a piston with a system of cooling channels 1, a piston finger 2 with a groove for oil supply, a connecting rod 3 with a vibrating pump 4, a tube 5, a crankshaft 6. The vibrating pump housing can be made in two continuous with connecting rod and separately by mechanical connection. Given the high dynamic loads, the receiving rod is the preferred option. The cooling system begins to work when alternating accelerations greater than 3g [3]. The source of alternating accelerations is the crank shaft which moves the rod when rotating, performing plane-parallel motion. As a result of this motion, the fluid and the piston receive significant accelerations, forcing

the fluid to move under the action of inertial forces in the opposite direction of the acceleration vector.

To set the parameters of the system of forced oil cooling of the engine piston, determine the acceleration of the connecting rod. The acceleration of the points of the connecting rod along its length have different directions and meanings. The acceleration points of the connecting rod which are located closer to the piston in the direction coaxial with the cylinder and take values equal to the acceleration of the piston [4, 5]:

$$j_p = r\omega^2(\cos(\varphi) + \lambda \cos(2\varphi)), \quad (1)$$

- where r – radius of the crank shaft;
- ω – angular speed of rotation of the crankshaft;
- $\lambda = r/L$ – dimensionless coefficient;
- L – length of the connecting rod;
- φ – the angle of rotation of the crank at a given time, counted from the axis of the cylinder in the direction of rotation of the crankshaft.

The acceleration points of the connecting rod close to the crankshaft have a direction tangent to the trajectory of rotation of the shaft and the value:

$$j_k = r\omega^2, \quad (2)$$

The value of the acceleration of the middle point of the connecting rod, provided that the pole is a point K , it is possible to represent dependence (fig. 2):

$$\vec{j}_s = \vec{j}_k + \vec{j}_{k/s}^n + \vec{j}_{k/s}^\tau, \quad (3)$$

where $\vec{j}_{k/s}^n$ and $\vec{j}_{k/s}^\tau$ – normal and tangential acceleration of the midpoint relative to the pole.

Since only the components that are directed along the axis of the connecting rod are important for the operation of the vibrating pump, the tangential component

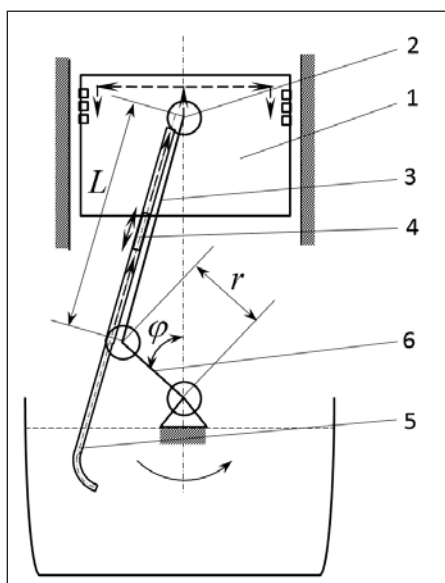


Fig. 1. Functional diagram of forced oil cooling of the engine piston

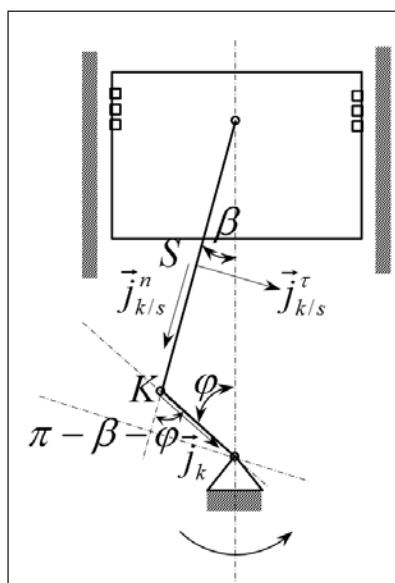


Fig. 2. Kinematic scheme of forced oil cooling of the engine piston

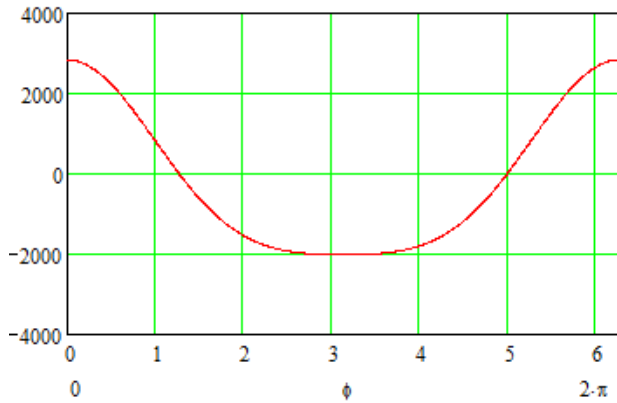


Fig. 3. Graph of change of acceleration of the average point of a rod

of acceleration $\vec{j}_{k/s}^{\tau}$ can be neglected. Normal acceleration relative to the pole K is equal to:

$$\vec{j}_{k/s}^n = \omega_{kr}^2 \cdot KS, \tag{4}$$

where ω_{kr} – angular acceleration of the connecting rod:

$$\omega_{kr} = \frac{\omega \lambda \cos \varphi}{\sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \varphi}}, \tag{5}$$

Projection of acceleration of the middle point of the connecting rod on the axis of the connecting rod:

$$\begin{aligned} \vec{j}_S^r &= \omega_{kr}^2 \cdot KS - r\omega^2 \cos(\pi - \varphi - \beta) = \\ &= (\omega \lambda \cos \varphi)^2 KS - r\omega^2 \cos(\pi - \varphi - \beta). \end{aligned} \tag{6}$$

where $\beta = \arcsin(r/L \sin \varphi)$ – the angle between the connecting rod and the axis of the cylinder.

Determine the acceleration acting on the oil and the piston in one revolution shaft (Fig. 3) for a specific engine with the parameters:

$$L = 0,084\text{ м}, \quad r = 0,027\text{ м}, \quad \omega = 300\text{ с}^{-1}.$$

The analysis of the graph shows the significant ($\gg 3g$) accelerations that occur in the system allow you to use the complex movement of the connecting rod to drive the vibrating pump. The basis for determining the parameters of the system is the equation of the column and the plunger [4]:

$$m\ddot{x} + (p_0 + \rho gH)S - (p_2 - p_1)S = 0, \tag{7}$$

where ρ – density of liquid;

p_2 and p_1 – pressure above and below the liquid column;

p_0 – atmospheric pressure;

S – area of the plunger;

m – mass of liquid and plunger.

The solution of equation (7) with respect to the pressure difference allows to determine the pressure that develops the vibrating pump and with the known design of the channels of the flow piston.

Conclusions. The developed system of forced oil cooling of the engine piston allows to stabilize parameters of thermally loaded details that allows to provide modern ecological, operational and economic requirements by use of forcing of the engine of a source of autonomous power supply.

References

1. Зайченко С., Шевчук С. Заходи підвищення надійності джерел безперебійного живлення особливої групи електричних приймачів. *Проблеми охорони праці, промислової та цивільної безпеки*. 2019. С. 112–119.
2. Shevchuk S. et al. Determination of the Diagnostic System Inertial Parameters for Power Generating Station Combustion Engine. 2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS). IEEE, 2019. P. 88–91.
3. Zaichenko S. et al. Autonomous electric power source energy efficiency improvement by internal combustion engine gases distribution control. 2020 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS). IEEE, 2020. P. 21-25.
4. Вибрации в технике: Справочник. В 6 т. / Ред. совет: В.Н. Челомей (пред.). Москва : Машиностроение, 1981. Т. 4. Вибрационные процессы и машины / Под ред. Э.Э. Лавендела. 1981. 509 с.
5. Гоц А.Н. Кинематика и динамика кривошипно-шатунного механизма поршневых двигателей. Владимир : Редакционно-издательский комплекс ВлГУ, 2005. 124 с.
6. Halem A. Improving the energy efficiency of an autonomous source of electric energy by regulating the gas distribution of an internal combustion engine. *Проблеми вдосконалення машин та обладнання електромеханічних та мехатронних систем* : збірник матеріалів Першої міжнародної науково-методичної конференції. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. С. 24–25.

СУЧАСНІ ШЛЯХИ ЗНИЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ: ПРОБЛЕМА ОЧИЩЕННЯ ҐРУНТУ ВІД НАФТОПРОДУКТІВ

Пилипчук О.Я., Висоцька Т.І., Пічкур Т.В.

Державний університет інфраструктури та технологій

вул. Кирилівська, 9, 04071, м. Київ

olegpilipchuk47@gmail.com, t_pichkur@bigmir.net

У статті викладається процес зниження забруднення навколишнього середовища нафтою та нафтопродуктами, які використовують залізничний транспорт. Актуальність роботи визначається зростанням техногенного навантаження на навколишнє середовище з боку залізничного транспорту. Проаналізовано хімічні й фізико-хімічні процеси, що відбуваються за участю шкідливих речовин у довкіллі (грунтах, ґрунтових розчинах, поверхневих водах) і в місцях дислокації рухомого складу залізниць (вагонні депо). Встановлено, що забруднення ґрунту нафтопродуктами зумовлюється такими факторами:

а) широким спектром нафто забруднювальних речовин;

б) трансформацією нафти й нафтопродуктів у навколишньому середовищі внаслідок просторового й часового перерозподілу органічних сполук у ґрунтах шляхом більшого діапазону розчинності, летучості органічних сполук, адсорбційних властивостей середовища. А це призводить до двох основних типів нафто забруднення: «застаріле», з різними строками надходження до ґрунту (це характеризується глибокими структурними змінами) й «свіже», яке ще не встигло зазнати глибоких структурних змін.

Одним з основних заходів із ліквідації нафто забруднювальних ґрунтів на об'єктах залізничного транспорту є механічний метод очищення з видаленням нафто забруднювального ґрунту й засипанням на його місце чистого піску. У зв'язку із цим ми можемо вважати, що в більшості випадків, особливо в умовах локомотивних і вагонних депо, доводиться розв'язувати проблему очищення піщаних нафто забруднюючих ґрунтів. Водночас свіже забруднення ґрунту ми моделювали в лабораторних умовах, а як застарілі зразки нафто забруднювального ґрунту досліджували природні ґрунти, відібрані на підприємствах залізничного транспорту.

Результати експериментальних досліджень також показали, що використання ефективних миючих засобів виявилися досить ефективними відносно до свіж забрудненого ґрунту (лабораторного чи природного). Відмивання застарілих нафто забруднень виявилися не досить ефективними навіть під час застосування засобів із високою миючою здатністю. Використання пероксикарбонату натрію як ефективного миючого засобу для очищення ґрунту від нафтопродуктів знаходить своє пояснення в особливому механізмі очищення, а саме в сумісному кавітаційно-флотаційному ефекті. На основі нового підходу в поясненні механізму миючої дії слід пропонувати екологічно безпечний миючий засіб (кавітаційно-флотаційний відмивач нафтопродуктів). У результаті експериментальних досліджень показана висока ефективність (99 %) застосування цієї речовини для очищення, в тому числі важких і дуже перетворених нафто забруднених ґрунтів до гранично допустимих нормативів і забезпечення ефективного розподілу фаз. Це дозволило дійти висновку, що використання кавітаційно-флотаційного ефекту значно знизить екологічну небезпеку відпрацьованих миючих розчинів (шляхом зниження вмісту нафтопродуктів і важких металів у порівнянні з іншими миючими засобами в 10–30 разів). *Ключові слова:* шкідливі речовини, забруднення ґрунту, залізничний транспорт, миючі засоби, екологія.

Modern ways to reduce the impact of railway transport on the environment: the problem of soil cleaning from petroleum products. Pylypchuk O., Vysotska T., Pichkur T.

The article highlights the process of reducing environmental pollution by railway transport oil and petroleum products. The urgency of the work is determined by the growth railway transport effect on the environment. Chemical and physicochemical processes occurring with the participation of harmful substances in the environment (soils, soil solutions, surface waters) and in the locations of railway rolling stock (car depots) are analyzed. It is established that soil pollution by oil products is caused by the following factors:

a) a wide range of oil pollutants;

b) transformation of oil and its products in the environment due to the spatial and temporal redistribution of organic compounds in soils due to the greater range of solubility, volatility of organic compounds, adsorption properties of the environment. And this leads to two main types of oil pollution: "obsolete", with different terms of penetration into the soil (this is characterized by profound structural changes) and "fresh", which has not yet experienced structural changes.

One of the main measures to eliminate oil-contaminating soils at railway transport facilities is a mechanical method of cleaning with removal of oil-contaminating soil and backfilling with clean sand. In this regard, we can assume that in most cases, especially in the conditions of locomotive and car depots, it is necessary to solve the problem of cleaning sandy oil soils. At the same time, we modeled fresh soil contamination in the laboratory, and as obsolete samples of oil-contaminating soil, we studied natural soils selected at railway transport enterprises.

The results of experimental studies have also shown that the use of effective detergents have been quite effective against freshly contaminated soil (laboratory or natural). Laundering of obsolete oil pollution has proved to be ineffective, even with the use of high detergents. The use of sodium peroxycarbonate as an effective detergent for cleaning the soil from petroleum products is explained in a special cleaning mechanism, namely in the combined cavitation-flotation effect. On the basis of a new approach in the explanation

of the mechanism of detergent action it is necessary to offer ecologically safe detergent (cavitation-flotation washer of oil products). Experimental studies have shown the high efficiency (99%) of the use of this substance for cleaning, including heavy and highly converted oil-contaminated soils to the maximum allowable standards and ensure efficient phase distribution. This led to the result that the use of cavitation-flotation effect will significantly reduce the environmental hazard of waste detergents (by reducing the content of petroleum products and heavy metals compared to other detergents by 10–30 times). *Key words:* harmful substances, soil pollution, railway transport, detergents, ecology.

Постановка проблеми. Питання мінімізації антропогенного впливу на екосистеми пов'язане з комфортністю співіснування живої природи і людини. Сучасний масштаб техногенного впливу людини на навколишнє середовище набув катастрофічних розмірів. Ось чому науково обґрунтовані пропозиції щодо зниження такого впливу є однією з найактуальніших завдань сучасності. Велике значення має реалізація основних принципів сталого розвитку, що задекларовані міжнародним співтовариством на Конференції ООН з питань навколишнього середовища і розвитку. Вони створюють передумови для збалансування потреб суспільства й можливостей природи, узгодженого розгляду проблем стану середовища існування й соціально-економічного розвитку. Ці питання є особливо важливими для України, яка сьогодні перебуває на стадії перехідного суспільства та переживає глибоку еколого-економічну кризу.

Актуальність дослідження. Залізничний транспорт відноситься до тієї галузі народного господарства, яка є активним і постійним джерелом комплексного впливу шкідливих речовин на навколишнє середовище. Із усього розмаїття забруднюючих речовин, що впливають на природне середовище під час експлуатації залізничного транспорту слід виділити, як найбільш масштабні, що систематично надходять в навколишнє середовище: нафта і нафтопродукти, іони важких металів, а також оксиди азоту, сірки, вуглецю і газоподібних вуглеводнів.

Дійсно, постачання споживачам рідких вуглеводнів лягає на залізничний транспорт (біля 76% від загальних перевезень нафтопродуктів і вуглеводневих газів). Під час транспортування нафти і нафтопродуктів відбувається забруднення навколишнього середовища як власне транспортними засобами, так і продуктами, втраченими при транспортуванні. При цьому виробничі площі залізничного транспорту характеризуються «кумулятивним» характером забруднення нафтою і нафтопродуктами. Негативне навантаження на навколишнє середовище починається з моменту функціонування підприємства залізничного транспорту і продовжується постійно протягом певного часу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У Петербурзькому державному університеті шляхів сполучення з 2000 року при кафедрі «Інженерна хімія і захист навколишнього середовища» функціонує «Центр екологічних досліджень на залізничному транспорті». Керівник і кафедри, і Центру – доктор технічних наук, професор Лариса Борисівна

Сватовська. Кафедра займається вивченням закономірностей міграції хімічних речовин в довкілля. Серед основних завдань Центру – дослідження негативного впливу залізничного транспорту на навколишнє середовище. І важливе місце в цих дослідженнях займає проблема забруднення ґрунтів нафтою і нафтопродуктами.

Проведені дослідження щодо оцінки забрудненості території залізничних підприємств показали, що переважно 10–30% території, а на окремих підприємствах цей відсоток значно вищий, забруднені нафтопродуктами. Забрудненість ґрунтів коливається в широких межах, залежить від виду рухомого складу, гранулометричного складу ґрунтів, забруднюючих речовин, тривалості роботи підприємств, глибини залягання підземних вод і сягає 16 метрів. Вміст нафтопродуктів на перегонах складає 2 г/кг (ґрунту), на станціях від 50 до 100 г/кг, важких металів до 600 мкг/кг. Дослідження ситуації показало, що після глибокого очищення щєбня із земляного полотна, достаточний вміст важких металів у ґрунті залишається дуже високим і перевищує граничну концентрацію у 8 разів.

Метою нашого дослідження є аналіз сучасних шляхів зниження впливу залізничного транспорту через вирішення проблеми очищення ґрунту від нафтопродуктів.

Результати дослідження. Наші дослідження засвідчили, що метод, який застосовується для очищення ґрунту на промислових ділянках залізничного транспорту – захоронення забрудненого і підсипання свіжого ґрунту – є не тільки неекономічним процесом, а й неекологічним і, врешті-решт, виявляється малоефективним.

Забруднення води нафтопродуктами є однією з найважливіших проблем.

Залізничний транспорт є активним споживачем води. Щорічно на потреби залізничного транспорту потрібно біля 0,5 млрд. куб метрів, з яких біля 500 млн. куб м води перетікає у стічні води. Стоки від залізничного транспорту утворюються під час різноманітних технологічних процесів (пов'язаних з роботою промивально-пропарювальних станцій, ремонтних заводів і депо, шпалопросувальних заводів, пунктів підготовки вантажних вагонів, гальванічних ділянок та ін.). Стоки після очисних споруд із застосуванням різних нафтовловлювачів, флотаторів, аеротенків, озонаторів все одно містять нафтопродукти до 1–5 мг/л.

Окрім забруднень від *стічних вод* підприємств залізничного транспорту, великий вплив на екологічний стан навколишнього середовища мають *зливні*

стоки. Об'єм зливних стоків промислових площадок дистанцій колії складає 5,6 тис. м³/рік. Вони містять вже до 4 мг/л нафтопродуктів. Об'єм зливних стоків із залізничного полотна сягає 110 тис. м³/рік. Ці стоки містять до 20 мг/л нафтопродуктів.

Аналіз основних видів забруднень на залізничному транспорті, які відводяться разом зі стоками і поверхневими водами вказує переважно на такі основні забруднювачі як нафтопродукти, завислі речовини, а також іони важких металів. Навіть після очищення на локальних очисних спорудах концентрація нафтопродуктів у воді коливається від 1 до 20 мг/л, а іонів важких металів до 10 мг/л. Загальний об'єм стічних вод, що потрапляють у басейни річок, мають концентрацію біля 160 мг/л, в тому числі понад 120 млн.м³ – забруднення з перевищенням гранично-допустимих концентрацій (далі – ГДК).

Для очищення стоків залізничного транспорту (згідно з ГДК) потрібне залучення великих обсягів адсорбентів – десятки і сотні тисяч кубічних метрів. В цьому випадку слід акцентувати увагу на забрудненнях, типових для залізничного транспорту – важкі метали і розчинні нафтопродукти, а також повинна враховуватися ефективність та екологічність адсорбента.

Головною особливістю залізниць є цілодобова робота рухомого складу. При цьому сумарні викиди від дизельного рухомого складу, який експлуатується на усій залізничній мережі України, складає біля 2 млн т на рік, що у 6 разів перевищує викиди від стаціонарних джерел залізничного транспорту таких шкідливих речовин як оксиди азоту, вуглецю, сірки, газоподібних вуглеводнів.

Існуючі методики розсіювання шкідливих домішок в атмосферному повітрі, в тому числі, для автомобільного транспорту не можуть бути використані в залізничному транспорті через специфіку розподілу і характер руху рухомих об'єктів залізничного транспорту на відміну від автомобільних транспортних потоків. Тому характер впливу викидів від тепловозів в атмосферне повітря не піддається сьогодні обліку і досі не можуть бути розроблені заходи, які призведуть до зниження такого впливу.

Серед наших досліджень важливим є визначення принципів відбору засобів глибокого очищення нафтозабруднених ґрунтів підприємствами залізничного транспорту, а також з'ясування можливості прогнозування сорбуючої здатності твердих тіл до нафти і нафтопродуктів і обрання адсорбентів з природної і техногенної сировини для очищення виробничих і зливних стоків підприємств залізничного транспорту.

Оскільки залізничний транспорт бере участь у масштабних перевезеннях нафти і нафтопродуктів, а також використовує у своїх цілях такі нафтопродукти, як масла, дизельне паливо, то найбільшими забруднювачами землі і води промислових і зливних стоків безперечно є *нафтопродукти*.

Другим забруднювачем за поширенням і масштабістю, згідно з літературними даними, слід вважати *іони важких металів*.

Стосовно забруднення атмосферного повітря, то найбільші забруднення йдуть від тепловозів, залишаючи осторонь викиди залізничних виробництв (локомотивні і вагонні депо, пропарювальні станції, щебеневі, перероблювальні виробництва тощо). Це мотивується тим, що викиди цих виробництв у своїй основі доволі відомі, і способи очищення від таких викидів стандартизовані. В кінцевому результаті це визначає стратегію і технічну політику у сфері природоохоронних заходів для таких виробництв. Разом з тим, хоча викиди від тепловозів дещо відомі, але, по-перше, вони перевищують приблизно у 7 разів викиди виробництв (за такими типовими забруднювачами атмосферного повітря, як оксиди вуглецю, сірки, азоту і вуглеводні), а по-друге вплив цих викидів на атмосферне повітря залишається досі проблематичним, через неможливість отримати розрахункову оцінку про величини розсіяних концентрацій цих речовин у місцях інтенсивної експлуатації (зокрема, пасажирських станцій), рухомого складу на тепловозній тязі, тому що відсутні методики розрахунку речовин для пересувних джерел.

Дані літератури дозволяють нам зробити висновок, що для знищення комплексного впливу залізничного транспорту на навколишнє середовище необхідно здійснювати заходи, з одного боку, для очищення компонентів природного середовища від нафтопродуктів та іонів важких металів доступними та економічними засобами, а, з іншого боку, розробити методику для оцінки впливу викидів тепловозів в атмосферне повітря. На вирішенні цих завдань і працює наша кафедра.

Серед різних підходів зниження забруднення залізничним транспортом слід вважати важливу *проблему очищення ґрунту від нафтопродуктів*. Ми в своїх дослідженнях попередньо розглядаємо питання про ступінь і характер забруднення та про можливу трансформацію цього забруднення. Ми також детально розглядаємо вже існуючі методи і робимо вибір на користь найбільш раціональних способів очищення. В результаті ми зробили висновок, що забруднення ґрунту нафтопродуктами зумовлюється такими факторами: а) широким спектром нафтозабруднюючих речовин; б) трансформацією нафти і нафтопродуктів в навколишньому середовищі внаслідок просторового і часового перерозподілу органічних сполук в ґрунтах за рахунок більшого діапазону розчинності, летучості органічних сполук, адсорбційних властивостей середовища. А це призводить до двох основних типів нафтозабруднення: «застаріле», з різними строками надходження до ґрунту (це характеризується глибокими структурними змінами) та «свіже», яке ще не встигло зазнати глибоких структурних змін.

Одним з основних заходів з ліквідації нафтозабруднюючих ґрунтів на об'єктах залізничного транспорту є механічний метод очищення з видаленням нафтозабруднюючого ґрунту і засипанням на його місце чистого піску. У зв'язку з цим ми можемо вважати, що у більшості випадків, особливо в умовах локомотивних і вагонних депо, доводиться вирішувати проблему очищення піщаних нафтозабруднюючих ґрунтів. При цьому свіже забруднення ґрунту ми моделювали в лабораторних умовах, а в якості застарілих зразків нафтозабруднюючого ґрунту досліджували природні ґрунти, відібрані на підприємствах залізничного транспорту.

Вибір нафтопродуктів в експериментах визначався такими причинами. Залізничний транспорт і в наш час є провідним в Україні щодо перевезення нафти і нафтопродуктів до споживачів. Відповідно, можливість витікання з цистерн, аварійних розливів достатньо висока. Мазут пічний було обрано як найбільш важку фракцію переробки нафти. Крім цього, більшість котельних на підприємствах залізничного транспорту використовують мазут в якості палива. Відпрацьоване моторне масло було використане як забруднююча речовина, оскільки воно є одним з основних забруднювачів на територіях депо у зв'язку з витіканням, зумовленим нещільностями у вузлах і деталях локомотивів.

Експеримент із забрудненням піщаного ґрунту проводився за такою схемою: Однакові порції ґрунту вагою по 1 кг насипалися в пластикові пляшки і заливалися нафтою, відпрацьованим моторним маслом і мазутом. На підставі літературних даних були обрані три вихідні концентрації кожної забруднюючої речовини для отримання слабкозабрудненого ґрунту – концентрація нафтопродуктів не більше 15 г/кг, середньозабрудненого – 20-30 г/кг; сильнозабрудненого – понад 40 г/кг.

Ми усвідомлюємо, що у порівнянні зі свіжим забрудненням, де відомий тип розлитих нафтопродуктів, нафтозабруднення, яке вже є в наявності на підприємствах залізничного транспорту, являє собою надзвичайно складний об'єкт для дослідження. Бо практично неможливо ідентифікувати тип нафтопродуктів, які першими були розлиті на ділянці. І неможливо точно визначити строк цього розливу. Складність розв'язання такого питання ускладнюється розмаїттям нафтопродуктів, які перевозяться залізничним транспортом чи застосовуються на підприємствах залізничного транспорту, багатofакторністю їх перетворення в навколишньому середовищі, і постійними додатковими витіканнями нафти і нафтопродуктів. В найбільш загальних рисах процеси трансформації нафти і нафтопродуктів в навколишньому середовищі описані в літературі, яка стосується забруднення ґрунтів [1]. Процеси, які відбуваються з такими забруднюючими речовинами в техногенних ґрунтах, і, зокрема, на підприємствах залізничного транспорту, в науково-технічній літера-

турі майже не відображені [2]. Ось чому перед нами постало завдання, перш за все оцінити процеси, які відбуваються з нафтопродуктами в природних умовах підприємств залізничного транспорту, і на підставі отриманих даних вибрати проби нафтозабрудненого ґрунту для очищення фізико-хімічним методом.

В якості підприємства залізничного транспорту було обрано локомотивне депо ст. Київ-Дарниця Південно-Західної залізниці. Проби ґрунту відбиралися у місцях активного функціонування техніки і проведення різного роду робіт, як і на ділянках, де рух локомотивів і другої техніки здійснюється рідко. Відбір проб проводився з міжрейкового простору на всю глибину піщаної підсіпки, яка в середньому складала від 15 до 25 см.

З більш ніж 50 проб природного нафтозабрудненого ґрунту, були використані три проби. Цей вибір диктувався такими умовами. По-перше, гранулометричний склад вибраних проб практично співпадав між собою і з гранулометричним складом піску, який ми використовували в роботі для створення лабораторних взірців нафтозабруднюючих ґрунтів.

Результати показали, що за вмістом нафтопродуктів проби природного ґрунту відносяться до сильнозабруднених. Причому максимальний вміст нафтопродуктів фіксується в пробі № 1 – 132 г/кг ґрунту. Він виявився максимальним серед усіх проб, відібраних в локомотивному депо «Дарниця» Регіональної філії Південно-Західної залізниці Укрзалізниці.

Таким чином, для дослідження ефективності фізико-хімічного методу очищення нафтозабруднених ґрунтів у роботі було отримано масимально можливий набір нафтозабруднених ґрунтів: а) проби свіжого забруднення лабораторних взірців з трьома типами нафти і нафтопродуктів від слабкозабруднених до сильнозабруднених і б) проби натурного (природного) ґрунту, які охоплюють найбільш загальні типи трансформації нафти і нафтопродуктів у ґрунтах.

Досліджені проби природного ґрунту масимально відрізняються між собою за складом органічних сполук, охоплюють можливі варіанти трансформації нафти і нафтопродуктів в піщаних ґрунтах, і в загальних рисах співпадають з процесами в нафтозабруднених ґрунтах. Загальні етапи трансформації нафти і нафтопродуктів в піщаних ґрунтах виглядають так: 1) зменшення вмісту легких низькомолекулярних, в основному вуглеводневих фракцій, в розлитій нафті або нафтопродукті внаслідок випарування, активного виносу з опадами, міграції у нижчележачі шари ґрунту; 2) подальше зниження вмісту вуглеводневих сполук різних типів внаслідок фізико-хімічних і мікробіологічних процесів, відносно накопичення фракції важких смолисто-асфальтових речовин, її окислення; 3) інтенсивне окислення фракції смолисто-асфальтових речовин, накопичення кисневмісних сполук; подальше

окислення, трансформація новоутворених сполук (під час розливу важких сполук нафти і нафтопродуктів на поверхні утворюються міцні шкуринки високомолекулярних компонентів).

На підставі проведеного експерименту та використанням даних літературних джерел нами були побудовані графіки порівняння досліджуваних миючих засобів в залежності від виду забруднення і висхідного вмісту нафтопродуктів у ґрунті. Згідно результатів експериментальних досліджень були виділені умовні групи миючих засобів згідно їхньої ефективності.

Перша група так званих ефективних миючих засобів дозволяє відмити нафтозабруднені ґрунти на 95% (в залежності від виду забруднення і концентрації миючих засобів). Майже усі миючі засоби такої групи, окрім кальцинованої соди, містять синтетичні речовини, що і обумовлюють високу миючу здатність.

Друга група – малоефективні миючі засоби. Ефективність відмивання ґрунту складає 93%. До цієї групи відноситься каустична сода і тринатрійфосфат. Для цих речовин характерне погіршення миючих можливостей в міру важких нафтозабруднень ґрунту. Високі дані вмісту мазуту в ґрунті виявляються найбільш стійкими забрудненнями.

До третьої групи увійшли неефективні миючі засоби, такі як господарське мило і «підмилні» луги, з ефективністю відмивання не вище 83% по відношенню до будь-яких типів забруднюючих ґрунт речовин, навіть при високих концентраціях миючих речовин в розчині. Процент відмивання знижується до 65–70% із залишковою концентрацією нафтопродуктів в ґрунті. Це у 6–9 разів перевищує гранично допустимий норматив, особливо при відмиванні цими миючими засобами забруднень відпрацьованим маслом та мазутом.

Результати досліджень проб природного ґрунту максимально відрізняються між собою за складом органічних сполук, широко охоплюють можливі варіанти трансформації нафти і нафтопродуктів у піщаних ґрунтах, і в загальних рисах співпадають з процесами у нафтозабруднюючих ґрунтах.

Результати експериментальних досліджень також показують, що використання ефективних миючих засобів виявилися досить ефективними по відношенню до свіжозабрудненого ґрунту (лабораторного чи природного). Відмивання застарілих нафтозабруднень виявилися не досить ефективним навіть при застосуванні засобів з високою миючою здатністю.

Огляд способів очищення нафтозабруднених ґрунтів на основі літературних публікацій різних дослідників, не дозволяє з них вибрати найбільш вдалого для дослідження його в якості можливого механізму очищення [3]. Але разом з цим, на сьогодні відомі методи очищення, з одного боку, стічних вод від нафтопродуктів, а з іншого боку,

замаслених металевих конструкцій, які за можливим їх поєднанням дозволили б використати якийсь принципово новий механізм очищення ґрунту від нафтопродуктів.

В одному випадку мова йде про явища, пов'язані з *флотацією*. Тобто процес активного винесення дисперсних твердих або рідких частинок з товщі рідкого середовища на поверхню такого середовища добре відомий як флотація і широко та успішно використовується як для концентрування і збагачення руд кольорових і рідкісних металів, так і для очищення нафтовмісних стічних вод у так званих *флотаторах*. І в тому, і в іншому випадку основним агентом, який «флотує» дисперсну частинку на поверхню середовища є бульбашка газу. Таким чином, однією з складових нового механізму очищення, повинне бути активне барботування, яке під час флотаційного очищення отримують нагнітанням і розпиленням газу в систему.

Іншою складовою принципово іншого механізму очищення повинен бути *механічний імпульсний удар*, до того ж періодично повторюваний, який дозволить розірвати не дуже міцні сили адгезії між забруднюючою речовиною і твердими частинками ґрунту. Такий удар в техніці також добре відомий, і відомий у більшості випадків як небажане явище. Йдеться про *кавітацію*, яка протікає в рідинному середовищі і при цьому виникають періодичні удари (мікробухи), які володіють величезною руйнівною силою.

Натепер відомі прояви кавітації, які обумовлені гідродинамічними умовами під час роботи гідравлічних насосів, гідравлічних турбін, корабельних гвинтів тощо, а також таким негативним ефектом, як ерозія матеріалу. Кавітація також проявляється при поширенні акустичних хвиль ультразвукової частоти в рідинному середовищі і яка теж призводить до механічного руйнування твердої поверхні матеріалу. В першому випадку тип кавітації визначають як гідродинамічний, а у другому – як акустичний. І в тому, і в іншому випадку кавітація виявляється небажаним явищем, яка призводить до руйнування матеріалу.

В літературі вказується, що відомі випадки позитивного використання явища кавітації, зокрема для очищення ґрунту від забруднення. Так, відомо, що ультразвукова кавітація використовується в техніці для очищення поверхонь від забруднень в середовищі миючої речовини або розчинника і, навіть, в побуті для прання текстильних виробів з допомогою побутового ультразвукового генератора [4].

Отже, такі дві стадії і суміщені в одному принципово новому механізмі очищення нафтозабруднюючого ґрунту можна тепер конкретизувати як основані на: а) кавітаційному ефекті; б) флотаційному ефекті.

В експериментах з дослідження забруднень ґрунту залізничним транспортом ми повинні керуватись логікою вибору миючого засобу і давати кількісні обґрунтування механізму миючої дії застосованого для цілей очищення ґрунту пероксикар-

бонатом натрію. Якісні експерименти показали, що пероксикарбонат натрію може бути найбільш підходящим представником миючого засобу для очищення ґрунту від нафтозабруднення, який діє за іншим механізмом, ніж відомі миючі засоби.

Висновки. Таким чином, використання пероксикарбонату натрію в якості ефективного миючого засобу для очищення ґрунту від нафтопродуктів знаходить своє пояснення в особливому механізмі очищення, а саме у сумісному кавітаційно-флотаційному ефекті. На основі нового підходу у поясненні механізму миючої дії слід пропонувати екологічно безпечний миючий

засіб (кавітаційно-флотаційний відмивач нафтопродуктів). В результаті експериментальних досліджень показана висока ефективність (99%) застосування цієї речовини для очищення, в тому числі важких і дуже перетворених нафтозабруднених ґрунтів до гранично допустимих нормативів і забезпечення ефективного розподілу фаз. Це дозволило дійти результату, що використання кавітаційно-флотаційного ефекту значно знизить екологічну небезпеку відпрацьованих миючих розчинів (за рахунок зниження вмісту нафтопродуктів і важких металів у порівнянні з іншими миючими засобами у 10–30 разів).

Література

1. Смирнова Т.В., Панин А.В., Смирнов А.В. Экология почв : методические указания для студентов специальности «Инженерная защита окружающей среды на железнодорожном транспорте» (ПГУПС). Санкт-Петербург, 1998. 12 с.
2. Сватовская Л.Б., Панин А.В., Смирнов А.В., Филимоннова Г.П., Шершнева М.В. К вопросу о некоторых безотходных технологиях в решении экологических задач на железнодорожном транспорте. *Экологические проблемы на железнодорожном транспорте* : тезисы докладов международной конференции. Москва, 1999. С. 53.
3. Смирнов А.В., Сватовская Л.Б., Панин А.В. Исследование моющих средств для очистки грунта от нефти и нефтепродуктов на железнодорожном транспорте. *Проблемы инженерной экологии на железнодорожном транспорте* : сборник научных трудов. Санкт-Петербург, 1999. С. 3.
4. Панин А.В. К вопросу о механизме очистки грунта от нефтепродуктов физико-химическим методом при использовании нетрадиционных моющих средств. *Новые исследования в материаловедении и экологии* : сборник научных трудов. Санкт-Петербург, 2001. Вып. 1. С. 28–33.

ОЦІНКА ВПЛИВУ РОБОТИ КАНІВСЬКОЇ ГЕС У НИЖНЬОМУ Б'ЄФІ НА ПОКАЗНИКИ ЗАБРУДНЕНОСТІ ВОДИ ЗА БІОТИЧНИМИ ІНДЕКСАМИ

Борисенко М.М., Лукашов Д.В.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

вул. Володимирська, 64/13, 01601, м. Київ

mborysenko2905@gmail.com, ecologyknu@gmail.com

У роботі представлено результати оцінки ступеня забрудненості води р. Дніпро на ділянці Кременчуцького водосховища в нижньому б'єфі Канівської гідроелектростанції. Для цього використано ряд біотичних індексів якості води. А саме індекси ТВІ та FBI, що використовують співвідношення чисельності різних таксонів макробезхребетних в угрупованнях гідробіонтів, та індекс Балушкіної, що використовує співвідношення чисельності представників різних підродин комарів-дзвінців (Chironomidae). Індекси було розраховано на основі даних про зооперифітонні угруповання, що формуються на каменях берегоукріплювальних споруд, розміщених на досліджуваній ділянці річки. Індекс ТВІ коливався в межах від 1 (що відповідає оцінці якості вод «дуже погані») до 6 (що відповідає оцінці якості вод «задовільні»). Індекс FBI – від 0,6 (оцінка «відмінні») до 6,96 (оцінка «погані»), а індекс Балушкіної – від 0,14 (оцінка якості води «чиста») до 7,41 (оцінка – «забруднена»). Отримані оцінки якості води суттєво відрізнялися в залежності від сезону, в який проводився відбір проб, відстані нижче греблі гідроелектростанції та використаного індексу. Під час використання індексів ТВІ та FBI було отримано низькі оцінки якості води навесні й високі – влітку. У випадку індексу Балушкіної ситуація була протилежною. У травні було виявлено тенденції до підвищення оцінок якості води з віддаленням від греблі гідроелектростанції. Це спостерігалось для індексу FBI ($r=0,83$, значущий при $p \leq 0,05$) та індексу Балушкіної (кореляція статистично незначуща). Такі тенденції вказують на вплив роботи гідроелектростанції, зокрема скиду гіполімнетичних водних мас, на стан показників забрудненості вод нижнього б'єфу. Але суттєві відмінності в результатах оцінки за різними індексами говорять про неможливість застосування цих індексів як показників для вичерпної оцінки якості води з використанням зооперифітону. Їх допустимо використовувати лише як відносні показники для порівняння стану забрудненості води на різних точках. *Ключові слова:* гідроелектростанція, якість води, нижній б'єф, біотичні індекси, перифітон, річка Дніпро, вплив греблі.

Estimation of the impact of the operation of the Kaniv Hydroelectric Power Plant in the downstream on the water pollution degree using biotic indexes. Borysenko M., Lukashov D.

The paper presents the results of the estimation of the degree of water pollution of the Dnieper River in the section of the Kremenchuk Reservoir in the downstream of the Kaniv Hydroelectric Power Plant. Several biotic indexes of water quality were used for this purpose. Namely, the TBI and FBI indexes, which use the ratio of the number of different macroinvertebrate taxa in aquatic organisms communities, and the Balushkina index, which uses the ratio of the number of representatives of different subfamilies of Chironomidae family. The indexes were calculated based on data on zooperiphyton communities. These communities were formed on the stones of shore protection constructions located on the studied section of the river. The TBI index ranged from 1 (corresponding to a “very poor” water quality assessment) to 6 (corresponding to a “satisfactory” water quality assessment). The FBI index ranges from 0.6 (“excellent”) to 6.96 (“poor”), and the Balushkina index ranges from 0.14 (“clean”) to 7.41 (“contaminated”). The obtained water quality estimates differed significantly depending on the season in which the sampling was performed, the distance below the hydroelectric dam, and the index used. Using the TBI and FBI indexes, low water quality scores were obtained in the spring and high in the summer. In the case of the Balushkina index, the situation was the opposite. In May, was detected a tendency to increase water quality estimates with distance from the dam. This was observed for the FBI index ($r=0.83$, significant at $p \leq 0.05$) and the Balushkina index (the correlation was statistically insignificant). Such trends indicate the impact of HPP operation, in particular the discharge of hypolimnetic water masses, on the water pollution in the downstream. But significant differences in the results of assessment using different indexes indicate the impossibility of using these indexes as indicators for a comprehensive assessment of water quality using zooperiphyton. They can be used only as relative indicators to compare the state of water pollution at different points. *Key words:* hydroelectric power plant, water quality, hydropower downstream, biotic indexes, periphyton, Dnipro River, dam impact.

Постановка проблеми. Гідроенергетика є важливою складовою частиною енергетичної галузі України. Враховуючи характерні для неї відсутність потреби у викопному паливі й високі маневрові якості, її значення зростатиме. Але водночас вона пов'язана зі значним впливом на річкові еко-

системи. Ділянка річки вище греблі гідроелектростанції (далі – ГЕС) перетворюється на водосховище – водойму з гідрологічним режимом, подібним до озерного. Це приводить до кардинальної перебудови гідробіоценозів і перетворення цієї ділянки на техноекосистему [8; 14; 19]. Ділянка нижче ГЕС

зазнає менш кардинальних змін умов середовища, такі ділянки часто розглядаються як близькі до природних [3; 12]. Але й ця ділянка все ж зазнає змін гідрологічного, гідрохімічного, термічного режимів. Все це позначається на її біоценозах. Крім того, що течія річки в таких умовах перебуває під контролем людини, а не природних факторів, у нижній б'єфі ГЕС надходить вода з гіполімніону водосховища, яка відрізняється від поверхневих шарів води за температурою та багатьма гідрохімічними параметрами. Показники забрудненості води належать до важливих характеристик умов середовища у водних екосистемах. Одним із способів їх оцінити є різноманітні біотичні індекси оцінки якості води. Такі індекси дуже популярні в дослідженнях антропогенного тиску на водні екосистеми, але, оскільки різноманітність угруповань гідробіонтів залежить не лише від якості води, їх застосування потребує обережності. У роботі розглядається можливість оцінити за біотичними індексами показники забрудненості вод у нижньому б'єфі й вплив на них глибинних скидів ГЕС. Робота виконана в рамках дослідження впливу Канівської ГЕС на зооперифітонні угруповання нижнього б'єфу.

Актуальність дослідження. Натепер в Україні на гідроелектростанції припадає близько 7% виробленої електроенергії. Але завдяки високим маневровим якостям, вони використовуються для регулювання добових графіків навантажень на енергосистему [10; 21]. Значення таких регулювальних потужностей лише зростає під час збільшення частки в енергосистемі відновлювальних джерел енергії, оскільки вітрові й сонячні електростанції мають мінливий і нерегулярний характер роботи [5]. Тому в сучасних умовах значення гідроенергетики у світі збільшується [13]. Враховуючи значний вплив цієї галузі на довкілля, існує необхідність всебічного його вивчення з метою мінімізації негативних наслідків спорудження та експлуатації ГЕС та гідроаккумуляційної електростанції. В умовах каскаду ГЕС на р. Дніпро руслові ділянки водосховищ на значній частині довжини річки лишаються єдиними фрагментами, наближеними до річкової екосистеми, тому їм надається велике природоохоронне значення [3; 12]. Відповідно, вивчення впливу роботи ГЕС на біоту цих ділянок має значення також для розробки заходів зі збереження біорізноманіття.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Робота виконувалась в рамках бюджетної теми № 01184000245 «Моніторинг екосистем Канівського природного заповідника («Літопис природи») й рідкісного біорізноманіття об'єктів Смарагдової мережі Середнього Придніпров'я».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Екосистеми нижніх б'єфів ГЕС перебувають під суттєвим впливом їх роботи. В таких умовах спостерігаються нетипові для природних річок добові коли-

вання рівня води й швидкості течії [6; 7]. Скиди ГЕС впливають на температуру води в нижньому б'єфі, а саме: у випадку глибинного скиду відзначається зниження температури води у весняно-літній і підвищення в осінньо-зимовий період [15]. Крім того, глибинні води водосховища часто бувають збіднені на розчинений кисень [4; 11; 22], мають нижче значення показника рН [23]. Під час скиду це приводить до змін відповідних показників і у нижньому б'єфі. Скиди ГЕС можуть також позначатися на вмісті у воді органічних речовин [20]. Все це може бути причиною змін показників якості води в нижньому б'єфі.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Забрудненість води належить до важливих екологічних факторів, що впливають на життєдіяльність гідробіонтів. Одним зі способів оцінки її ступеня є використання біотичних індексів визначення якості води. В роботі вивчається можливість використання даних про перифітонні угруповання в нижньому б'єфі ГЕС на великій рівнинній річці для розрахунку таких індексів та оцінки показників забрудненості води за ними. Також здійснюється оцінка впливу роботи ГЕС на ці показники.

Новизна. В ході дослідження вперше було встановлено зв'язок значень показників забрудненості води в нижньому б'єфі ГЕС з відстанню від її греблі.

Методологічне або загальнонаукове значення. В роботі оцінено можливість використання ряду біотичних індексів (ТВІ, FBI та індекс Балушкіної) для визначення якості води з використанням даних про таксономічний склад і співвідношення чисельностей макробезхребетних перифітонних угруповань в умовах руслової частини Канівського водосховища.

Викладення основного матеріалу.

Методика дослідження. Для вивчення зооперифітонних угруповань було обрано 7 станцій спостереження на берегозахисних спорудах в нижньому б'єфі Канівської ГЕС на відстані 3,46–7,72 км нижче греблі між м. Канів та с. Пекарі (Канівський район, Черкаська обл.). Відбір проб проводили щомісяця (в червні двічі – до й після закінчення періоду нересту) в період із квітня по жовтень 2018 р. Зразки відбирали шляхом змиву перифітону з каменів, вийнятих із води з глибини 0,5 м. Зібрані організми фіксували за допомогою 4% формаліну. Камеральну обробку проводили за допомогою стереомікроскопа МБС-10 і камери Богорова. Для оцінки якості води було розраховано індекси ТВІ [25], FBI [16] та Індекс Балушкіної [1]. Для розрахунку було використано програму BiotMetrics (Інститут гідробіології НАНУ) [9]. Зв'язок значень цих індексів з відстанню нижче греблі оцінювали за допомогою коефіцієнту кореляції Пірсона.

Результати та їх обговорення. Величина індексу ТВІ коливалася в межах від 1 (що відповідає оцінці якості вод «дуже погані») до 6 (що відповідає оцінці якості вод «задовільні»). Низькі значення цього

індексу (які відповідають низьким оцінкам) були виявлені на більшості станцій у травні й першій половині червня (лише у 34,6% випадків були отримані значення, вищі за 1). Пізніше значення на всіх станціях були не нижчими за 4 (оцінка «погані»), а у 88% випадків вони становили 5–6 (оцінка «задовільні»). Для величини індексу ТВІ не вдалося встановити зв'язків із відстанню нижче греблі ГЕС.

Для індексу FBI було отримано величину в межах від 0,6 (оцінка «відмінні») до 6,96 (оцінка «погані»). Високі значення індексу (що відповідають низьким оцінкам якості води) було зареєстровано в травні (на 6 точках – «погані», на одній «задовільні», на 5 – «добрі» й на одній – «відмінні»). В період із червня по серпень значення цього індексу знижувалися. Зрештою, в серпні на всіх станціях індекс ТВІ показав оцінку «відмінні» для якості вод на всіх станціях. У жовтні відбулось деяке зниження отриманих оцінок (до «добрі» на 2 точках).

У травні було виявлено позитивну кореляцію значень індексу з відстанню нижче ГЕС ($r=0,83$, значущий при $p \leq 0,05$, див. рис. 1). На віддалених від греблі станціях отримані значення були в 1,5–1,6 разів вищі, ніж на близьких. Таким чином, згідно з індексом FBI, зі збільшенням відстані від ГЕС спостерігалось підвищення показників якості води. Оскільки такий індекс чутливий до органічного забруднення вод, така ситуація може свідчити про зменшення вмісту органічних зависей у воді з віддаленням від греблі. Подібну тенденцію зміни індексу FBI з від-

танню виявлено також у другій половині червня, але вона була слабкою та статистично незначущою.

Для обох цих індексів було виявлене покращення оцінок якості води в літній період. Ймовірно, це пов'язано не зі змінами в реальних показниках забрудненості вод, а з особливостями сезонної динаміки досліджуваних угруповань. В зимовий період відбувається осушення або обмерзання берегоукріплювальних споруд на досліджуваних глибинах, внаслідок чого перифітонні угруповання зникають, а впродовж наступного вегетаційного сезону – відновлюються. Тому їх таксономічна різноманітність підвищується, що впливає на величину індексів, які від неї залежать. Таким чином, оцінки можуть покращуватися, незважаючи на те, що якість води в той самий період може знижуватися.

Індекс Балушкіної базується не на загальній різноманітності угруповань, а на співвідношенні чисельності представників різних підродин родини Chironomidae (Insecta, Diptera). Його значення коливалися в межах від 0,14 (оцінка якості води «чиста») до 7,41 (оцінка «забруднена»). Їхня сезонна динаміка було протилежною до ситуації, яку показали індекси ТВІ й FBI. У травні на всіх станціях було зафіксовано величини, що показали оцінку «чиста», а пізніше на більшості станцій ця оцінка погіршилася. Найнижчі оцінки якості води було отримано в серпні. Так, лише в нижній точці станції № 2 (4,12 км від греблі) було отримано значення 0,67, що відповідає оцінці «чиста», а в решті випадків оцінки були нижчі,

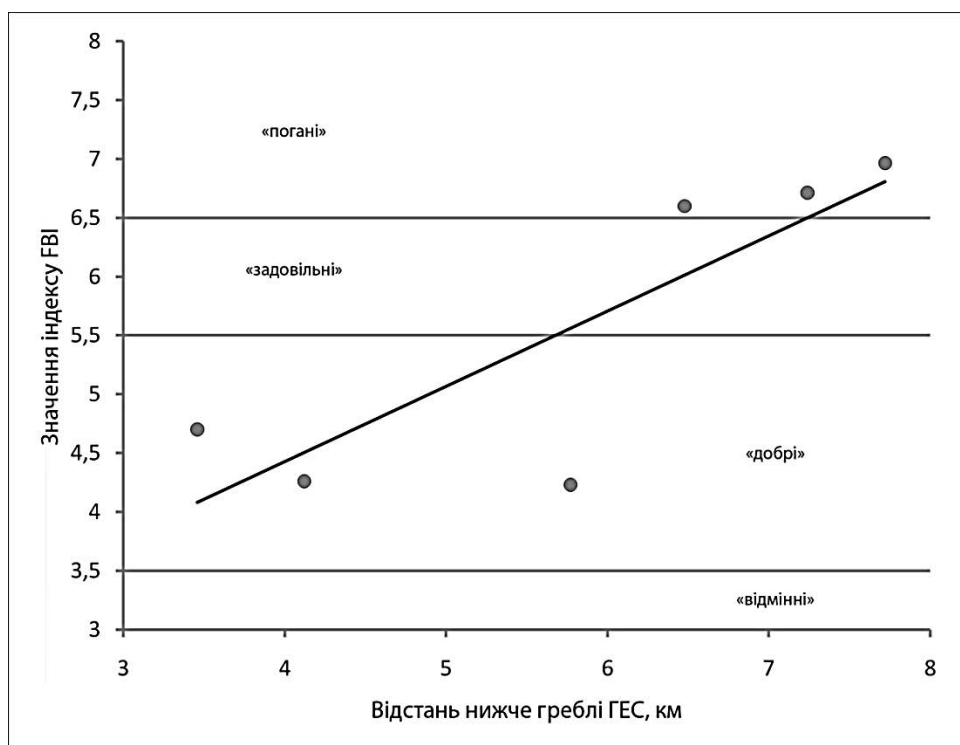


Рис. 1. Залежність між значенням індексу FBI з верхніх точок і відстанню від греблі ГЕС у травні 2018 р.

в 46,2% випадків вони відповідали оцінці «забруднена». У жовтні значення індексу були дещо нижчими (що відповідає вищим оцінкам якості води). Така сезонна динаміка видається відповіднішою реальному стану показників забрудненості води органікою, оскільки саме на літній період припадає максимум розвитку явища «цвітіння води», що спостерігається у водосховищах Дніпровського каскаду, в тому числі й на цій ділянці [2]. Більша відповідність оцінок якості води за індексом Балушкіної може бути пояснена швидшим відновленням різноманітності личинок хірономід у порівнянні із загальною різноманітністю перифітонних угруповань, оскільки імагінальна стадія розвитку цих організмів, що не є гідробіонтом, не залежить від впливу ГЕС на умови у водних екосистемах.

У травні також було виявлено тенденцію до зниження величини цього індексу (і, відповідно, підвищення оцінки якості води) зі збільшенням відстані від греблі ГЕС. На віддалених станціях було отримано значення у 2,3–3,4 рази нижчі в порівнянні з близькими до ГЕС. Але, на відміну від індексу FBI, зв'язок був слабшим і статистично незначущим.

Таким чином, ці три індекси показали досить відмінні результати. Це пов'язано зі специфічністю досліджуваних угруповань та особливостями їх таксономічного складу й співвідношень чисельностей представників окремих таксонів порівняно з типовими угрупованнями макрзообентосу. Тому їх не можна використовувати для отримання вичерпних висновків про якість води на досліджуваній ділянці. Але їх використання як відносного показника, за

яким можна порівняти показники забрудненості води на різних відстанях від ГЕС, можливе.

Виявлені тенденції змін значень індексів із віддаленням від греблі можуть свідчити про надходження з гіполімніону водосховища водних мас, що містять більше органічних зависей. Вплив гребель на вміст у воді органіки відомий з даних інших дослідників. Так, відомо, що греблі змінюють співвідношення вмісту грубозернистих і дрібнодисперсних органічних часток у воді [20; 24]. Крім того, ці тенденції подібні до змін кількісних показників угруповань перифітону (таких, як щільність і біомаса) в нижньому б'єфі Канівської ГЕС. Зниження щільності й біомаси зі збільшенням відстані нижче ГЕС неодноразово фіксувалося на досліджуваній ділянці як для представників окремих таксономічних груп, так і для угруповань загалом [17; 18].

Головні висновки. Розглянуті біотичні індекси якості води під час використання для їх розрахунку зооперифітонних угруповань можуть бути вжиті лише як відносні показники для порівняння різних точок досліджуваної ділянки, але не для вичерпної оцінки стану забрудненості води.

Індекси ТВІ й FBI показали підвищення якості води влітку, тоді як індекс Балушкіної – зниження.

У травні було виявлено тенденцію до підвищення оцінки якості води з віддаленням від греблі ГЕС, яке показали індекс FBI й індекс Балушкіної.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати роботи можуть бути використані під час проектування нових гідроелектростанцій і планування режимів роботи наявних для мінімізації негативного впливу на гідроекосистеми нижніх б'єфів.

Література

1. Балушкіна Е.В. Хирономиды как индикаторы степени загрязнения вод. *Методы биологического анализа пресных вод*. Ленинград : ЗИН, 1976. С. 106–118.
2. Вишневецький В.І. Просторово-часова мінливість «цвітіння» води у дніпровських водосховищах. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2019. № 20. С. 18–27.
3. Голубцов О.Г., Чорний М.Г. Застосування ландшафтного планування для створення проекту Канівського біосферного резервату. *Український географічний журнал*. 2014. № 2. С. 10–17.
4. Гуляєва О.О. Роль Дністровського гідровузла у формуванні кисневого режиму річки. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2011. Т. 1. № 22. С. 127–133.
5. Ландау Ю.О., Сташук І.В. Значення гідроенергетики в розвитку ОЕС України відповідно до НЕС-2035 і екологічні виклики. *Гідроенергетика України*. 2018. № 1–2. С. 3–6.
6. Ободовський О.В., Гребін В.В. Організація моніторингу гідрологічного режиму і руслових процесів Дніпра в районі Канівського заповідника. *Заповідна справа в Україні*. 2001. Т. 7. Вип. 1. С. 59–64.
7. Окснюк О.П., Давыдов О.А., Карпезо Ю.И. Санитарно-гидробиологическая оценка состояния речной части Каневского водохранилища на основе структурных показателей альгоценозов микрофитобентоса. *Гидробиологический журнал*. 2012. Т. 48. № 3. С. 57–72.
8. Протасов А.А. Концепция технокосистемы в технической гидробиологии. *Гидробиологический журнал*. 2014. Т. 50. № 3. С. 3–18.
9. Твір наукового характеру “BiotMetrics” : свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір 82747 / Ю.М. Волюков, А.В. Лященко ; дата реєстрації 12.11.2018, Бюл. № 51.
10. Сучасний стан, проблеми та перспективи розвитку гідроенергетики України : аналітична доповідь. НІСД, 2014. 54 с.
11. Тімченко О.В., Линник П.М. Кисневий режим Канівського водосховища і можливі шляхи його поліпшення в критичних умовах. *Наукові праці УкрНДГМІ*. Вип. 251. Київ : Ніка-центр, 2003. С. 112–118.
12. Чорний М.Г., Грищенко В.М., Шевчик В.Л. та ін. Перспективи розширення Канівського природного заповідника. *Заповідна справа в Україні*. 2011. Т. 17. Вип. 1–2. С. 103–110.
13. Ashraf F.B., Haghighi A.T., Riml J., Alfredsen K., Koskela J.J., Kløve B., Marttila H. Changes in short term river flow regulation and hydropеaking in Nordic rivers. *Scientific Reports*. 2018. № 8. 17232.

14. Baxter R.M. Environmental effects of dams and impoundments. *Annual Rev. Ecol. Syst.* 1977. № 8. P. 255–283.
15. Bobat A. Thermal pollution caused by hydropower plants. *Energy systems and management.* Berlin : Springer, 2015. P. 19–32.
16. Bode R.W., Novak M.A. Development and Application of Biological Impairment Criteria for Rivers and Streams in New York State. *Biological Assessment and Criteria, Tools for Water Resource Planning and Decision Making* / Eds. Wayne S. Davis and Thomas P. Simon. Florida : CRC Press. P. 97–108.
17. Borysenko M.M., Lukashov D.V. Change of zooperiphyton communities by downstream of Kaniv hydroelectric power plant in autumn period. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series "Biology"*. 2017. Vol. 73. № 1. P. 80–84.
18. Borysenko M.M., Lukashov D.V. Impact of Kaniv Hydroelectric Power Plant on the Zooperiphyton Communities in the Downstream. *International Journal of Science and Engineering Investigations (IJSEI)*. 2019. Vol. 8. Issue 92. P. 104–107.
19. Greathouse E.A., Pringle C.M., McDowell W.H., Holmquist J.G. Indirect upstream effects of dams: consequences of migratory consumer extirpation in Puerto Rico. *Ecol. Appl.* 2006. Vol. 16. № 1. P. 339–352.
20. Kokavec I., Navara T., Beracko P., Derka T. Downstream effect of a pumped storage hydropower plant on river habitat conditions and benthic life – a case study. *Biologia.* 2017. Vol. 72. № 6. P. 652–670.
21. Schmutz S., Bakken T.H., Friedrich T., Greimel F., Harby A., Jungwirth M., Melcher A., Unfer G., Zeiringer B. Response of fish communities to hydrological and morphological alterations in hydropeaking rivers of Austria. *River research and applications.* 2015. № 31. P. 919–930.
22. Turner L., Erskine W.D. Variability in the development, persistence and breakdown of thermal, oxygen and salt stratification on regulated rivers of southeastern Australia. *River Research and Applications.* 2005. Vol. 21. № 2–3. P. 151–168.
23. Wang B., Liu C. Q., Wang F., Liu X. L., Wang Z. L. A decrease in pH downstream from the hydroelectric dam in relation to the carbon biogeochemical cycle. *Environmental Earth Sciences.* 2015. Vol. 73. № 9. P. 5299–5306.
24. Ward J.V., Stanford J.A. The serial discontinuity concept: extending the model to floodplain rivers. *Regulated Rivers: Research and Management.* 1995. № 10. P. 159–168.
25. Woodiwiss F.S. The biological system of stream classification used by the Trent River Board. *Chem. Ind.* 1964. Vol. 11. P. 443–447.

ОРГАНІЧНЕ СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО ЯК ФАКТОР ВПЛИВУ НА ВМІСТ НІТРАТІВ У ПИТНІЙ ВОДІ ДЖЕРЕЛ НЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ СІЛЬСЬКИХ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ

Валерко Р.А., Герасимчук Л.О.

Житомирський національний агроекологічний університет
бульв. Старий, 7, 10008, м. Житомир
valerko_ruslana@ukr.net, gerasim4uk@ukr.net

Наразі проблема забезпечення населення якісною питною водою є досить гострою та актуальною в усьому світі. Особливо гостро вона постає для сільських територій, де відсутнє централізоване водопостачання та водовідведення та місцеві жителі змушені використовувати для питних для побутово-господарських потреб воду з джерел нецентралізованого водопостачання, таких, як колодязі, каптажі, свердловини й природні джерела. Проте якість такої води досить часто не відповідає встановленим допустимим нормам, особливо щодо вмісту нітратів. Встановлено, що проблема забруднення питної води нітратами зафіксована у всіх країнах світу, не виключенням у цьому випадку є й Україна. Доведено, що підвищений вміст нітратів у воді зумовлений в основному завдяки веденню сільського господарства, зокрема внесенню мінеральних та органічних добрив.

Одним із дієвих заходів зниження негативного впливу сільськогосподарського виробництва на довкілля є перехід від звичайного інтенсивного ведення господарювання до органічного сільського господарства. Основними напрямками ведення органічного господарства є насамперед зниження або заборона внесення мінеральних добрив, які й здійснюють найбільший негативний вплив на довкілля, в тому числі й на водні об'єкти.

Дослідження щодо оцінки впливу органічного сільського господарства на вміст нітратів у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання сільських населених пунктів були проведені на території чотирнадцяти областей України. Перевищення вмісту нітратів були зафіксовані в дев'яти досліджуваних областях, причому це стосувалося населених пунктів як з органічним, так і з традиційним веденням сільського господарства. Найкритичніша ситуація встановлена в сільських населених пунктах Херсонської області, де перевищення середнього вмісту нітратів становило майже 14 гранично допустимих концентрацій для місцевостей із традиційним веденням сільського господарства й майже 7 гранично допустимих концентрацій для населених пунктів з органічним сільським господарством. *Ключові слова:* нітрати, добрива, сільське господарство, органічне виробництво.

Organic agriculture as a factor of influence on the content of nitrates in drinking water sources of non-centralized water supply of rural settlements. Valerko R., Herasymchuk L.

Currently the problem of providing the population with quality drinking water is quite acute and relevant all over the world. Especially acutely it arises for rural areas, where there is no centralized water supply and drainage, so residents are forced to use water from the sources of non-centralized water supply for drinking and household needs, such as: wells, catchments, boreholes and natural sources. However, the quality of such water quite often does not correspond to the set permissible norms, especially for the content of nitrates. The problem of drinking water pollution by nitrates is recorded all over the world, Ukraine is no exception in this case. It is proved that the increased content of nitrates in water is mainly due to use of agriculture, in particular the introduction of mineral and organic fertilizers.

One of the effective measures to reduce the negative impact of agricultural production on the environment is the transition from conventional intensive farming to organic agriculture. The main directions of organic farming are, first of all, reduction or prohibition of mineral fertilizers, which have the greatest negative impact on the environment, including water bodies.

Studies related to the assessment of the impact of organic agriculture on the content of nitrates in drinking water from sources of non-centralized water supply of rural settlements were conducted in 14 regions of Ukraine. Excess content of nitrates was recorded in 9 researched regions, this applied to both settlements with organic and traditional agriculture. The most critical situation was found in the rural settlements of the Kherson region, where excess of the average concentration of nitrates was almost 14 TLV for areas with traditional agriculture and almost 7 TLV for settlements with organic agriculture. *Key words:* nitrates, fertilizers, agriculture, organic production.

Постановка проблеми. Інтенсивне ведення сільського господарства передбачає внесення великої кількості штучних не властивих природі речовин, таких, як мінеральні добрива й хімічні засоби захисту рослин. Використання таких речовин дає змогу отримувати стабільно високі врожаї сільськогосподарських культур для задоволення потреб населення харчовими продуктами. Проте є й негативна сторона ведення інтенсивного господарства – ценаамперед низька якість харчових продуктів, які можуть бути

забруднені важкими металами, нітратами, залишками пестицидів тощо. Крім того, негативним явищем є також і забруднення довкілля, що передбачає перевищення вмісту забруднюючих речовини у ґрунтах, водоймах, повітрі та питній воді.

Відомо, що внесення в ґрунт великої кількості мінеральних, особливо азотних, добрив призводить до перевищення допустимих рівнів вмісту нітратів у питній воді [1]. Нітрати – це солі азотної кислоти, найбільша кількість яких надходить до організму

саме з питною водою та овочевою продукцією. Вони є одними з найпоширеніших антропогенних забруднювачів підземних вод. Надходження до організму людини нітратів пов'язано з метгемоглобінемією, неблагополучними репродуктивними наслідками й специфічними видами раку [2].

Одним із дієвих засобів підтримання довкілля в належному стані є екологізація сільськогосподарського виробництва шляхом переходу на органічне. Головними принципами органічного виробництва є мінімізація та заборона використання мінеральних добрив і хімічних засобів захисту рослин, що дає змогу отримувати екологічно безпечну продукцію, знизити негативний вплив на довкілля та не порушувати природну рівновагу.

Актуальність дослідження. Головною проблемою забезпечення доброю питною водою населення сільських населених пунктів є те, що якість води, що надходить із джерел централізованого водопостачання, регулярно контролюється, в тому числі й на вміст нітратів, і, як правило, їх вміст навіть у сільськогосподарських районах значно нижчий за установлений ВООЗ норматив, який становить 50 мг/дм³. Якість води в джерелах нецентралізованого водопостачання, які найчастіше використовуються в сільських районах, контролюється лише епізодично, постійний контроль не проводиться [3].

Таким чином, метою дослідження стало оцінити вплив ведення органічного сільського господарства на вміст нітратів у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання в сільських населених пунктах України, в межах яких знаходяться фермерські господарства органічного й традиційного сільськогосподарського виробництва.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Здоров'я та добробут населення сільських населених пунктів страждає від недосконалого управління водними ресурсами й небажаних методів ведення сільського господарства. За даними Міністерства регіонального розвитку, будівництва й житлово-комунального господарства України, у 2018 році лише 30,1% сільського населення мали доступ до централізованого водопостачання [4], решта населення змушена використовувати воду з джерел нецентралізованого водопостачання для забезпечення як господарських, так і питних потреб. Якість води в таких джерелах сумнівна й досить часто не відповідає встановленим нормативам щодо вмісту нітратів, нітритів, заліза загального, хлоридів, сульфатів, органічних, мікробіологічних і радіологічних показників.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема забруднення питної води джерел нецентралізованого водопостачання сільських населених пунктів нітратами описана наразі в багатьох дослідженнях як зарубіжних, так і вітчизняних вчених, які вивчають шляхи надходження їх до водних джерел, вплив нітратів на здоров'я людини тощо.

Перевищення вмісту нітратів у колодязній воді через інтенсивне ведення сільського господарства були зареєстровані по всьому світу, включаючи Сполучені Штати, Європу, Австралію, Китай, Німеччину, Іспанію, Францію тощо.

Рівень вмісту нітратів у водних ресурсах збільшується в багатьох регіонах світу в основному через застосування неорганічних добрив і тваринницького гною в сільськогосподарських районах [5]. Основним антропогенним джерелом нітрогену в довкіллі є азотні добрива [6], використання яких збільшилось у геометричній прогресії після розвитку процесу Габера-Боша в 1920-х роках. Більшість застосувань синтетичних добрив на сільськогосподарських землях виникло після 1980 року. Оскільки приблизно половина усіх використовуваних стоків нітрогену із сільськогосподарських полів забруднює поверхневі та підземні води, концентрації нітратів у водних ресурсах також збільшились [7].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття та новизна досліджень. Органічне землеробство уже визнано як гарна альтернатива для боротьби із забрудненням пестицидами, підтримки біорізноманіття. Воно сприяє підвищенню кількості усіх ґрунтових мікроорганізмів [8], проте його вплив на забруднення водних об'єктів нітратами все ще залишається спірним. Оцінка впливу органічного виробництва на стан питного водопостачання щодо вмісту нітратів у сільських населених пунктах України, поряд із якими знаходяться так звані «органічні підприємства», наразі не проведено. А оскільки від вмісту нітратів у питній воді джерел питного водопостачання залежить якість життя населення, це питання заслуговує на увагу дослідників і є досить гострим і актуальним.

Загальнонаукове значення. Дослідження проводились у 14-ти областях України на території сільських населених пунктів, в яких ведеться органічне та традиційне сільське господарство, переважною діяльністю яких є рослинництво, протягом 2019 року. Відбір проб питної води та їх транспортування і зберігання проводили відповідно до державного стандарту. Аналітичні дослідження зразків води здійснювали у вимірювальній лабораторії ЖНАЕУ за загальноприйнятими методиками.

Виклад основного матеріалу. Україна належить до числа провідних аграрних держав світу. Маючи сприятливі природно-кліматичні умови для вирощування рослинницької продукції, Україна не лише забезпечує власні потреби, а й демонструє добрі показники експорту [9]. Проте водночас гостро стоїть проблема впливу діяльності сільськогосподарського виробництва на довкілля. Зокрема, це забруднення водних об'єктів сільськогосподарськими стоками, що містять надлишки мінеральних добрив.

Варіантом розв'язання проблем щодо негативного впливу сільськогосподарського виробництва

на довкілля є його екологізація. Як уже зазначалося раніше, органічне сільське господарство базується на принципах екологічно безпечного господарювання, що підвищує якість продукції та знижує негативний вплив на довкілля.

Органічне виробництво в Україні почало розвиватися з 1997 року, основними видами його діяльності були переробка органічного зерна, олійних, бобових культур і дикоросів. З 2007 року діяльність виробників органічного виробництва розширюється, і на внутрішньому ринку з'являються органічний хліб, молоко, ковбаси, фрукти, овочі, соки, напої, сиропи, джеми, мед та крупи [10].

Перший український сертифікаційний орган, що здійснює інспекцію та сертифікацію органічного виробництва, – ТОВ «Органік стандарт» – був створений в рамках українсько-швейцарського проекту «Органічна сертифікація та розвиток органічного ринку в Україні» у 2007 році [11].

Відповідно до даних ТОВ «Органік стандарт», в Україні станом на 2019 рік сертифіковано 383 оператори органічного виробництва, найбільша кількість яких знаходяться в Київській та Вінницькій областях. У Волинській, Житомирській, Львівській, Миколаївській, Полтавській і Харківській областях виробляють органічну продукцію понад 20 господарств. Понад десяти виробників органічної продукції знаходяться у Закарпатській, Луганській, Одеській та Рівненській областях. Найменша кількість операторів органічного виробництва знаходиться у Донецькій області, тут їх всього 2, що, очевидно, пов'язано із профілізацією регіону, а також із тим, що на території наразі проходить операція об'єднаних сил. На території Дніпропетровської, Запорізької, Івано-Франківської, Кіровоградської, Сумської, Тернопільської, Херсонської, Хмельницької,

Черкаської, Чернігівської та Чернівецької областей знаходяться від 4-х до 9-ти виробників органічного виробництва (рис. 1).

Галузь рослинництва є провідною діяльністю підприємств органічного виробництва, вона займає 40% від загальної кількості підприємств. Найбільша кількість підприємств, що займаються вирощуванням сільськогосподарських рослин, знаходяться у Дніпропетровській, Сумській та Полтавській областях – понад 80%. Загалом, майже у 71% областей галузь рослинництва займає понад 50%. Найменша кількість рослинницьких господарств знаходяться у Миколаївській області, а у Луганській такі підприємства взагалі відсутні.

Забруднення підземних вод нітратами є серйозною екологічною проблемою, що викликає глобальне занепокоєння, оскільки воно здійснює прямий негативний вплив на здоров'я людини через питну воду. Нітрати існують у підземних водах завдяки природним процесам, проте їх концентрація може бути значно збільшена із різних антропогенних джерел, одним із яких є ведення сільського господарства [12].

Перевищення вмісту нітратів спостерігається у 9 із 14 досліджуваних областей від 1,3 до 13,6 разів (рис. 2). Найгірша ситуація зафіксована у Херсонській області, де перевищення нормативу нітратів становить 13,6 разів у селі Маячка, фермерські господарства у якому займаються традиційним веденням сільського господарства.

У Вінницькій, Кіровоградській, Тернопільській, Херсонській та Черкаській областях спостерігається тенденція перевищення вмісту нітратів у питній воді сільських населених пунктів, де ведеться традиційне сільське господарство порівняно із зразками, що були відібрані у населених пунктах з перевагою органічного ведення сільського господарства.



Рис. 1. Кількість операторів органічного виробництва на Україні станом на 2019 р.

Досить яскравими та цікавими виявились результати, отримані з Чернігівської області: зразки води відбирались у селі Чемер, в якому функціонує ТОВ «Аграрна компанія Еко-Парк», що займається вирощуванням органічної лохини, та в селі Беремицьке, що знаходиться у заповідній зоні області, на території села й поблизу нього відсутні будь-які фермерські господарства. Перевищення вмісту нітратів у криницях с. Чемер виявилось критичним та у середньому становило 8,5 разів, у криницях с. Беремицьке вміст нітратів у середньому був набагато нижчий за норматив.

У Житомирській, Київській та Хмельницькій областях результати досліджень виявились неоднозначними: у сільських населених пунктах із органічними фермерськими господарствами середній вміст нітратів виявився більшим, ніж у населених пунктах із традиційними господарствами. Особливо яскраво це представлено у Хмельницькій області. У решті досліджуваних областей середній вміст нітратів у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання не перевищував гранично допустиму концентрацію (рис. 2).

Суттєвим фактором підвищення вмісту нітратів у ґрунтових та підземних водах, на нашу думку, може бути підвищення рівня середньорічної температури повітря, що відноситься наразі до всіх областей України. Це своєю чергою може призвести до зменшення кількості підземних вод у неглибоких децентралізованих індивідуальних джерелах водопостачання, особливо це відноситься до криниць, частина з яких взагалі висохла. Частина областей України взагалі уже перейшли на користування індивідуальними свердловинами, оскільки вода у криницях просто зникла. Це відноситься до Чернігівської, Херсонської, Миколаївської, Одеської областей.

А оскільки води у криницях стало набагато менше, а ми намагалися відбирати воду лише з колодязів, то і якість її відповідно стала гіршою. Концентрація розчинених у ній речовин збільшилась, що насамперед відноситься саме до нітратів.

Звичайно, на вміст нітратів можуть також впливати і природний склад порід, які можуть завдяки своїй структурі накопичувати надлишкові кількості хімічних елементів. Проте однією з найвагоміших і найпоширеніших причин такої ситуації, на нашу думку, є забруднення води у колодязях стічними водами з дворових вбиралень та тваринницьких ферм, хімікатами з полів, недотримання власниками вимог законодавства з облаштування та утримання колодязів.

Головні висновки та перспективи дослідження.

Розвиток органічного виробництва в Україні почався з 1997 року з метою зниження негативного впливу сільськогосподарського виробництва на довкілля. Наразі на території країни функціонують 383 оператори органічного виробництва, переважаючою діяльністю яких є рослинництво. Найбільша кількість операторів знаходяться у Вінницькій та Київській областях.

У 9-ти із 14-ти досліджуваних областей України було зафіксовано перевищення вмісту нітратів у питній колодязній воді сільських населених пунктів як і з традиційним веденням сільського господарства, так і з органічним. У Вінницькій, Кіровоградській, Тернопільській, Херсонській та Черкаській областях рівень нітратів у межах діяльності органічних господарств є нижчим, ніж у межах традиційних господарств. Обернена ситуація спостерігається у господарствах Житомирської, Київської, Хмельницької та Чернігівської областей, де вміст нітратів на території традиційних господарств був нижчим за вміст

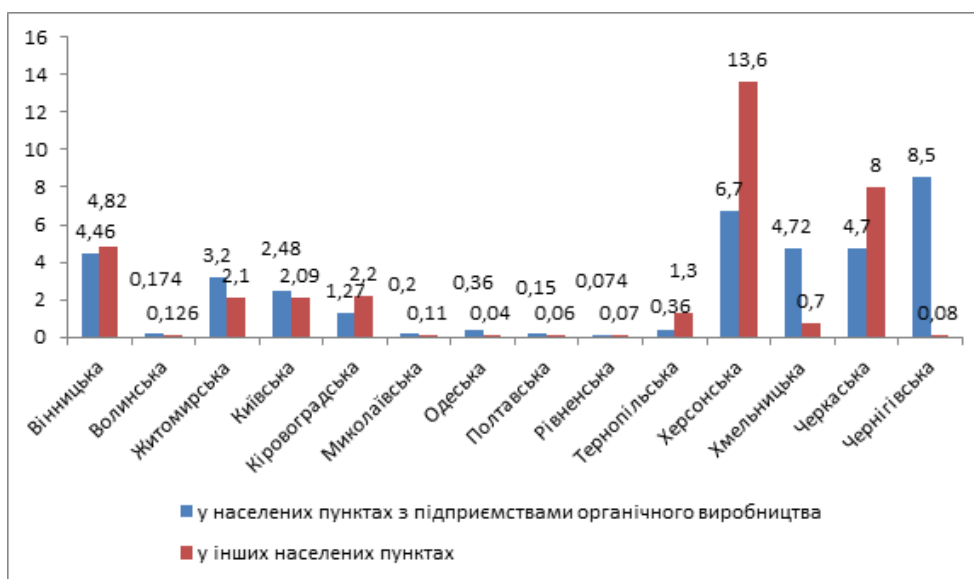


Рис. 2. Кратність перевищення ГДК нітратів у досліджуваних областях України, рази

у органічних. Отже, на нашу думку, вміст нітратів у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання залежить не лише від способу ведення сільськогосподарства, а й від природних чинників,

таких, як структура порід, а також від кліматичних змін, у результаті яких змінились у сторону підвищення середньорічна температура повітря та інтенсивність опадів.

Література

1. Valerko R.A., Herasymchuk L.O., Martenyuk G.M., Kravchuk M.M. Ecological assessment of vegetable products grown in the city of Zhytomyr and its residential suburb. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018. № 8 (1). P. 927–938. DOI: 10.15421/2018_295.
2. DeSimone Leslie A., Hamilton Pixie A., Gilliom Robert J. The quality of our nation's waters. Quality of water from domestic wells in principal aquifers of the United States, 1991–2004. *Overview of major findings*. 2009. U.S. Geological Survey Circular 1332. 48 p.
3. Wheeler D.C., Nolan B.T., Flory A.R., DellaValle C.T., Ward M.H. Modeling groundwater nitrate concentrations in private wells in Iowa. *The Science of the total environment*. 2005. P. 481–488. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.080>.
4. Державна служба статистики України. URL : <http://www.ukrstat.gov.ua>.
5. Ward M.H., Jones R.R., Brender J.D., de Kok T.M., Weyer P.J., Nolan B.T., Villanueva C.M., van Breda S.G. Drinking Water Nitrate and Human Health: An Updated Review. *International journal of environmental research and public health*. 2018. № 15 (7). DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph15071557>.
6. Wheeler D.C., Nolan B.T., Flory A.R., DellaValle C.T., Ward M.H. Modeling groundwater nitrate concentrations in private wells in Iowa. *The Science of the total environment*. 2015. № 536. P. 481–488. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.080>.
7. Davidson E.A., David M.B., Galloway J.N., et al. Excess nitrogen in the U.S. environment: Trends, risks, and solutions. *Issues in Ecology. Ecological Society of America*. Washington, DC, USA, 2012. URL: <https://pubs.er.usgs.gov/publication/70032270>.
8. Henneron L., Bernard L., Hedde M., et al. Fourteen years of evidence for positive effects of conservation agriculture and organic farming on soil life. *Agron. Sustain. Dev.* 2015. № 35. P. 169–181. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0215-8>.
9. Мельник С.І. та ін. Підвищення ефективності внесення органічних добрив. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2017. № 5 (69). URL: <http://journals.uran.ua/index.php/2223-1609/article/view/121799>.
10. Носко В.Л. Стан і розвиток органічного виробництва в Україні. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Біологія, біотехнологія, екологія»*. 2015. Вип. 214. С. 212–216.
11. Органік Стандарт. URL : <https://organicstandard.ua/ua>.
12. Sahoo P.K., Kim K., Powell M.A. Managing Groundwater Nitrate Contamination from Livestock Farms: Implication for Nitrate Management Guidelines. *Curr Pollution Rep.* 2016. № 2. P. 178–187. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40726-016-0033-5>.

ОЦІНКА ТОКСИЧНОСТІ НІТРАТІВ У ВОДІ З ВИКОРИСТАННЯМ ЦИТОМОРФОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ТЕСТ-ОРГАНІЗМІВ

Верголяс М.Р.

ПВНЗ «Міжнародна академія екології та медицини»
Харківське шосе, 121, 02091, м. Київ
vergolyas@meta.ua

Охорона навколишнього середовища, в тому числі й води? є важливим завданням для збереження здоров'я людини. У світовій практиці під час оцінки якості води крім хімічного аналізу проводять сумарну токсикологічну оцінку води, засновану на застосуванні різних методів біотестування. Оцінка якості водного середовища методами біотестування набула особливої актуальності у зв'язку зі стрімким зростанням кількості потенційно небезпечних хімічних сполук, що забруднюють природні джерела питного водопостачання. Особливо в останні роки з'являється все більше інформації як про глобальне поширення нітратів у воді, ґрунті, в харчових продуктах, так і про згубний вплив нітратів на здоров'я людини.

Вода в ряді випадків може відігравати провідну роль у надходженні нітратів і нітритів в організм людини. Надмірне застосування азотовмісних добрив призводить не тільки до накопичення нітратів, а й до зниження харчової цінності продуктів рослинництва, яке виражається в зменшенні вмісту вуглеводів, вітамінів і незамінних амінокислот, зміну складу мінеральних речовин, погіршенні органолептичних властивостей і хлібопекарських якостей. Крім токсичних властивостей нітратів, також треба враховувати можливість участі їх у створенні нітроз'єднань – сильних канцерогенів, тобто речовин, що сприяють розвитку злویкісних пухлин. Метою дослідження була оцінка токсичності води, яка містила нітрати 50 мг / dm^3 , відповідно до вимог Державної санітарно-гігієнічної норми ДСанПіН 2.2.4-171-10 з використанням гематологічних показників тест-організмів риби *Danio rerio* і шпорцевих жаб *Xenopus*. Зразок води, який містить нітрати 50 мг / dm^3 , негативно впливає на тест-організми і їх клітини. В їхній лейкоцитарній формулі крові спостерігалось зменшення лімфоцитів внаслідок підвищення кількості лейкоцитів. Виявили аномалії ядер – мікроядра й подвійні ядра в еритроцитах крові досліджуваних гідробіонтів. Спостерігали порушення процесів життєдіяльності у водних тварин у зразку води до очищення від нітратів, відбувалася загибель тест-організмів. Показано вплив проби води до й після очищення від нітратів на показники лейкоцитарної формули крові й структурної цілісності ядра клітин гідробіонтів, перспективність використання такого методу щодо оцінки цито- й генотоксичності водного середовища. *Ключові слова:* нітрати, вода, біотестування, цитотоксичність, генотоксичність, лейкоцитарна формула крові, тест-організми.

Assessment of nitrate toxicity in water using cytomorphological indicators of test organisms. Vergolyas M.

Protecting the environment, including water, is an important task for maintaining human health. In world practice, when assessing water quality, in addition to chemical analysis, a total toxicological assessment of water is performed, based on the use of various biotesting methods. Assessment of the quality of the aquatic environment by biotesting methods has become especially relevant due to the rapid increase in the number of potentially dangerous chemical compounds that pollute natural sources of drinking water. Especially in recent years, there is growing information about the global spread of nitrates in water, soil, food and the harmful effects of nitrates on human health.

Water in some cases can play a leading role in the entry of nitrates and nitrites into the human body. Excessive use of nitrogen fertilizers leads not only to the accumulation of nitrates, but also to reduce the nutritional value of plant products, which is reflected in the reduction of carbohydrates, vitamins and essential amino acids, changing the composition of minerals, deterioration of organoleptic properties and baking quality. In addition, the toxic properties of nitrates should also be involved in the created nitroso compounds – strong carcinogens, but perhaps this made criminal forces. The aim of study was to evaluate the toxicity of water containing nitrates 50 mg / dm^3 accordance with STATE STANDARDS 2.2.4-171-10 (State sanitary standards) using hematological parameters of test organisms and fish *Danio rerio* clawed frog *Xenopus*. A sample of water containing nitrates 50 mg / dm^3 adversely affect the test organisms and their cells. There was a decrease in blood leukocyte formula lymphocytes due to increased number of leukocytes. Detected anomalies of nuclei – micronuclei and double nuclei in red blood cells of the studied aquatic organisms. Observed violations of vital processes in aquatic animals in a sample of water for purification from nitrates, there was the death of test organisms. The influence of water sample before and after purification from nitrates on the indicators of leukocyte blood formula and structural integrity of the nucleus of aquatic cells, the prospects of using this method to assess the cytogenotoxicity of the aquatic environment. *Key words:* nitrates, water, bioassay, cytotoxicity, genotoxicity, wbc blood, test organisms.

Постановка проблеми. Проблема забруднення водного середовища нітратами набуває все більшої гостроти в Україні та багатьох країн світу. В цей час відбувається постійне зростання їх концентрації через широке використання нітратних добрив, надлишок яких з ґрунтовими водами надходить в джерела водопостачання.

Зміни екологічних чинників, викликані чимраз більшим антропогенним впливом, призводять до загрозливої ситуації щодо виживання живих організмів і здоров'я людини. Тому в комплексі заходів, спрямованих на запобігання негативним впливам на здоров'я, пов'язаних із чинниками водного середовища, важливе місце повинна займати

оцінка якості води, зокрема її безпечність для людини [1].

В останні роки з'являється все більше інформації про глобальне поширення нітратів як у воді, ґрунті, так і в харчових продуктах, і про згубний вплив нітратів на здоров'я людини.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. На організм живих істот впливають нітрати, які є одними небезпечних забруднювачів навколишнього середовища, оскільки основними джерелами надходження цих ксенобіотиків в організм людини є питна вода і харчові продукти [2].

Нітрати характеризуються досить широким спектром токсичної дії. Токсична дія нітратів полягає у тому, що в травному тракті вони частково відновлюються до нітритів (більш токсичних), і останні під час надходження в кров можуть викликати метгемоглобінемію, захворювання на метгемоглобінемію (MtHb). Під впливом деяких видів шлункових мікроорганізмів нітрати відновлюються до нітритів, які блокують утворення гемоглобіну тим, що, відновлюючись, переводять залізо з двовалентного в тривалентне [3], а також пригнічують активність ферментних систем, що беруть участь у процесах тканинного дихання.

Крім того, встановлено, що з нітритів у присутності амінів можуть утворюватись N-нітрозаміни, які виявляють канцерогенну активність. Під час вживання високих доз нітратів з питною водою чи харчовими продуктами через 4–6 годин проявляються характерні симптоми нітратного отруєння. Вода, забруднена нітратами, небезпечна для людей, а особливо для дітей у перші місяці життя. Одним із факторів, що роблять воду небезпечною, є нітрати, які під час перевищення вмісту в складі води призводять до тяжких захворювань, зокрема, до водно-нітратної метгемоглобінемії, яка може стати причиною смерті, а також впливають на роботу нервової та серцево-судинної систем і на розвиток ембріонів, а при довготривалому потраплянні можуть спричинити виникнення злоякісних пухлин, [2, 3].

Джерелами появи нітратів у довкіллі є природний шлях, під час окислення органічних сполук; азотні добрива і перегній; великі сільськогосподарські комплекси; міські звалища, транспорт і промисловість. Джерелами попадання нітратів в організм людини є овочі, фрукти та вода (особливо у системах забезпечення населення водою із відкритих водойм, річок). Що ж до кип'ятіння забрудненої нітратами води, то воно не зменшує, а, навпаки, збільшує її токсичність на 39–86%. Забруднена нітратами вода навіть в смертельних дозах – чиста, прозора, без запаху і видимих домішок, звичайна за смаком. Найбільший вміст нітратів, що часто в десятки разів перевищує допустиму норму, в питній воді у сільській місцевості. Це спричинено тим, що вода в селах фактично не контролюється. Згідно з санітарними правилами та нормами, у воді централізо-

ваного водопостачання вміст нітратів не повинен перевищувати 50 мг/дм³.

Актуальність і мета дослідження. Активне використання в сільському господарстві мінеральних добрив призводить до підвищення вмісту нітратів у ґрунтах, водах і рослинах. Проблема якості води в децентралізованих джерелах постачання загострюється тим, що приватні криниці, на відміну від джерел громадського користування, не підлягають постійному контролю, зокрема з боку СЕС. У їхнє поле зору вони потрапляють лише в межах здійснення загального санітарного нагляду або у випадках інфекційних спалахів.

У зв'язку із цим розробка ефективних методів оцінки як прямого, так і опосередкованого впливу техногенних та інших забруднювачів на живі організми стає все більш актуальною. Антропогенні зміни водних екосистем не можуть не відбиватися на фізіологічному стані гідробіонтів. Розробка оптимального для конкретних умов і одночасно технічно простого, універсального комплексу біотестів для виявлення токсичних факторів і речовин актуальна для визначення забруднення довкілля нітратами, зокрема оцінки якості природних і питних вод як на рівні організму, так і на рівні клітини, її геному.

Використання цито- і генотоксичних способів оцінки якості водного середовища за допомогою тест-організмів риб та жаб є універсальним, короткостроковим, простим і важливим біомаркером для виявлення токсичних речовин, що забруднюють довкілля [4]. Поширеність тестів із гідробіонтами пов'язана, з одного боку, зі зручністю їх утримання в лабораторних умовах, а з іншого – тим, що тест-організм перебуває безпосередньо в досліджуваному розчині, а також вони реагують на токсичний вплив подібно до ссавців [4; 5].

Для визначення токсичності води використовували організми риби й жаби та їх периферичну кров, які були в контрольній та у забрудненій нітратами воді.

Аналіз мікроядер, як метод дослідження генотоксичності та біомаркер генотоксичного ризику для людини останнім часом набуває все більшої популярності. В порівнянні з тестом на хромосомні аберації, підрахунок мікроядер є простішим, але не менш важливим методом, займає менше часу, тобто мікроядерний тест в силу своєї простоти та можливостей швидкого аналізу стає методом скринінгу хімічних з'єднань на генотоксичність. Ще однією перевагою цього методу є те, що він дозволяє проводити оцінку рівня хромосомних порушень по аналізу інтерфазного ядра, тобто не вимагає наявності клітин в мітозі на відміну від тесту на індукцію хромосомних аберацій [5; 6].

Для оцінки цитотоксичності водних зразків досліджують вплив токсичних речовин на тест-організм (рибу, жабу), а саме на їх клітини крові лейкоцити. У визначенні цитотоксичності водного середовища як біомаркер використовують формені

елементи крові, визначають кількість формених елементів (лейкоцитів), та за їх співвідношенням в контрольному і дослідному зразках здійснюють оцінку цитотоксичності водного середовища [4].

Таким чином, дослідження цитоморфологічних параметрів клітин крові дозволить одержати інформацію про стан імунітету особини, рівня впливу стресових чинників і стабільності геному (по частоті мікроядер та ядерних аномалій в еритроцитах), що в сукупності з іншими параметрами, одержуваними при популяційних дослідженнях (генотип, особливості морфології), може дати відомості, надзвичайно корисні у практичному й у теоретичному відношенні.

Матеріали та методи досліджень. В роботі аналізували зразки вод з вмістом нітратів (50 мг/дм³) та воду після очищення від нітратів. Контрольну воду готували в лабораторних умовах згідно з рекомендаціями ДСТУ 4174: 2003 (Державний стандарт України).

Біотестування проводили на 30 дорослих особинах риб *Danio rerio* масою тіла 2–4 грамів і шпорцевих жабах *Xenopus* масою тіла 50–80 грамів, культивованих в лабораторних умовах на базі Міжнародної Академії Екології та Медицини. Тест-організми були розділені на 3 групи по 10 особин. Кожну групу поміщали в акваріуми з контрольною, до і після очищення від нітратів, водою. Після експозиції через 96 годин у кожній особини з вени брали зразки крові. У риб кров брали з хвостової вени, у жаб – з вени задньої лапи. З відібраної крові робили мазки, фіксували 96% етиловим спиртом впродовж 30 хв., висушували та фарбували 15 хв. розчином азур-еозину за Романовським. Аналіз периферичної крові проводили за стандартною методикою [6]. Також визначали кількість клітин з мікроядрами та подвійними ядрами в контрольній та досліджуваній групах. Потім проводили порівняльний аналіз кількості утворених мікроядер та подвійних ядер. Частота утворення мікроядер (далі – МЯ) та подвійних ядер (далі – 2Я), а саме величина відхилення від контролю, була використана для оцінки генотоксичності води. Кількість клітин, проаналізованих для кожної риби, складала 3000.

Статистичну обробку отриманих результатів проводили з використанням методів варіаційної статистики за допомогою програм статистичного аналізу Microsoft Excel. Розраховували середнє арифметичне, середнє відхилення, похибку середнього арифметичного. Відмінність показників визначали по t-критерію Стьюдента [7].

Результати експерименту. Досліджені зразки вод, отримані після очищення від нітратів із використанням нових цитогенетичних підходів, з'ясовано принцип їх впливу на тест-організм (риби, жаби) та на їхні клітини – структурні та функціональні зміни геному (гено- та цитотоксичність). Проведені дослідження на клітинному рівні, а саме було показано зміни у лейкоцитарної формули крові риб *Danio rerio* та жаб *Xenopus*, а також генетичні зміни за мікроядерним тестом на клітинах крові – еритроцитах. Використання цих методів дає можливість визначення цитотоксичності та генотоксичності водного зразка на клітинному рівні.

Зразок води до очищення від нітратів негативно впливає на тест-організми та їх клітини. Спостерігалось у лейкоцитарної формули крові зменшення лімфоцитів внаслідок підвищення кількості лейкоцитів. Виявили аномалії ядер (мікроядра та подвійні ядра) в еритроцитах крові досліджуваних гідробіонтів. Спостерігали порушення процесів життєдіяльності у водних тварин у зразку води до очищення від нітратів, відбувалася загибель тест-організмів риби 70%, жаби 40%. Отримані дані в зразках води після очищення від нітратів були на рівні контролю. Результати дослідження впливу зразків вод до і після очищення від нітратів зображено в таблицях 1, 2.

У результаті проведеного експерименту, при дослідженні проб води до і після очищення від нітратів на клітинному рівні у риб *Danio rerio* та жаб *Xenopus* за показниками формених елементів периферичної крові, цитотоксичний ефект виявляла вода до очищення від нітратів в порівнянні з даними контрольної води. Збільшення кількості еозинофілів, базофілів і моноцитів в пробі вказує на прояву цитотоксичного ефекту, а дані води після очищення від нітратів наблизилися до показників контрольної води.

Таблиця 1

Зміна складу формених елементів крові *Danio rerio* та *Xenopus* в досліджуваних зразках води до і після очищення від нітратів

Клітини крові, %	Лімфоцити		Моноцити		Сегментоядерні нейтрофіли		Паличкоядерні нейтрофіли		Базофіли		Еозинофіли	
	риби	жаби	риби	жаби	риби	жаби	риби	жаби	риби	жаби	риби	жаби
Зразки води												
Контроль	86,7	84,9	4	5	5,2	6,2	1,6	1,8	1,7	1,6	0,8	0,5
До очищення 50 мг/дм ³	68,4	70,2	9,2	8,4	5,6	5,9	2,4	2,2	6,8	6,2	7,6	7,1
Після очищення	85,2	84,4	4	6	5,2	5,6	1,6	1,4	2,4	1,8	1,6	0,8

Генотоксичний вплив досліджуваних вод до і після очищення від нітратів на клітини крові *Danio rerio* та *Xenopus*

Тест-організми, Зразки води	риби, n=10		жаби, n=10	
	МЯ, г-‰	2N, г-‰	МЯ, г-‰	2N, г-‰
Контроль	0	0	0	0
До очищення, 50мг/дм ³ (риби 30%, жаби 60%*)	2,67	4	1,99	3,33
Після очищення	0	0	0	0

Примітка: г – кількість клітин з порушенням мітозу на 3000 клітин; МЯ – клітини з мікроядра; 2N – клітини з подвійними ядрами; * – кількість організмів, що вижили

За частотою еритроцитів з подвійними ядрами та мікроядрами в периферичній крові риб *Danio rerio* та *Xenopus* генотоксичний ефект проявила вода до очищення від нітратів від 1,99‰ до 4‰. У пробі після очищення від нітратів генотоксичний ефект не спостерігався у порівнянні з даними контрольної води. Досліджено вплив проби води до і після очищення від нітратів на показники структурної цілісності ядра клітин гідробіонтів, показано перспективність використання такого методу вивчення генотоксичних властивостей проб води.

Для визначення токсичності водного зразка до і після очищення води від нітратів запропоновано використання лейкоцитарної формули крові гідробіонтів як біомаркера. Визначення набору формених елементів крові – паличкоядерні нейтрофіли, сегментоядерні нейтрофіли, еозинофіли, базофіли, моноцити, лімфоцити – у досліджуваних риб та жаб, які перебували у контрольних та токсичних (до очищення від нітратів) водних зразках, дозволяє одержати повнішу картину впливу нітратів на тест-організм на клітинному рівні. Це своєю чергою підвищує чутливість і інформативність методу щодо оцінки цитотоксичності водного середовища.

Висновки. Отже, у результаті проведених досліджень було встановлено, що клітинні біомаркери та визначення формули крові додатково до стандартизованих тестів можуть бути використані для об'єктивної та всебічної оцінки токсичності органічних і неорганічних речовин і забруднення природних водойм різного ступеню.

Людина ризикує, регулярно вживаючи питну воду з нітратами (50 мг / дм³) і різними хімічними речовинами навіть в межах гранично допустимої концентрації. Система моніторингу якості вод в Україні, як і в більшості інших країн світу, дає оцінку перевищення хімічних елементів, в основному токсикантів, до їх показників, що лімітуються гранично допустимою концентрацією для водних об'єктів. Значення гранично допустимої концентрації на вимоги ДСанПіН практично не враховують специфіку формування якості вод, в тому числі поведінку антропогенних сполук і природну вразливість водних екосистем до дії забруднення і їх комбіновані ефекти. Також невідомо, наскільки ці ефекти небезпечні для живих організмів і життєдіяльності людини.

Література

1. Левич А. П., Булгаков Н.Г., Максимов В.Н. Теоретические и методические основы технологии регионального контроля природной среды по данным экологического мониторинга. Москва : НИИ-Природа, 2004. 71 с.
2. Gupta S.K., Gupta R.C., Gupta A.B., Seth A.K., Bassin J.K., Gupta A. Recurrent acute respiratory tract infection in areas with high nitrate concentrations in drinking water. *Environmental Health Perspectives*. 2000. Vol. 108. № 4. P. 363–366.
3. Патица В.П., Макаренко Н.А., Моклячук Л.І. Агроекологічна оцінка мінеральних добрив та пестицидів : монографія. Київ : Основа, 2005. 300 с.
4. Vergolyas M. Safety analysis of drinking water on the test-organisms. *Біоресурси і природокористування*. 2019. № 3–4. URL: <https://doi.org/10.31548/bio2019.03.004> (дата звернення: 05.08.2019).
5. Tsangaris C., Vergolyas M., Fountoulaki E., Nizheradze K. Oxidative stress and genotoxicity biomarker responses in grey mullet (*Mugil cephalus*) from a polluted environment in Saronikos Gulf, Greece. *Achieves of Environmental Contamination and Toxicology*. 2011. № 61. P. 482–490.
6. ДСТУ 7387: 2013 Якість води. Метод визначення цито- та генотоксичності води і водних розчинів на клітинах крові прісноводної риби Даніо реріо (*Brachydanio rerio* Hamilton-Buchanan). [Чинний від 2013-07-01]. Київ, 2013. 26 с. (Інформація та документація).
7. Антомонов М.Ю. Математическая обработка и анализ медико-биологических данных. Киев, 2006. 558 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ АКТУАЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МІКРОЯДЕРНОГО ТЕСТУ ДЛЯ ЗАХИСТУ ВОДНОЇ ЕКОСИСТЕМИ ВІД ВПЛИВУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН

Крайнюков О.М.¹, Деменко А.В.²

¹Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
майд. Свободи, 6, 61022, м. Харків

²НДУ «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»
вул. Бакуліна, 6, 61166, м. Харків
alkraynukov@gmail.com, an.v.demenko@gmail.com

Надходження до поверхневих вод небезпечних хімічних речовин є актуальною проблемою в галузі нормування якості поверхневих вод різних країн. Особливу небезпеку становлять речовини генотоксичної дії. Мета статті – дослідити актуальність використання мікроядерного тесту як інструменту для запобігання генотоксичного впливу небезпечних хімічних речовин на водні екосистеми та здоров'я людини. Для досягнення поставленої мети авторами було проаналізовано останні наукові роботи за визначеною вище тематикою, які представлені в періодичних виданнях на таких платформах, як PubMed, Scopus, Google Scholar, Wiley тощо. На основі останніх світових наукових досягнень було проведено дослідження актуальності використання мікроядерного тесту як інструменту для запобігання генотоксичного впливу небезпечних хімічних речовин на водні екосистеми та здоров'я людини. Незважаючи на те, що цей метод не є новим, зацікавленість наукового співтовариства до нього не згасає. Про це свідчить позитивна динаміка застосування мікроядерного тесту в роботах, опублікованих на платформі PubMed. Мікроядерний тест використовується як у процесі виявлення генотоксичних властивостей окремих хімічних речовин чи сумішей, так і в біомоніторингових дослідженнях поверхневих вод. Основну увагу авторами приділяють зарубіжним і вітчизняним роботам, в яких науковці використовували як тест-організми риб для виявлення генотоксичних властивостей різних хімічних речовин у воді за допомогою мікроядерного тесту. Цей вибір пояснюється наявністю подібної тест-реакції в риб і ссавців, зокрема людини, на вплив небезпечних хімічних речовин. Для підвищення рівня захисту поверхневих водних об'єктів України та джерел питного водопостачання пропонується використовувати мікроядерний тест у процесі встановлення екологічних стандартів якості – норм якості води, дотримання яких дасть змогу захищати водну екосистему та здоров'я людини від шкідливого впливу небезпечних речовин. *Ключові слова:* поверхневі води, водна екосистема, генотоксичність, мікроядерний тест, хімічні речовини.

Research of the relevance of using the micronuclear test to protect the aquatic ecosystem from exposure to hazardous chemicals.
Krainiukov O., Demenko A.

The entry into the surface water bodies of hazardous chemicals is an urgent problem in the field of surface water quality management in different countries. Substances of genotoxic action are of particular danger. Purpose. To investigate the relevance of using micronucleus test as a tool for prevention of genotoxic impact of hazardous chemicals on aquatic ecosystems and human health. Methods. To achieve this purpose, the authors analyzed the latest scientific work on the above topics, which are presented in periodicals on platforms such as PubMed, Scopus, Google Scholar, Wiley and others. Results. Based on the latest world scientific achievements, a study was conducted on the relevance of using the micronucleus test as a tool to prevent genotoxic effects of hazardous chemicals on aquatic ecosystems and human health. Despite the fact that this method is not new, the interest of the scientific community in it does not fade. This is evidenced by the positive dynamics of the use of micronucleus test in studies published on the PubMed platform. The micronucleus test is used both in the detection of genotoxic properties of individual chemicals or mixtures, as well as in biomonitoring studies of surface waters. The authors focus on foreign and native works in which scientists used fish to detect genotoxic properties of various chemicals in water using a micronucleus test. This choice is due to the presence of a similar test reaction in fish and mammals, in particular humans, to the effects of hazardous chemicals. Conclusions. To increase the level of protection of surface water Ukraine and sources of drinking water, it is proposed to use micronucleus test in setting environmental quality standards – standards of water quality, compliance with which will protect aquatic ecosystems and human health from the harmful effects of hazardous substances. *Key words:* surface water, aquatic ecosystem, genotoxicity, micronucleus test, chemicals.

Постановка проблеми. Норми якості води поверхневих вод, які встановлені відповідно до положень Водної Рамкової Директиви 2000/60/ЄС (ВРД) [1], застосовуються до всіх поверхневих водних об'єктів, включаючи водні об'єкти, які є джерелами питного водопостачання. У процесі подачі питної води до споживача мають вже виконуватись жорсткіші вимоги до якості води,

які встановлені Директивою Про Питну Воду 98/83/ЄС [2].

Зв'язок між цими Директивами представлений у статті 7 ВРД. В ній зазначається необхідність забезпечення державами необхідного рівня захисту поверхневих водних об'єктів. Дотримання цієї статті дає змогу зменшити витрати на підготовку води відповідної якості для задоволення питних потреб населення.

Надходження до поверхневих вод небезпечних хімічних речовин є актуальною проблемою для України. Вона опосередкована необхідністю в забезпеченні захисту водної екосистеми та здоров'я людини від речовин, які можуть призводити від токсикологічних наслідків до порушень генетичної інформації в клітинах організму, мутагенних та канцерогенних наслідків.

Серед безлічі методів із визначення аномалій у розвитку таких важливих компонентів ядра клітини як хромосом та генів, які відповідають за збереження генетичної інформації, використовуються переважно такі цитогенетичні методи: визначення зміни частоти хромосомних аберацій, частоти мікроядер, порушення ДНК методом Comet тесту та Fish тестом [3]. Мікроядерний тест є порівняно простим, надійним і чутливим методом, для застосування якого необхідна мінімальна кількість обладнання [3]. Мікроядра, більш відомі як тільця Жоллі, були відкриті більше 50 років тому і як біомаркери генетичних порушень у клітинах були описані в подальших дослідженнях [4].

Мета роботи – здійснити дослідження актуальності використання мікроядерного тесту як інструменту для запобігання генотоксичного впливу небезпечних хімічних речовин на водні екосистеми та здоров'я людини.

Об'єктом дослідження є мікроядерний тест та його застосування науковцями в сучасній світовій практиці для захисту водної екосистеми.

Для досягнення поставленої мети було проаналізовано останні наукові роботи за визначеною вище тематикою, які представлені в періодичних виданнях на таких платформах, як PubMed, Scopus, Google Scholar, Wiley тощо.

Виклад основного матеріалу. Мікроядра утворюються з хромосомного матеріалу наступним чином. У процесі мітозу цей матеріал потрапляє лише в одну з дочірніх клітин. Там він може лока-

лізуватись в основне ядро або ж сформувати одне або кілька так званих «мікроядер» [5]. Причина ж їх утворення пояснюється наступними порушеннями клітинного механізму. Так, мікроядра, які несуть хромосомні фрагменти, виникають після прямих розривів ДНК, реплікації на ушкодженій ДНК-основі, репресії синтезу ДНК. Своєю чергою мікроядра, які включають цілі хромосоми, утворюються внаслідок порушень веретена розподілу, кинетохора або інших частин мітотичного апарата [3]. Цей феномен можна спостерігати в різних клітинах, однак легше за все проводити випробування з еритроцитами, оскільки ці клітини позбавлені основного ядра [5].

Основним показником тесту є частота виникнення клітин із мікроядрами. Іншим показником є частота виникнення клітин із подвійними ядрами [3]. Вибираючи досліджувані концентрації хімічної речовини, що нормується, необхідно дотримуватись певних вимог. Насамперед необхідно брати в серію досліджуваних концентрацій ту концентрацію речовини, яка є максимально неефективною, та концентрацію, при якій спостерігається максимальний ефект. Кількість аналізованих препаратів визначається постановкою експериментів. Однак мінімальна кількість досліджуваних еритроцитів на досліджувану вибірку, яка відповідає впливу хімічної речовини в одній визначеній концентрації з серії на тест-організм, не має бути меншою 4000 клітин [5].

Незважаючи на те, що цей метод не є новим, зацікавленість наукового співтовариства до його як інструменту з визначення генотоксичних аномалій в організмів не згасає. Про це свідчить наявність низки не тільки оглядових досліджень, а й прикладних [6–8].

Загальна динаміка використання цього методу протягом багатьох років авторами робіт, які були опубліковані на одній із найбільш відомих інформаційних наукових платформ PubMed, представлена на рис. 1.

Численні дослідження включають мікроядерний тест для виявлення пошкоджень ДНК і генотоксичних

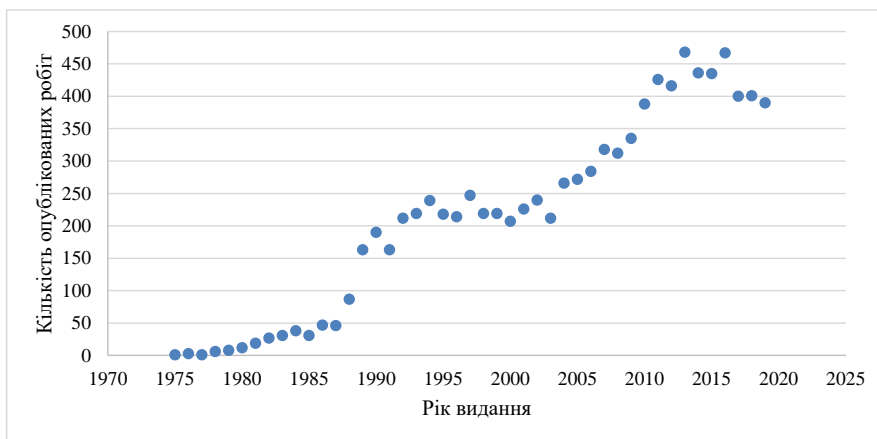


Рис. 1. Динаміка використання мікроядерного тесту в роботах, опублікованих на платформі PubMed

властивостей хімічних і радіоактивних речовин. У роботі [9] зазначається, що результати, які отримуються за допомогою такого методу, є подібними до результатів, які отримуються під час проведення аналізу фосфорилювання гістонового білку H2AX і Comet тесту, які більш трудомісткі і фінансово витратні.

Мікроядерний аналіз використовується як у процесі виявлення генотоксичних властивостей окремих хімічних речовин чи сумішей, так і в біомоніторингових дослідженнях поверхневих вод [10; 11].

Поширення набуло використання риб для виявлення генотоксичних властивостей хімічних речовин у воді за допомогою мікроядерного тесту. Оскільки ці тест-організми зазвичай реагують на небезпечні речовини подібно до ссавців, зокрема подібно до людини. Цим пояснюється використання риб як модельних тест-організмів під час проведення випробувань із визначення потенційно небезпечних для людини генотоксичних речовин [3].

У роботі [12] досліджено вплив рівня забрудненості поверхневих вод на риб *Wallago attu* і *Cirrhinus mrigala* за допомогою мікроядерного тесту та проведених гістопатологічних досліджень. Авторами було визначено наявність мікроядерних аномалій у клітинах риб, відібраних із більш забруднених ділянок річок.

У роботі [13] мікроядерний тест проводився на клітинах ракоподібних *Acanthocyclops robustus* і *Diaphanosoma mongolianum*, середовищем існування яких є забруднені органічними і неорганічними речовинами антропогенного походження водосховища Туніса. Авторами було визначено високу частоту клітин із мікроядрами протягом літа.

У роботі [14] авторами визначено високу частоту мікроядер у клітинах риб *Bathygobius soporator*, які були виловлені в місцях скиду міських і промислових стічних вод Бразилії. Подібний вплив забрудненої водної екосистеми річок у Косово було виявлено під час дослідження клітин риб *Rutilus rutilus* [15].

Про актуальність використання мікроядерного тесту в біомоніторингових дослідженнях зазначається і у вітчизняних роботах. Такий висновок було зроблено на основі дослідження репрезентативних створів нижньої течії р. Горинь на периферичній крові різних видів риб: верховодка (*Alburnus alburnus*), плітка (*Rutilus rutilus*), краснопірка (*Scardinius erythrophthalmus*), окунь річковий (*Perca fluviatilis*), карась сріблястий (*Carassius auratus gibelio*), лящ (*Abramis brama*) [16].

У роботі [8] авторами на основі аналізу наукової літератури робиться висновок про універсальність у використанні мікроядерного тесту на еритроцитах риб при визначенні впливу біотичних і абіотичних факторів для оцінки уразливості гідроєкосистем (так званого «здоров'я гідроєкосистем»).

Генетичний моніторинг цінних риб України за допомогою мікроядерного тесту пропонують проводити автори робіт [17; 18].

Як вже зазначалось вище, мікроядерний аналіз широко використовується для скринінгу нових хімічних речовин чи сумішевих препаратів на предмет їх генотоксичності, про що зазначається в роботах нижче.

Так, у статті [19] представлено вплив наночастинок цинку на клітини риб *Oreochromis niloticus*. За результатами дослідження авторами було виявлено наявність ядерних аномалій в еритроцитах при впливі наночастинок цинку протягом 7, 14 та 28 днів.

Вплив наночастинок циперметрину (CupNPs) та циперметрину (Cup) за допомогою мікроядерного тесту досліджено на *Channa punctatus*. Авторами визначено підвищену кількість мікроядерних аномалій у випробуваннях із циперметрином (Cup) [20].

Цитогенетичну дію фулерена C₆₀ на прісноводних риб *Anabas testudineus* досліджено у роботі [21]. Ця речовина широко використовується в медицині, косметології, промисловості тощо. Серйозні ядерні аномалії за допомогою мікроядерного тесту були зафіксовані в еритроцитах, зябрах та клітинах печінки при впливі наноматеріалів у концентраціях 5 мг/дм³ та 10 мг/дм³.

Особливу небезпеку для водної екосистеми становлять пестициди, які широко використовуються в сільському господарстві і потрапляють до неї з фермерських угідь. Дослідження генотоксичного впливу цих речовин представлено нижче.

Небезпечний вплив комерційного продукту на основі тебуконазолу на предмет генотоксичності було досліджено авторами у роботі [22]. Випробувану речовину тестували на рибах *Danio rerio* в концентраціях 0, 100, 200 і 300 мкг/дм³. На основі проведеного дослідження у дорослих особин зазначених тест-організмів спостерігали не тільки порушення неврологічної функції у вигляді аномальної поведінки, а й генотоксичний ефект як наслідок дії речовини.

Генотоксичну дію фосфорорганічного пестициду хлорпірифосу за допомогою мікроядерного тесту визначено на рибах *Cyprinus carpio*, *Labeo rohita*, *Cnesterodon decemmaculatus* [23–25]. Ця речовина належить до Переліку пріоритетних забруднюючих речовин, які підлягають обов'язковому моніторингу у водному середовищі відповідно до Директиви 2013/39/ЄС [26]. У дослідженні [23] зазначається про наявність шкідливого впливу на організми навіть у порогових значеннях досліджуваних концентрацій.

Небезпечність імідаклопіда для генетичного матеріалу *Misgurnus anguillicaudatus* та *Prochilodus lineatus*, яка визначена за допомогою мікроядерного тесту, представлена у роботах [27; 28]. Аномальна поведінка при впливі цієї речовини спостерігалась під час проведення досліджень на *Danio rerio* та *Gobiocypris rarus* [29, 30].

Нині мікроядерний тест входить до набору тестів із проведення випробувань фармацевтичних препаратів для використання їх людиною, про що зазна-

чається в керівництві про тестування генотоксичності та інтерпретацію даних для фармацевтичних препаратів, призначених для використання людиною (ICH guideline S2 (R1)) [31], яке впроваджено в дію Європейським агентством із лікарських засобів (англ. European Medicines Agency, EMA). Метою цього документа її є прогнозування потенційних ризиків шляхом використання стандартного генотоксикологічного набору тестів, які прийняті і узгоджені на міжнародному рівні. Також мікроядерний тест входить до набору тестів для ідентифікації властивостей хімічної речовини відповідно до Регламенту Про реєстрацію, оцінку, авторизацію і обмеження хімічних речовин та препаратів (REACH, Annex VIII) № 1907/2006 від 18.12.2006 Європейського агентства хімічних речовин (англ. The European Chemicals Agency, ECHA) [32].

Головні висновки. Мікроядерний тест використовується як при виявленні генотоксичних

властивостей окремих хімічних речовин чи сумішей, а також у біомоніторингових дослідженнях поверхневих вод. Основну увагу авторами приділено зарубіжним і вітчизняним роботам, в яких науковці використовували риб для виявлення генотоксичних властивостей різних хімічних речовин у воді за допомогою мікроядерного тесту. Цей вибір пояснюється наявністю подібної тест-реакції у риб і ссавців, зокрема людини, на вплив небезпечних хімічних речовин.

На основі проведеного дослідження для підвищення рівня захисту поверхневих водних об'єктів України та джерел питного водопостачання, пропонується використовувати мікроядерний тест при встановленні екологічних стандартів якості – норм якості води, дотримання яких дозволить захищати водну екосистему та здоров'я людини від шкідливого впливу небезпечних речовин.

Література

1. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of establishing a framework for Community action in the field of water policy (2000). URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2000/60/oj>
2. Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/1998/83/2015-10-27>
3. Архипчук В.В. Исследования в области цитологии рыб и биотестирования. *Сборник науч. трудов / Под ред. Малиновской М.В.* Киев : «Реликвии», 2008. 536 с.
4. Evans H.J., Neary G.J. & Williamson F.S. The Relative Biological Efficiency of Single Doses of Fast Neutrons and Gamma-rays on Vicia Faba Roots and the Effect of Oxygen, *International Journal of Radiation Biology and Related Studies in Physics, Chemistry and Medicine*, 1959. 1:3. P. 216–229. DOI: 10.1080/09553005914550311
5. Руководство по краткосрочным тестам для выявления мутагенных и канцерогенных химических веществ. Гигиенические критерии состояния окружающей среды 51. Всемирная организация здравоохранения Женева, 1989. 211 с. URL: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/144096/5225018343.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
6. Ren N, Atyah M, Chen WY, Zhou CH. The various aspects of genetic and epigenetic toxicology: testing methods and clinical applications. *J. Transl Med.* 2017. 15(1):110. DOI: 10.1186/s12967-017-1218-4
7. Sommer S, Buraczewska I, Kruszewski M. Micronucleus Assay: The State of Art, and Future Directions. *Int J Mol Sci.* 2020. 21(4):1534. DOI: 10.3390/ijms21041534
8. Klimenko N.A., Pylypenko Y.V., and Biedunkova O.O. Health assessment of hydro-ecosystems based on homeostasis indicators of fish: review of approaches. *Biosystems Diversity*, vol. 24. no. 1. 2016. P. 61–71. DOI: 10.15421/011607
9. Luzhna L, Kathiria P, Kovalchuk O. Micronuclei in genotoxicity assessment: from genetics to epigenetics and beyond. *Front Genet.* 2013. 4:131. DOI: 10.3389/fgene.2013.00131
10. Al-Sabti K, Metcalfe C D. Fish micronuclei for assessing genotoxicity in water. *Mutat Res.* 1995. 343(2-3). 121-35. DOI: 10.1016/0165-1218(95)90078-0
11. Farag M R., Alagawany M. Erythrocytes as a biological model for screening of xenobiotics toxicity. *Chem Biol Interact.* 2018. 5; 279:73–83. DOI: 10.1016/j.cbi.2017.11.007
12. Hussain B., Fatima M., Al-Ghanim K.A., Al-Misned F., Mahboob S. Assessment of DNA integrity through MN bioassay of erythrocytes and histopathological changes in *Wallago attu* and *Cirrhinus mirigala* in response to freshwater pollution. *Saudi J Biol Sci.* 2020. 27(1):251–260. DOI: 10.1016/j.sjbs.2019.09.003
13. Barka, S., Gdara, I., Ouanes-Ben Othmen, Z. *et al.* Seasonal ecotoxicological monitoring of freshwater zooplankton in Bir Mcherga dam (Tunisia). *Environ Sci Pollut Res.* 2020. 27. 5670–5680. DOI: 10.1007/s11356-019-04271-6
14. Galindo TP, Moreira LM. Evaluation of genotoxicity using the micronucleus assay and nuclear abnormalities in the tropical sea fish *Bathygobius soporator* (Valenciennes, 1837) (Teleostei, Gobiidae). *Genet Mol Biol.* 2009. 32(2). 394–398. DOI:10.1590/S1415-47572009000200029
15. Asllani F.H., Schürz M., Bresgen N., Eckl P.M., Alija A.J. Genotoxicity risk assessment in fish (*Rutilus rutilus*) from two contaminated rivers in the Kosovo. *The Science of the Total Environment.* 2019. 676. 429–435. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.04.321.
16. Бедункова О.О. Генотоксичний моніторинг водного середовища у нижній течії річки Горинь. *Агроекологічний журнал.* 2017. № 1. С. 36–42. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrog_2017_1_7.
17. Тарасюк С.І., Нагорнюк Т.А., Маріуца А.Е., Бочков В.М., Глушко Ю.М., Борисенко Н.О., Мендришора П.Д. Генетична оцінка окремих популяцій цінних видів риб України. Інститут рибного господарства НААН, Київ. 2016. URL: <https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/34757>
18. Грициняк І.І., Тарасюк С.І., Залоїло О.В., Маріуца А.Е., Глушко Ю.М., Габуда О.А. Генетична структура сазана амурського ТзОВ Карпатський водограй. *Вісник аграрної науки.* 2018. № 7. С. 37–45. DOI: 10.31073/agrovisnyk201807-06

19. Abdel-Khalek, A. A., Morsy, K. & Shati, A. Comparative Assessment of Genotoxic Impacts Induced by Zinc Bulk- and Nano-Particles in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Bull Environ Contam Toxicol*. 2020. 104. 366–372. DOI: 10.1007/s00128-020-02799-9
20. Amjad S., Sharma A.K., Serajuddin M. Toxicity assessment of cypermethrin nanoparticles in *Channa punctatus*: Behavioural response, micronuclei induction and enzyme alteration. *Regul Toxicol Pharmacol*. 2018. 100. 127–133. DOI: 10.1016/j.yrtph.2018.10.004.
21. Sumi N, Chitra KC. Cytogenotoxic effects of fullerene C₆₀ in the freshwater teleostean fish, *Anabas testudineus* (Bloch, 1792). *Mutat Res*. 2019. 847. 503104. DOI: 10.1016/j.mrgentox.2019.503104.
22. Castro, Tássia Flávia Dias, et al. Anxiety-associated behavior and genotoxicity found in adult *Danio rerio* exposed to tebuconazole-based commercial product. *Environmental toxicology and pharmacology*. 2018. 62. 140–146. DOI: 10.1016/j.etap.2018.06.011.
23. Mitkovska, V., & Chassovnikarova, T. Chlorpyrifos levels within permitted limits induce nuclear abnormalities and DNA damage in the erythrocytes of the common carp. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020. 27(7). 7166–7176. DOI: 10.1007/s11356-019-07408-9
24. Ismail, M., Ali, R., Shahid, M., Khan, M. A., Zubair, M., Ali, T., & Mahmood Khan, Q. Genotoxic and hematological effects of chlorpyrifos exposure on freshwater fish *Labeo rohita*. *Drug and chemical toxicology*. 2018. 41(1). 22–26. DOI: 10.1080/01480545.2017.1280047
25. Vera-Candioti, J., Soloneski, S., & Larramendy, M. L. Chlorpyrifos-based insecticides induced genotoxic and cytotoxic effects in the ten spotted live-bearer fish, *Cnesterodon decemmaculatus* (Jenyns, 1842). *Environmental toxicology*. 2014. 29(12). 1390–1398. DOI: 10.1002/tox.21869
26. Directive 2013/39/EU of the European Parliament and of the Council of 12 August 2013 amending Directives 2000/60/EC and 2008/105/EC as regards priority substances in the field of water policy. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2013/39/oj>
27. Xia, X., Xia, X., Huo, W., Dong, H., Zhang, L., & Chang, Z. Toxic effects of imidacloprid on adult loach (*Misgurnus anguillicaudatus*). *Environmental toxicology and pharmacology*. 2016. 45. 132–139. DOI: 10.1016/j.etap.2016.05.030
28. Alvim, T. T., & dos Reis Martinez, C. B. Genotoxic and oxidative damage in the freshwater teleost *Prochilodus lineatus* exposed to the insecticides lambda-cyhalothrin and imidacloprid alone and in combination. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*. 2019. 842. 85–93. DOI: 10.1016/j.mrgentox.2018.11.011
29. Hong, X., & Zha, J. Fish behavior: A promising model for aquatic toxicology research. *Science of the total environment*. 2019. 686. 311–321. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.06.028
30. Morrissey, C.A., Mineau, P., Devries, J.H., Sanchez-Bayo, F., Liess, M., Cavallaro, M.C., & Liber, K. Neonicotinoid contamination of global surface waters and associated risk to aquatic invertebrates: a review. *Environment international*. 2015. 74. 291–303. DOI: 10.1016/j.envint.2014.10.024
31. ICH guideline S2 (R1) on genotoxicity testing and data interpretation for pharmaceuticals intended for human use. URL: <https://www.ema.europa.eu/en/ich-s2-r1-genotoxicity-testing-data-interpretation-pharmaceuticals-intended-human-use>.
32. Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), establishing a European Chemicals Agency, amending Directive 1999/45/EC and repealing Council Regulation (EEC) No 793/93 and Commission Regulation (EC) No 1488/94 as well as Council Directive 76/769/EEC and Commission Directives 91/155/EEC, 93/67/EEC, 93/105/EC and 2000/21/EC. URL: <http://data.europa.eu/eli/reg/2006/1907/2014-04-10>.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ БІОТЕСТУВАННЯ У МОНІТОРИНГОВИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ ПРИРОДНИХ ПОВЕРХНЕВИХ ТА ПІДЗЕМНИХ, А ТАКОЖ ПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД

Саламатін Д.М., Дігтяр С.В.

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук, Полтавська область
sergiusvictor@gmail.com

Проведено біотестування проб природних підземних і поверхневих, а також промислових стічних вод. Об'єктом досліджень, проведених протягом 2019 – початку 2020 рр., були проби природних поверхневих і підземних вод, відібраних на території промислових підприємств, а також вода поверхневого джерела централізованого питного водопостачання комунального підприємства «Кременчукводоканал». Також було проведено роботи з визначення фактичного рівня токсичності й радіоактивності зворотної води двох випусків Криворізького заводу приватного акціонерного товариства «ХайдельбергЦемент Україна». В ході процедури біотестування було застосовано методику, передбачену національним стандартом визначення якості води, що передбачає використання як тест-об'єктів типових мешканців місцевих гідроєкосистем, представників гіллястовусих рачків виду *Daphnia magna* Straus. Методика ґрунтується на встановленні різниці між кількістю загиблих дафній у воді, що тестується (дослід), та воді, в якій дафнії утримуються (контроль). Критерієм гострої токсичності є загибель 50% дафній і більше в досліді в порівнянні з контролем за 48 годин біотестування. Біотестування проводили за стандартних умов у термолюмінестаті при температурі (25 ± 2) °С, освітленості 400–600 люкс, тривалості світлого періоду 16 год, темного – 8 год. Для контролю та приготування розбавлень води використовували питну воду, яку попередньо дехлорували шляхом відстоювання. Здійснено порівняльний аналіз отриманих результатів. Виявлена гостра токсична дія в ряді проб і здійснено спробу пояснити результат. Висока практичність і корисність процедури біотестування була доведена експериментально з використанням як тест-об'єктів представників різних таксономічних груп. *Ключові слова:* біотестування, тест-об'єкт, *Daphnia magna*, гостра токсична дія, моніторингові дослідження, токсиканти, промислові стічні води.

Application of biotesting methods in monitoring research natural surface and underground, and also industrial waste water. Salamatin D., Digtiar S.

The biotesting samples of natural underground and surface water, as well as industrial water was carried out. The object of research conducted during 2019 – early 2020 were samples of natural surface and groundwater taken on the territory of industrial enterprises, as well as water from the surface source of centralized drinking water supply KP “Kremenchukvodokanal”. Work was also carried out to determine the actual level of toxicity and radioactivity of the return water of two issues of the Kryvyi Rih plant of PJSC “HeidelbergCement Ukraine”. During the biotesting procedure, the method provided by the national standard for determining water quality was applied, which provides for the use as test objects of typical inhabitants of local hydroecosystems, representatives of *Daphnia magna* Straus. The method is based on establishing the difference between the number of dead daphnia in the tested water (experiment) and the water in which the daphnia is kept (control). The criterion of acute toxicity is the death of 50% of daphnia and more in the experiment compared with the control for 48 hours of biotesting. Biotesting was performed under standard conditions in a thermoluminescent temperature (25 ± 2) °C, illumination 400–600 lux, duration of light period 16 hours, dark period – 8 hours. Drinking water, which was previously dechlorinated by settling, was used to control and prepare water dilutions. In the course of the procedure, the test procedure was staged, transferred to the national standard for the definition of water quality, transmission of the test as standard test cases of typical industrial systems, a representative of the city district. The comparative analysis of the received results is carried out. Acute toxicity was detected in a number of samples and an attempt was made to explain the result. The high practicality and usefulness of the biotesting procedure has been proven experimentally with the use of representatives of different taxonomic groups as test objects. *Key words:* bioassay, test report, *Daphnia magna*, acute toxic effect, monitoring studies, toxicants, industrial wastewater.

Постановка проблеми. Вода – основа всіх життєвих процесів. Вона присутня у всій біосфері: не тільки у водоймах, але й у повітрі, ґрунті, у всіх живих організмах. Усі живі істоти містять до 80–90 % води у своїй біомасі. Втрата 10–20% води живими організмами спричиняє їх загибель. Вона незамінна для збереження екосистем, для економічного та соціального розвитку суспільства. Вода є власністю всього людства. Необхідно співпрацювати з країнами, що здійснюють транскордонний захист поверхневих та підземних запасів прісної

води. Вода є стратегічною сировиною № 1 для XXI століття

Неухильне зростання антропогенного навантаження на екосистеми та пов'язане з ним забруднення навколишнього, зокрема водного середовища, обумовлює гостру актуальність проблеми індикації стану довкілля. Починаючи з другої половини минулого століття на європейських підприємствах, де технологічний процес передбачає скидання промислових стічних вод у природні водойми, поряд з фізичними та хімічними методами оцінки якості

водойм почав широко застосовуватися метод біотестування. Його принциповою особливістю є використання в якості тест-об'єктів живих організмів. До переваг такої методики перед традиційними можна віднести простоту проведення процедури й економічність (не потребує складного обладнання та цінних реактивів), швидкість отримання результатів та їх висока інформативність (результати короточасного біотестування можуть бути отримані протягом годин, а в якості тест-об'єктів використовуються типові представники водних екосистем). Все це зумовило впровадження такої технології й на території нашої держави.

Найповніша оцінка еколого-токсикологічного стану водних об'єктів ґрунтується на використанні даних біотестування у комплексі з даними гідробіологічного і хімічного аналізів.

Постановою Кабінету Міністрів України № 1100 від 11 вересня 1996 року «Про порядок розроблення і затвердження нормативів гранично допустимого скидання забруднюючих речовин та перелік забруднюючих речовин, скидання яких нормується», до списку речовин, які нормуються, включено показник «Рівень токсичності води», який визначається на основі біотестування. Використання методу біотестування при аналізі проб води надає значні переваги щодо встановлення рівня екологічної безпеки досліджуваного об'єкту.

Чинний натепер в Україні документ «Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями» був розроблений у 1998 році. Відтоді відбулися значні зміни у водоохоронній практиці більшості країн Європи. У 2000 році була введена у дію Водна Рамкова Директива Європейського Союзу (далі – ЄС) 2000/60/ЄС [1; 2], яка визначила основні пріоритети у водоохоронній діяльності та шляхи досягнення доброго стану поверхневих вод. Згідно із цим документом, головним питанням при оцінці якості поверхневих вод є визначення структурних та функціональних показників біологічної складової водних екосистем як основного чинника забезпечення стабільності умов відтворення водних ресурсів. Протягом наступного десятиліття було виконано значну роботу щодо інтеркалібрації біологічних методів оцінки якості поверхневих вод у країнах ЄС. Провідними фахівцями країн ЄС був розроблений комплекс методичних керівництв щодо проведення аналізу стану різнотипних водних об'єктів та представлення його результатів. Підготовлено рекомендації щодо втілення положень Водної Рамкової Директиви ЄС 2000/60/ЄС у водоохоронну практику країн Східної Європи. Ці обставини обумовили необхідність коригування діючої в Україні методики екологічної оцінки якості поверхневих вод, перш за все щодо підвищення ролі біологічного аналізу, розширення переліку біологічних показників і введення принципу оцінювання якості вод на основі порівняння з еталонними умовами.

В наш час відповідно до наказу Держспоживстандарту України від 10 червня 2003 р. № 100 з 2004–07–01 як національний стандарт України застосовується ДСТУ 4173:2003 (ISO 6341:1996, MOD) «Якість води. Визначення гострої летальної токсичності на *Daphnia magna* Straus та *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (*Cladocera, Crustacea*)» [3], а також ДСТУ 7387:2013 «Якість води. Метод визначення цито- та генотоксичності води і водних розчинів на клітинах крові прісноводної риби Даніо реріо (*Brachydanio rerio* Hamilton–buchanan)» [4], який було прийнято та набув чинності відповідно до наказу Мінекономрозвитку України від 11 червня 2013 р. № 622 з 2014–07–01.

Матеріал і результати досліджень. Методи біотестування питних вод, будучи одними з сучасних біологічних методів контролю якості питних вод, набувають все більшої актуальності і значимості за визначенням токсикантів у водному середовищі. Показником стану живих організмів є ефективність фізіологічних процесів, що забезпечують нормальну життєдіяльність організму. Розглянуто біологічні методи контролю якості води, які засновані на використанні для вимірювання реакцій біологічних об'єктів фізіологічних і поведінкових характеристик, та доцільність використання батареї тестів [4; 5].

Води більшості поверхневих джерел питного водопостачання України характеризуються помірним і високим рівнем забруднення. Нині майже немає поверхневої водойми, яку можна віднести до водойм першої категорії за ступенем забрудненості води та екологічним станом [1]. Основними забруднювальними речовинами впродовж багатьох років залишаються органічні речовини, синтетичні поверхнево-активні речовини, важкі метали, радіонукліди, пестициди тощо. Останнім десятиліттям їх накопичення інтенсивно збільшується через забруднювачі, що потрапляють у водойми внаслідок застосування сучасних інноваційних технологій у сільськогосподарському виробництві та промисловості, зокрема наночастинки штучного походження, які істотно відрізняються від решти складових води за фізико-хімічними та біологічними властивостями [2]. Вивчення впливу таких частинок на стан водних екосистем достатньою мірою ще не проводилось. Вказані зміни у складі природних вод відбуваються на фоні вже давно існуючого низького рівня (або взагалі відсутності) процесів самоочищення водних об'єктів. За таких умов різко ускладнюється можливість отримання якісної питної води, оскільки водопровідні станції не здатні ефективно затримувати більшість техногенних хімічних речовин [1; 2].

Основою біотестування якості води є відповідна тест-реакція різних організмів на пригнічувальний чи згубний вплив токсичних речовин, які потрапили у воду. Тест-об'єктами можуть бути істоти всіх таксономічних груп – від бактерій до ссавців. Біотестування є можливим на всіх рівнях організації

живої матерії (генетичному, цитологічному, гістологічному та інших). Проте лише незначну частину організмів визнано уніфікованими (водорості, інфузорії, риби гупі та форель, планктонні рачки, цибуля звичайна, салат посівний тощо), на основі чого і були розроблені стандартні досліди [6].

У багатьох дослідженнях було продемонстровано [4–7], що ефективність методу біотестування істотно зростає за використання не поодиноких організмів (навіть якщо вони уніфіковані), а так званих наборів тест-об'єктів, до складу яких входять тваринні та рослинні форми. Серед тваринних форм найчастіше використовують дафній (*Daphnia magna Straus*) стандартизовані тест-організми, а рослинні форми (як додаткові до уніфікованих дафній) часто репрезентують *Allium cepa L.* та *Lactuca sativa L.* Упродовж тривалого часу подібні набори тест-об'єктів застосовували для визначення токсичності природних та стічних вод, а з розробкою ДСанПіНу 2.2.4-171-10 їх використання було «перенесено» і на питну воду. Однак для біотестування токсичності питної води, що є значно чистішою порівняно з іншими водами, традиційні тест-об'єкти не завжди виявляються достатньо чутливими. Тому доцільно як додаткові тестори випробувати ті рослини, які мають вищу чутливість до забруднення довкілля, ніж традиційні. Доволі відомою в цьому аспекті є традесканція (*Tradescantia fluminensis Vellozo*), яка широко використовується для визначення токсичності (у тому числі генотоксичності) атмосферного повітря та ґрунту, а також може бути застосована для біотестування води [6].

Для стандартних екотоксикологічних біологічних аналізів розроблені методи, які реєструються, рекомендуються або впроваджуються в організаціях стандартизації – Міжнародна організація зі стандартизації (ISO), Європейський комітет стандартизації (CEN), США Агентство з охорони довкілля (EPA США), Організація економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР), національні уряди та закони.

Для стандартних біологічних аналізів існують стандартизовані процедури та методології для оцінки та моніторингу впливу речовин як на одноразові, так і на багатозадачні випробування, а також на польові експерименти. Метою стандартизації окремих кроків експериментальної процедури є, зокрема, максимальне обмеження фактора «Інтерлабораторна мінливість» [6].

Випробування на гостру токсичність – це короткострокові тести, що оцінюють вплив токсичних речовин на організм протягом короткого періоду їх життя. Він оцінює вплив речовин на ціноутворення організмів через 24–96 годинний період (рис. 1). Спочатку ці тести були розроблені для водної екотоксикології, але тепер на його гостру токсичність, навіть коли земні організми шляхом модифікації звичайних випробувань гострої токсичності у водному середовищі в залежності від природи і існування звичок [7].

Ми виділяємо дві основні категорії токсичних ефектів:

Гостру токсичність – велика доза отрути короткої дії, зазвичай смертельна, тобто отруйний ефект токсичної речовини негайно проявляється, безпосередньо впливає на виявлений організм.

Хронічна токсичність – низька доза отрути протягом тривалого періоду може бути смертельною або сублетальною, ефект не проявляється, поки через кілька днів, місяців або років діяльності і часто відбувається накопичення токсинів в організмі організмів, симптоми хронічної інтоксикації визначаються в основному для наступних поколінь розвитку [4].



Рис. 1. Основний тест-об'єкт, що використовується при визначенні токсичної дії досліджуваних зразків – *Daphnia magna Straus*

Методика ґрунтується на встановленні різниці між кількістю загинлих дафній у воді, що тестується (дослід), та воді, у якій дафнії утримуються (контроль). Критерієм гострої токсичності є загибель 50% дафній і більше у досліді порівняно з контролем за 48 годин біотестування.

Біотестування проводили за стандартних умов у термолюмініостаті при температурі $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$, освітленості 400–600 люкс, тривалості світлого періоду 16 год, темного – 8 год. Для контролю і приготування розбавлень води використовували питну воду, яку попередньо дехлорували шляхом відстоювання.

Для визначення гострої летальної токсичності проби води та її розбавлення наливають по 15 см^3 у посудини (дослід). Інші посудини заповнюють таким самим об'ємом контрольної води. У кожну з дослідних та контрольних посудин поміщують по одній дафнії. Під час біотестування дафній не годують. Наприкінці біотестування візуально підраховують живих дафній. Живими вважають дафній, які вільно рухаються у товщі води або спливають з дна посудини після легкого струшування.

За результатами підрахунку живих дафній розраховують кількість загинлих церіодафній у досліді відносно контролю, отримавши значення А. Вважається, що гостра летальна токсичність води виявляється, якщо $A \geq 50\%$. За результатами розрахунків загинлих

дафній (в процентах) у кожному розбавленні порівняно з контролем проводиться кількісна оцінка (клас токсичності) кожної проби. Класифікація проб води за ступенем та рівнем токсичності наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

**Класифікація проб води
за ступенем та рівнем токсичності**

Клас токсичності	Ступінь токсичності	Фактичний рівень токсичності
1	нетоксична	менше або дорівнює 0
2	слаботоксична	більше 0 до 2
3	помірно токсична	більше 5 до 5
4	середньо токсична	більше 5 до 10
5	високотоксична	більше 10 до 25
6	надзвичайно токсична	більше 25

Об'єктом досліджень, проведених протягом 2019 – початку 2020 років, були проби природних поверхневих та підземних вод, відібраних на території промислових підприємств, а також вода поверхневого джерела централізованого питного водопостачання КП «Кременчукводоканал».

Також було проведено роботи з визначення фактичного рівня токсичності та радіоактивності зворотної води двох випусків Криворізького заводу ПрАТ «ХайдельбергЦемент Україна».

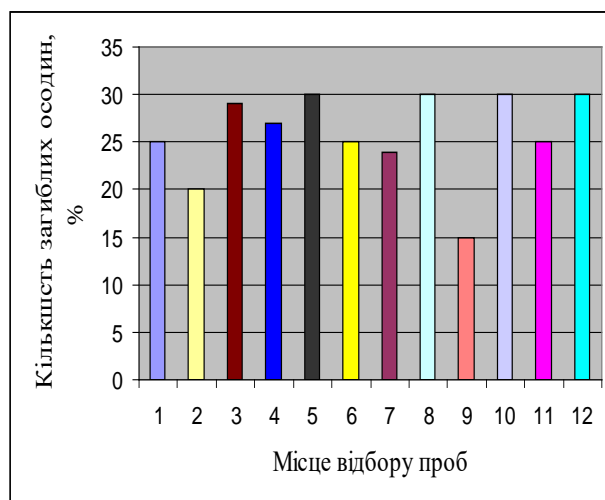
Роботи виконувались згідно зі ст. 44, 70 Водного кодексу України.

Відбір проб зворотної води Криворізького заводу ПрАТ «ХайдельбергЦемент Україна» для визначення гострої летальної токсичності методом біотестування здійснювали у серпні 2019 року.

Результати визначення гострої летальної токсичності проб зворотної води підприємства наведено у таблиці 2.

Висновки. Серед основних результатів, яких вдалося досягти в ході досліджень:

- переважна більшість протестованих проб води не виявили гострої токсичної дії на тест-об'єкти;
- незначне погіршення якості води в окремих пробах може бути пояснене сезонними змінами у їх хімічному складі в наслідок несприятливих погодних умов у регіоні;
- фактичні рівні токсичності зливових та дренажних вод ПрАТ «ХайдельбергЦемент Україна» (м. Кривий Ріг) дорівнюють нулю, води нетоксичні, відносяться до 1 класу токсичності;
- гостра токсична дія проби підземної води, відібраної на території ТОВ НВП «Глобинський



■ цех дорощування
 □ Цех відгодівлі №1, св. 2
 ■ Репродуктор №1, св. 1484В
 ■ Цех відгодівлі №3, св. 2
 ■ Цех відгодівлі свиней, св. 1578
 ■ Племенний репродуктор №2, св. 6
 ■ Репродуктор №1, св. 2313
 □ Цех відгодівлі №1, св. 2313
 ■ Цех відгодівлі №3, св. 1
 □ Цех відгодівлі №3, св. 3
 ■ Племенний репродуктор, св. 172
 ■ Цех дорощування №2, св. 1

Рис. 2. Результати біотестування підземних вод ТОВ НВП «Глобинський свиномкомплекс»

Таблиця 2

**Результати визначення гострої летальної токсичності проб зворотної води
Криворізького заводу ПрАТ «ХайдельбергЦемент Україна»**

Місце відбору проби	Дата відбору проби	Висновок щодо токсичності проби зворотної води
Промислова площадка Випуск № 2 (дренажні води)	13 серпня 2019 року	нетоксична
Промислова площадка Випуск № 1 (зливові води)	13 серпня 2019 року	нетоксична
Промислова площадка Випуск № 2 (дренажні води)	13 серпня 2019 року	нетоксична
Промислова площадка Випуск № 1 (зливові води)	13 серпня 2019 року	нетоксична
Промислова площадка Випуск № 2 (дренажні води)	13 серпня 2019 року	нетоксична
Промислова площадка Випуск № 1 (зливові води)	13 серпня 2019 року	нетоксична

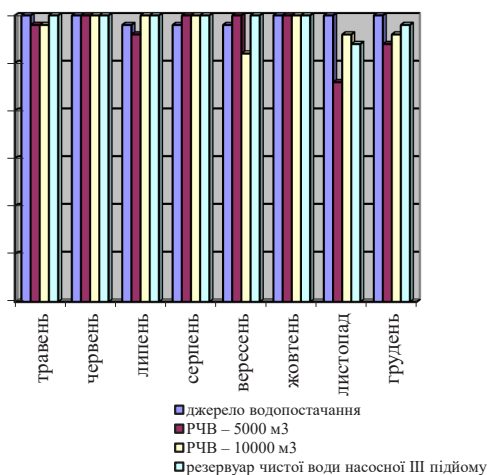


Рис. 3. Результати біотестування проб води КП «Кременчукводоканал»

свинокомплекс» 21.01.2020, може бути обумовлена потраплянням до водоносного горизонту органічних продуктів життєдіяльності худоби, зокрема йонів амонію, що підтверджується зокрема результатами хімічного аналізу;

– випробувана методика біотестування з використанням ракоподібних довела своє вагоме практичне значення, до її переваг можна віднести те, що будучи застосованою разом з іншими аналітичними методами (фізичними, хімічними тощо), суттєво допомагає досліднику максимально об'єктивно інтерпретувати отримані дані, надає результатам високу інформативність та репрезентативність.

Практичні результати роботи в такому напрямку закріплені у вигляді ряду публікацій у вітчизняних та закордонних фахових виданнях.

Література

1. Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС Основні терміни та їх визначення. Київ, 2006. 8 с.
2. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy Official Journal L 327, 22/12/2000 P. 0001 – 0073. URL: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32000L0060:EN:HTML>.
3. ДСТУ 4173: 2003. Якість води. Визначення гострої летальної токсичності на *Daphnia magna* Straus та *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (*Cladocera, Crustacea*). ISO 6341: 1998, MOD. [Чинний від 2004-07-01]. Київ, 2004.
4. ДСТУ 7387: 2013. Якість води. Метод визначення цито- та генотоксичності води і водних розчинів на клітинах крові прісноводної риби Данію реріо (*Brachydanio rerio* Hamilton – buchanan). [Чинний від 2013-07-01]. Київ, 2013.
5. Губачов О.І., Сливка Г.В. Біотестування. Кривий Ріг : Мінерал, 2011. 192 с.
6. Чалова И.В. Оценка качества природных и сточных вод методами биотестирования с использованием ракообразных (*Cladocera, Crustacea*). Рыбинск : Рыбинский Дом печати, 2007. 73 с.
7. Кутикова Л.А., Старобогатов Я.И. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР (планктон и бентос). Ленинград : Гидрометеиздат, 1977. 511 с.

ВПЛИВ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ НА СКРИНІНГОВІ ПОКАЗНИКИ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕЧНОСТІ ВОДИ

Якименко Г.М.

Національний авіаційний університет
пр. Космонавта Комарова, 1, 02000, м. Київ
Національна енергетична компанія «Укренерго»
вул. Петлюри, 25, 01032, м. Київ
iakymenko_ann@ukr.net

Визначено основні джерела централізованого водопостачання Києва. Акцентовано на тому, що запобігання збільшенню дозового навантаження на населення Києва та Київської області є критично важливим. Обґрунтовано актуальність дослідження впливу метеорологічних умов на скринінгові показники радіаційної безпечності води. Дослідження проводились альфа-спектрометричним та бета-радіометричним методами. Точність використаних методик та достовірність досліджень підтверджені вдалим проходженням тесту МАГАТЕ «World-Wide Open Proficiency Test IAEA-TEL». Презентовано та проаналізовано результати п'ятирічних досліджень скринінгових показників поверхневої води. Прослідковано тренд до зменшення активності деснянської води за вмістом як альфа-випромінювачів, так і бета-випромінювачів. Виявлено, що у Дніпрі сумарна альфа-активність на 33% більша, ніж у Десні. Встановлено, що метеорологічні умови не спричиняють значних змін (понад відхилення в межах похибки) в сумарній альфа-активності дніпровської та деснянської води. Доведено залежність між метеорологічними умовами та сумарною бета-активністю поверхневої води: внаслідок випадіння понаднормової кількості опадів навесні й восени 2013 року та короткої метеорологічної весни середньорічна сумарна бета-активність дніпровської води зросла на 65%. Максимальний вміст β -випромінювачів ($0,83 \pm 0,15$ Бк/дм³) у дніпровській воді зафіксовано в пік весняного водопілля 29 квітня 2013 року. Встановлено, що навіть за найбільш несприятливих метеорологічних умов річки Дніпро та Десна можуть використовуватись як джерела централізованого питного водопостачання міста Київ відповідно до вимог радіаційної безпечності ДСанПіН 2.2.4.171-10. *Ключові слова:* поверхневі води, джерела водопостачання, скринінгові показники, загальна активність, α -випромінювачі, β -випромінювачі, радіаційна безпечність води.

Meteorological conditions influence on radiation safety screening indices of water. Yakymenko A.

The main sources of Kyiv centralized water supply were identified. Emphasis was placed on the fact that preventing in the population radiation dose increase of Kyiv and Kyiv region is critical. The relevance of the meteorological conditions influence research on the radiation safety screening indices of water was justified. The studies were conducted by alpha-spectrometric and beta-radiometric methods. The accuracy of these methods and the reliability of the research was confirmed by the successful participation of the World-Wide Open Proficiency Test IAEA-TEL. The results of a five-years study of surface water screening indices were presented and analyzed. There is a trend to reduce the alpha and beta emitters activity in Desna water. It was measured that the gross alpha activity in the Dnieper is 33% higher than in the Desna. It was established that meteorological conditions do not cause significant changes (within the margin of error) in the gross alpha activity of the Dnieper and Desna waters. The dependence between meteorological conditions and gross beta activity of surface water has been proved: due to excessive precipitation in spring and autumn 2013 and short meteorological spring, the average annual gross beta activity of Dnieper water increased by 65%. The maximum content of β -emitters (0.83 ± 0.15 Bq/dm³) in the Dnieper water was recorded at the peak of the spring flood on April 29, 2013. It is established that even in the most unfavorable meteorological conditions, the rivers Dnipro and Desna can be used as sources of centralized drinking water supply of Kyiv in accordance with the requirements of radiation safety DSanPiN 2.2.4.171-10. *Key words:* surface waters, water supply sources, screening indices, gross activity, α -emitters, β -emitters, radiation safety of water.

Постановка проблеми. Київ є найбільшим споживачем питної води в Україні: щороку для потреб міста з природних водних об'єктів забирається до 350 млн м³ води. Її середньодобовий обсяг, який надається місту монополістом централізованого водопостачання «Київводоканалом», становить 600–800 тис. м³. Централізоване водопостачання для столиці здійснюється з трьох джерел: р. Десна, р. Дніпро та артезіанські свердловини крейдяного і юрського водоносних горизонтів. Середньорічне розподілення між джерелами водопостачання є таким: переважна частина питної води – до 87% – надходить із поверхневих джерел, причому до 70% – з р. Десна; внесок підземних (артезіанських) вод не перевищує 13% [1].

Згідно з вимогами ДСанПіН 2.2.4-171-10 [2] та Керівництва ВОЗ з контролю якості питної води [3], під час гігієнічної оцінки радіаційної безпечності води в місцях поверхневих водозаборів насамперед визначаються скринінгові показники – питомі сумарні альфа- і бета-активності.

За умови неперевищення максимально допустимих значень даних показників (в Україні лімітом є 0,1 Бк/дм³ для $\Sigma\alpha$ -активності та 1,0 Бк/дм³ – для $\Sigma\beta$ -активності) вода визнається придатною для подальшої водопідготовки до води питної. У цьому разі не треба очищувати воду від радіонуклідів.

Перевищення максимально допустимого рівня показників радіаційної безпечності є значною

загрозою здоров'ю населення майже п'ятимільйонного мегаполісу, особливо тієї частини, що вже постраждала внаслідок Чорнобильської катастрофи. Отже, запобігання накопиченню радіонуклідів у кількостях, більших за визначені санітарними нормами МОЗ України, є критично важливим.

Актуальність дослідження. Як відомо, останні 50 років відбуваються масштабні кліматичні зміни на планеті: в Україні вони вже призвели до значного скорочення територій Полісся та руху межі степової й лісостепової зони на 200 км на північ.

Нині ці зміни вже захопили території із «чорнобильським» слідом: радіоактивно забруднені землі від Чорнобиля до Києва змінили приналежність із Полісся на Лісостеп. Це призвело до зменшення водного балансу області, зниження рівня води в річках та водосховищах, зростання потреби в поливній воді тощо. Такі швидкі зміни в кліматі України викликають значні флуктуації температурного режиму та кількості опадів і можуть спричинити в окремі сезони різкі збільшення концентрацій радіонуклідів у воді річок та водосховищ, що розташовані на радіоактивно «брудних» територіях.

Ці події можуть негативно впливати на аграрну галузь, сферу постачання питної й поливної води й, як наслідок, створюються ризики зростання дозового навантаження на 7 млн населення: 5 млн киян та 2 млн мешканців Київської області [4–6]. Саме тому проведено дослідження впливу метеорологічних умов на зміну рівня сумарної альфа- та бета-активності води, яка є основною сировиною для виробництва води питної в столиці України, є одним із найактуальніших та мало досліджених напрямів сучасної радіоекології.

Об'єкт дослідження – усереднені проби води р. Дніпро та р. Десна в місцях спеціалізованих водозаборів. Дніпровський питний водозабір розташований на 2 км нижче шлюзу Київської ГЕС на правому березі Дніпра, Деснянський – на лівому березі Десни за 3,5 км від гирла. Дослідження проводились протягом 2010–2014 рр.

$\Sigma\alpha$ -активність визначалась 1 раз на місяць, $\Sigma\beta$ -активність – 1 раз на тиждень. Проби відбирались відповідно до вимог нормативних документів, при-

чому загальний об'єм проби становив 5 дм³, з якого відокремлювали аліквоти у 1 дм³ та 0,1 дм³ [7; 8].

Сумарну альфа-активність визначали за ДСТУ ISO 9696-2001 [9]: 100 см³ води випарювали до сухого залишку. Осад розчиняли, переносили в пластикову віалу місткістю 20 см³. Вимірювання проводились на альфа-бета-спектрометрі Quantulus 1220 після введення у пробу сцинтилятора OptiPhase‘HighSafe’3. Похибка вимірювання не перевищувала 10%.

Сумарну бета-активність води встановлювали за методикою МВВ 081/12-0078-03 [10]: 1 дм³ води випарювали до сухого залишку. Вимірювання кількості імпульсів проводились на бета-радіометрі УМФ-1500М. Похибка вимірювання не перевищувала 20%.

Точність використаних методик та достовірність досліджень автор статті підтвердив вдалим проходженням тесту МАГАТЕ «World-Wide Open Proficiency Test IAEA-TEL» два роки поспіль.

Виклад основного матеріалу. На діаграмах (рис. 1, 2) презентовані результати спостережень за скрінінговими показниками радіаційної безпечності води поверхневих джерел водопостачання за 5 послідовних років (2010–2014 рр.).

Середня за період спостережень $\Sigma\alpha$ -активність води – 0,015±0,002 Бк/дм³. Протягом трьох років спостерігались незначні відхилення середньорічних значень: від 0,001±0,001 Бк/дм³. Лише у 2014 році середньорічна сумарна альфа-активність зменшилась до 0,011±0,001 Бк/дм³.

У Дніпрі цей скрінінговий показник за весь період спостережень мав середнє значення на 33% більше, ніж у Десні. У дніпровській воді зафіксовані значні коливання показника: при середньому за період спостережень рівні 0,020±0,002 Бк/дм³, у 2014 році простежувалось зменшення $\Sigma\alpha$ -активності майже у два рази – до 0,011±0,001 Бк/дм³. Таким чином, у 2014 році в обох ріках спостерігалось значне зменшення загального вмісту альфа-випромінювачів.

З огляду на те, що ліміт допустимої санітарними правилами сумарної альфа-активності становить 0,100 Бк/дм³, та виміряні активності не перевищують 0,050±0,002 Бк/дм³ навіть у періоди водопілля, дес-

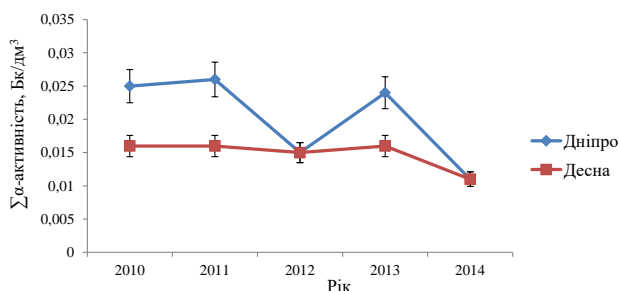


Рис. 1. Питомі сумарні альфа-активності у воді р. Десна та р. Дніпро

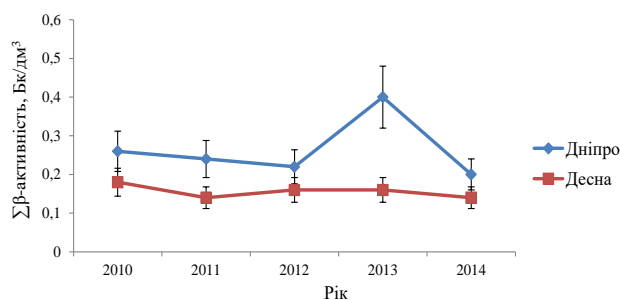


Рис. 2. Питомі сумарні бета-активності у воді р. Десна та р. Дніпро

нянська та дніпровська вода в межах Києва задовольняє вимоги ДСанПіН 2.2.4-171-10.

Аналогічна тенденція прослідковується й при дослідженнях середньорічної $\Sigma\beta$ -активності: середня за п'ятирічний період спостережень бета-активність – $0,16 \pm 0,03$ Бк/дм³: від $0,14 \pm 0,02$ Бк/дм³ у 2014 році до $0,18 \pm 0,03$ Бк/дм³ у 2010 році. Тобто є тренд до зменшення активності деснянської води як за вмістом альфа-випромінювачів, так і за вмістом бета-випромінювачів.

У дніпровській воді в середньому за період спостережень значенні $0,26 \pm 0,05$ Бк/дм³, у 2013 році зафіксовано різке та нетипове зростання вмісту β -випромінювачів на 65%.

За винятком 2013 року, прослідковується тренд до поступового зменшення цього показника – на 8–10% щороку: з $0,26 \pm 0,05$ Бк/дм³ у 2010 р. до $0,20 \pm 0,04$ Бк/дм³ у 2014 р. Найбільш вірогідно, що відбувається або поступова фіксація бета-випромінювачів у нерозчинні сполуки й осадження цих сполук на дно водойм, або винос розчинних форм радіоактивних елементів за течією.

Для розуміння причин різкого зростання показника проаналізуємо динаміку сумарної бета-активності дніпровської води за місяцями на прикладі типового 2012 року та аномального (зафіксоване значне зростання показника) 2013 року (рис. 3).

Згідно з багаторічними спостереженнями, є два періоди зростання вмісту радіонуклідів у поверхневій воді: під час весняного водопілля (зазвичай із першої декади березня до кінця травня) та при

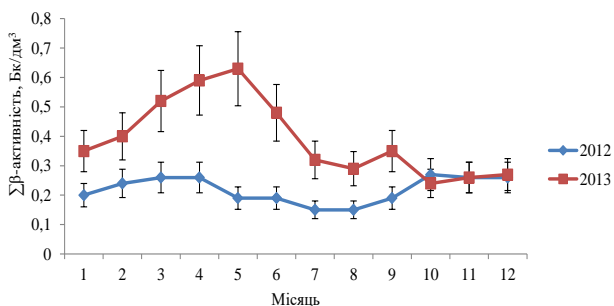


Рис. 3. Питома сумарна бета-активність у воді р. Дніпро за місяцями

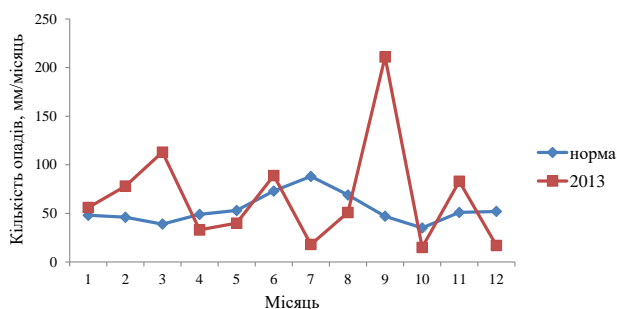


Рис. 4. Місячна кількість опадів у 2013 р.

стікванні осінніх атмосферних опадів із річкового басейну до річок (з середини вересня до середини жовтня). У цей час погіршується якість води не лише за показниками радіаційної безпечності, а й за фізико-хімічними: спостерігається збільшення забарвленості, каламутності, перманганатної окиснюваності, вмісту заліза тощо. У формуванні цієї ситуації значну роль грає стік боліт і лісів, розташованих вище Київського водосховища – в зоні безпосереднього впливу Чорнобильської атомної станції. До того ж надходження паводкових вод призводить до підйому радіоактивного мулу «чорнобильського» походження з дна приток Дніпра та Київського водосховища. Таким чином відбувається міграція радіонуклідів до верхніх шарів дніпровської води як із дна водойм і водотоків, так і з інших компонентів навколишнього природного середовища [2; 11–13].

На відміну від 2010–2012 рр., у 2013 р. спостерігалось значне зростання вмісту β -випромінювачів у дніпровській воді з 1 квітня ($0,62 \pm 0,11$ Бк/дм³) до 3 червня ($0,58 \pm 0,11$ Бк/дм³) із максимумом 29 квітня ($0,83 \pm 0,15$ Бк/дм³). Результати досліджень у 2012–2013 рр. наведені у табл. 1.

Проаналізуємо причини підвищення $\Sigma\beta$ -активності в цей період. По-перше, взимку 2012–2013 р. випала аномальна кількість опадів – на 120 мм більша за норму (рис. 4). До того ж, у березні 2013 р. місячна кількість опадів перевищувала кліматичну норму на 74 мм (у 2,9 раза) та становила 113 мм.

По-друге, за даними Центральної геофізичної обсерваторії, у 2013 р. була найкоротша за всю історію спостережень метеорологічна весна, яка тривала лише 26 днів, із холодним березнем (середня температура нижча за кліматичну норму на $2,4^\circ\text{C}$) та спекотним квітнем (місячна температура повітря вища за кліматичну норму на $1,6^\circ\text{C}$). Температура у травні також перевищувала звичайну на $3,6^\circ\text{C}$ (рис. 5).

Такі природні умови спричинили пізні, порівняно зі звичайним, та різке танення снігу й одночасний стік великої кількості води у дніпровський каскад водосховищ. Наприкінці березня – на початку квітня 2013 р. почалось весняне водопілля, яке супроводжувалось активним підйомом рівня води в Київському водосховищі з другої половини квітня та протягом усього травня [14]. Саме в цей час

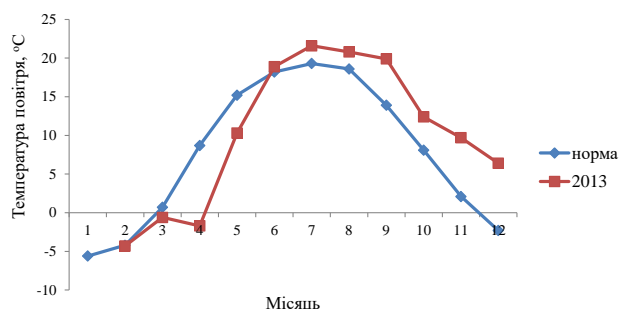


Рис. 5. Середньомісячна температура у 2013 р.

Питома сумарна бета-активність у воді р. Дніпро у 2012–2013 роках, Бк/дм³

2012 р.		2013 р.	
Дата	Σβ-активність, Бк/дм ³	дата	Σβ-активність, Бк/дм ³
03.01.12	0,26±0,05	02.01.13	0,33±0,06
10.01.12	0,20±0,04	08.01.13	0,29±0,05
16.01.12	0,29±0,05	14.01.13	0,36±0,07
19.01.12	0,12±0,02	21.01.13	0,46±0,09
26.01.12	0,11±0,02	28.01.13	0,29±0,05
02.02.12	0,25±0,05	04.02.13	0,44±0,08
09.02.12	0,23±0,04	11.02.13	0,31±0,06
16.02.12	0,22±0,04	18.02.13	0,36±0,07
20.02.12	0,30±0,06	25.02.13	0,47±0,09
27.02.12	0,22±0,04	04.03.13	0,40±0,07
03.03.12	0,19±0,04	12.03.13	0,53±0,10
13.03.12	0,20±0,04	18.03.13	0,52±0,10
19.03.12	0,34±0,07	28.03.13	0,64±0,12
26.03.12	0,29±0,05	01.04.13	0,62±0,11
02.04.12	0,17±0,03	08.04.13	0,74±0,13
09.04.12	0,27±0,06	16.04.13	0,33±0,06
17.04.12	0,28±0,06	18.04.13	0,35±0,07
23.04.12	0,31±0,06	22.04.13	0,57±0,11
03.05.12	0,24±0,05	25.04.13	0,66±0,12
08.05.12	0,22±0,04	29.04.13	0,83±0,15
14.05.12	0,14±0,03	01.05.13	0,63±0,12
21.05.12	0,23±0,04	07.05.13	0,53±0,10
28.05.12	0,11±0,02	09.05.13	0,76±0,14
05.06.12	0,19±0,03	13.05.13	0,66±0,12
11.06.12	0,19±0,03	16.05.13	0,54±0,10
18.06.12	0,26±0,05	20.05.13	0,61±0,11
26.06.12	0,12±0,02	23.05.13	0,57±0,11
02.07.12	0,21±0,04	27.05.13	0,65±0,12
09.07.12	0,11±0,02	30.05.13	0,70±0,13
16.07.12	0,12±0,02	01.06.13	0,64±0,12
23.07.12	0,20±0,04	03.06.13	0,58±0,11
30.07.12	0,13±0,03	10.06.13	0,45±0,08
06.08.12	0,11±0,02	17.06.13	0,42±0,08
13.08.12	0,20±0,04	25.06.13	0,31±0,06
20.08.12	0,18±0,03	01.07.13	0,25±0,05
27.08.12	0,12±0,02	08.07.13	0,31±0,07
03.09.12	0,18±0,04	15.07.13	0,29±0,06
10.09.12	0,27±0,05	22.07.13	0,39±0,07
17.09.12	0,13±0,03	29.07.13	0,35±0,07
24.09.12	0,19±0,03	06.08.13	0,41±0,08
01.10.12	0,26±0,05	15.08.13	0,30±0,06
08.10.12	0,30±0,06	20.08.13	0,19±0,03
15.10.12	0,17±0,03	29.08.13	0,24±0,04
22.10.12	0,31±0,06	03.09.13	0,51±0,10
29.10.12	0,31±0,06	09.09.13	0,45±0,08
05.11.12	0,25±0,05	17.09.13	0,25±0,05
12.11.12	0,35±0,07	24.09.13	0,20±0,04
19.11.12	0,19±0,03	01.10.13	0,20±0,04
26.11.12	0,23±0,04	07.10.13	0,22±0,04
03.12.12	0,28±0,05	14.07.13	0,26±0,05
10.12.12	0,18±0,03	22.10.13	0,26±0,05
17.12.12	0,27±0,06	29.10.13	0,26±0,05

Продовження таблиці 1

2012 р.		2013 р.	
Дата	Σβ-активність, Бк/дм ³	дата	Σβ-активність, Бк/дм ³
24.12.12	0,32±0,07	04.11.13	0,21±0,04
		11.11.13	0,11±0,02
		18.11.13	0,39±0,07
		25.11.13	0,33±0,07
		02.12.13	0,18±0,03
		09.12.13	0,31±0,06
		16.12.13	0,31±0,06
		23.12.13	0,28±0,06

спостерігався максимум значень загальної бета-активності дніпровської води.

На графіку рис. 3 простежується й другий пік кривої сумарної бета-активності восени 2013 р. Тоді також випало аномально багато опадів, внаслідок чого було перевищено кліматичну норму у 4,5 раза. Центральною геофізичною лабораторією зафіксовано новий рекорд кількості опадів жовтня – 211 мм [14]. Отже, стік річкового басейну значно збільшився, відповідно, притік радіонуклідів до водойм зріс. Як наслідок, вміст водорозчинних форм β-випромінювачів у воді теж збільшився.

Проте навіть у пікові періоди, коли сумарна бета-активність зросла до 0,83±0,15 Бк/дм³, перевищень максимально допустимих рівнів (0,100 Бк/дм³) не відбувалось.

Таким чином, і Дніпро, і Десна можуть використовуватись як джерело централізованого водопостачання м. Київ без обмежень за скринінговими показниками радіаційної безпеки.

Головні висновки. Доведено гіпотезу про вплив метеорологічних умов на скринінгові показники радіаційної безпечності води на радіоактивно забруднених територіях.

Встановлено, що різке та значне зростання кількості опадів призводить до збільшення вмісту бета-випромінювачів у дніпровській воді.

Зафіксовано, що навіть за найбільш несприятливих метеорологічних умов сумарна альфа- та бета-активність води р. Дніпро та р. Десна не перевищують лімітів, встановлених державними гігієнічними правилами.

Література

1. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2012 році. Київ, 2013. 450 с.
2. ДСанПІН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. Київ : МОЗ України, 2013. 24 с.
3. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. Geneva: World Health Organization, 2017. 631 p.
4. T. F. tocker et al. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 2013. 1535 p.
5. Міграція кліматичних зон на північ. URL: <https://landlord.ua/wp-content/page/pid-udarom-stykhii-iak-mihruui-klimatychni-zony-v-ukraini/> (дата звернення 14.06.2020)
6. Лялько В.І., Єлістратова Л.О., Кульбіда М.І., Апостолов О.А., Барабаш М.Б. Парниковий ефект і зміні клімату в Україні: оцінки та наслідки. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2015. № 6. С. 33–63.
7. Настанова гідрометеорологічним станціям і постам. Спостереження за радіоактивним забрудненням поверхневих вод суші і морських вод. Вип. 12. Ч. 2. Київ : Держгидромет України, 2010. 144 с.
8. ДСТУ ISO 5667-46-2001. Якість води. Відбирання проб: Настанови щодо відбирання проб води з річок та інших водотоків. Ч. 6. Київ : Держспоживстандарт України, 2002. 12 с.
9. ДСТУ ISO 9696-2001. Захист від радіації. Вимірювання альфа-активності у прісній воді. Метод концентрованого джерела. Київ : Держспоживстандарт України, 2003. 16 с.
10. МВВ № 081/12-0078-03. Методика виконання вимірювань питомої бета-активності питної води та вод джерел водопостачання. Київ : Київводоканал, 2003. 14 с.
11. Езловецкая И.С., Лавренчук И.Н. Оценка качества воды Днепра и Десны в местах крупных питьевых водозаборов. *Вода и водоочистные технологии*. 2014. № 1 (14). С. 19–27.
12. Якименко А.Н. Оценка качества воды Киевского водохранилища по показателям радиационной безопасности. *Химия и технология воды*. 2013. Т. 35. № 4 (234). С. 341–348.
13. Осадчий В.І. Гідрологічні чинники формування хімічного складу поверхневих вод. *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту*. 2013. Вип. 265. С. 54–65.
14. Праці Центральної геофізичної обсерваторії / За ред. О.О. Косовця. Вип. 10 (24). Київ : Інтерпрес ЛТД, 2014. 104 с.

ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ

УДК 598.2: 591.5 (477.64)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.3-30.26>

ЕКСПЕРТНА ОЦІНКА СТАНУ ОРНІТОФАУНИ ТА ЗАГРОЗ ДЛЯ ПТАХІВ НА ТЕРИТОРІЇ ПРОЄКТОВАНОЇ ВІТРОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ В ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОМУ ПРИАЗОВ'І

Андрюшенко Ю.О.¹, Кошелєв О.І.², Дядічева О.А.¹, Кошелєв В.О.²,
Попенко В.М.¹, Черничко Й.І.¹, Черничко Р.М.¹, Винокурова С.В.^{1,2}

¹Азово-Чорноморська орнітологічна станція

Інституту зоології Національної академії наук України

вул. Інтеркультурна, 84, 72300, м. Мелітополь, Запорізька область
anthropoides73@gmail.com, lena.passer.migr@gmail.com, anthus1949@gmail.com,
j.chernichko@gmail.com, waderbirds@gmail.com, svetlana.vinokurova@gmail.com;

²Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького
вул. Гетьманська, 20, 72300, м. Мелітополь, Запорізька область
aikoshelev4971@gmail.com, kochelev10041@gmail.com, svetlana.vinokurova@gmail.com

Схарактеризовано сучасний стан орнітофауни на території проєктованої вітрової електростанції між Молочним та Утлюцьким лиманами (Північно-Західне Приазов'я). Польові дослідження проводилися в серпні-грудні 2018 р. за загальноприйнятими орнітологічними методиками на трьох стаціонарних пунктах спостереження для з'ясування висот і напрямків перельотів птахів. Сумарна тривалість спостережень склала 234 години (по 78 годин на кожному пункті спостереження). Обліки на трансектах проводилися у 20 облікових квадратах розміром 10x10 км. Вірогідність зіткнення птахів із вітроенергетичними установками була розрахована, виходячи з маси й розміру птахів і певної швидкості загрозової зони вітроустановок. Потенційний вплив проєктованої вітрової електростанції на птахів і ймовірність значущості додаткової смертності оцінено за методикою Міжнародної спілки охорони природи (IUSN). Вивчено особливості локальних перельотів птахів, оцінено можливі негативні впливи будівництва й експлуатації проєктованої вітрової електростанції на птахів, запропоновано рекомендації з їх мінімізації. Територія майбутнього вітропарку, зайнята агроландшафтами, знаходиться під постійним антропогенним впливом, особливо в літній період. Орнітологічна унікальність регіону визначається високою концентрацією птахів в окремі сезони року, існуванням мережі національних природних парків, біосферних заповідників і заказників. Орнітофауна території проєктованої вітрової електростанції характеризується високим видовим різноманіттям. Усього зареєстровано 235 видів птахів із 18 рядів, з яких гніздуються 143 види, зустрічаються на зимівлі 118 видів, у міграційний період – 213 видів-мігрантів і 16 осілих видів. За даними синхронних обліків птахів у передміграційний період на трьох пунктах спостереження обліковано 12 317 особин 69 видів птахів, з яких транзитно перетнули пункти спостереження особини 29 видів. Наймасовішими видами були *Larus melanocephalus* (279,9 ос./облік) та *Corvus frugilegus* (216,8 ос./облік), що разом складає 72,6% від усіх птахів. Численними були *Hirundo rustica*, *Larus ridibundus* та *Sturnus vulgaris* (разом 12,7%). Локальні переміщення на пунктах спостереження відбувалися найчастіше на висотах 20–120 м (89% особин). Загалом, на усіх пунктах спостереження більшість птахів перелітало в південному напрямку – 49%, найменше – в східному й північно-західному напрямках – лише 3–8% птахів. У міграційний період на трьох пунктах спостереження обліковано 115 406 особин 113 видів птахів, з яких транзитно перетнули пункти спостереження 28 602 (24,8%) особини 59 (52,2%) видів. Масовими з-поміж них були *Sturnus vulgaris* (1 117,2 ос./облік), *Larus ridibundus* (352,6 ос./облік) та *Corvus frugilegus* (232,4 ос./облік), що разом становили 82,9% облікованих птахів; численними були *Carduelis carduelis*, *Acanthis cannabina*, *Tadorna tadorna*, *Fringilla coelebs*, *Corvus monedula* й *Anser albifrons*, разом – 11,3% відповідно. В цілому, на досліджуваній території були відсутні виражені напрямки міграційних перельотів. Більшість коловодних і хижих птахів перелітали територію в діапазонах висоти 120–170 м. У зимовий період на трьох пунктах спостереження обліковано 10 710 особин 42 видів птахів, з яких транзитно перетнули пункти спостереження 1 163 особини 13 видів. Наймасовішим видом з-поміж них був *Tadorna tadorna* (350,00 ос./облік), що становив 58,8% облікованих птахів, а численними – *Larus canus*, *Sturnus vulgaris*, *Acanthis cannabina*, *Larus ridibundus* і *Corvus frugilegus*, разом – 30,6% відповідно. Серед локальних перельотів у межах майданчика проєктованої вітрової електростанції переважали за кількістю птахів висоти в діапазоні 40–120 м. Понад 42,1% особин птахів (виключно горобцеподібні) перетинали майданчик на небезпечних висотах. Але більшість коловодних і хижих птахів перелітали майданчик вітрової електростанції на безпечніших висотах. За оцінкою ймовірності зіткнення птахів із вітровою електростанцією серед модельних видів найвища потенційна загроза притаманна *Pelicanus roseus*, *Egretta alba*, *Ardea cinerea*, *Grus grus*, дещо менша – *Circus pygargus*, *C. aegoginosus*, *Buteo buteo*, *V. lagopus*, *Phalacrocorax carbo*, *Pandion haliaetus*, *Larus cachinnans*. Для інших видів коловодних і хижих птахів вітрової електростанції майже не становлять потенційної загрози. Прогнозування значущості додаткової смертності показало, що в регіоні проєктованої вітрової електростанції її безпечний рівень для птахів буде доволі низьким і не матиме негативних наслідків для стану чисельності їх популяцій. З урахуванням наявності регулярних перельотів значної кількості птахів на вразливих висотах

на окремих ділянках території проєктованої вітрової електростанції, не рекомендовано споруджувати вітрові електростанції в умовних коридорах, що розташовані між Утлюцьким і Молочним лиманами в районі сіл Давидівка – Шелюги й Косих – Лиманське. Рекомендовано також вилучити з проєкту будівництва установку вітроагрегатів, розміщення яких планується на відстані меншій, ніж 0,5 км від водойм і лісових масивів на березі Молочного лиману й на узбережжі північної частини Утлюцького лиману. *Ключові слова:* орнітофауна, птахи, вітрова електростанція, локальні перельоти, міграції, північно-західне Приазов'я, загрози для птахів.

Expert estimation of the avifauna state and threats for birds within the area of planned wind electrical power station on the North-Western coast of the Sea of Azov. Andryushchenko Yu., Koshelev O., Diadicheva O., Koshelev V., Popenko V., Chernichko I., Chernichko R., Vinokurova S.

Current state of the avifauna is characterised within the area of planned wind electrical power station (WES) between Molochny and Utlyutsky limans (north-western coast of the Sea of Azov). Field researches were carried out in accordance with the generally accepted ornithological techniques, in August – December 2018, at three fixed observation points (OP) for determination of heights and directions of bird flights. The total observation length was 234 hours (78 hours at each OP). Counts on transects were carried out in 20 census squares with the area of 10x10 km each. Probability of collisions of birds with wind turbines (WT) was calculated on the basis of body mass, size of birds and speed of danger zone of WT. Potential impacts of planned WES on birds and probability of significance of the added mortality were estimated according to methodology of the International Union for Conservation of Nature (IUCN). Characteristics of local bird flights were studied, possible negative impacts of construction and operation of planned WES on birds were estimated, recommendations for its reducing were proposed. At present, the territory of the proposed wind farm is under agricultural landscapes and it is under continual anthropogenic impacts, especially in summer. Ornithological uniqueness of this region lies in high concentration of birds in some seasons, existence of the network of national nature parks, biosphere reserves and other protected areas. Avifauna of the area of planned WES is characterized by the high level of species diversity. A total of 235 bird species from 18 orders have been registered, 143 of them are breeding, 118 species are wintering, 213 migrants and 16 sedentary species occur during the migratory period. According to the results of synchronous counts of birds during the pre-migratory period, 12 317 individuals of 69 bird species were counted at three OP. Birds of 29 species flew transiting over OP. The most numerous species were *Larus melanocephalus* (279.9 ind./ per one count) and *Corvus frugilegus* (216.8 ind./ per one count), together these form 72.6% of all birds. *Hirundo rustica*, *Larus ridibundus* and *Sturnus vulgaris* also were numerous, giving a total of 12.7% of all birds. More frequently, local flights of birds over OP occurred at altitudes of 20–120 m (89% of individuals). Overall, most birds flew in a southern direction at all points – 49% and only 3–8% of birds flew in eastern direction and north-western direction. During the migratory period, 11 5406 individuals of 113 bird species were counted at three OP, among them 28 602 (24.8%) individuals of 59 (52.2%) bird species flew transiting over OP. Among those, the most numerous species were *Sturnus vulgaris* (1 117,2 ind./ per one count), *Larus ridibundus* (352,6 ind./ per one count) and *Corvus frugilegus* (232,4 ind./ per one count), which together accounted for 82,9% of all birds. *Carduelis carduelis*, *Acanthis cannabina*, *Tadorna tadorna*, *Fringilla coelebs*, *Corvus monedula* and *Anser albifrons* were also numerous and together accounted for 11,3% of birds. Overall, evident directions of migration over OP were not observed. Most waterfowl and birds of prey flew over this area at altitudes of 120-170 m. During the winter period 10 710 individuals of 42 bird species were counted at three OP, among them 1 163 individuals of 13 species flew transiting over OP. The most numerous species in winter was *Tadorna tadorna* (350,00 ind./ per one count, 58,8% of all counted birds). *Larus canus*, *Sturnus vulgaris*, *Acanthis cannabina*, *Larus ridibundus* and *Corvus frugilegus* were also numerous and together accounted for 30,6% of all birds. Local flights of most birds over the area of planned WES were at altitudes of 40–120 m. More than 42,1% of birds (exclusively passerines) flew over the area of planned WES at dangerous heights, but waterfowl and birds of prey flew at more safe altitudes. According to calculated probability of collisions of birds with WT, the most endangered model species are *Pelicanus roseus*, *Egretta alba*, *Ardea cinerea*, *Grus grus*; less at-risk species are *Circus pygargus*, *C. aeruginosus*, *Buteo buteo*, *B. lagopus*, *Phalacrocorax carbo*, *Pandion haliaetus*, *Larus cachinnans*. The potential risks of collisions with WT for the other waterfowl species and birds of prey are very low.

Prediction of significance of the added mortality show its rather low level safe for birds in the region of planned WES and it won't be negative for state of bird populations. Taking into account the fact that many birds fly regularly at dangerous altitudes over some sections of planned WES, it is recommended that WT should not be located in hypothetical corridors between Molochny and Utlyutsky limans, near villages Davydivka – Shelyugy and Kosykh – Limanske. It is also recommended that WT should not be located within a radius of 0.5 km from the water bodies and wooded lands along the shore of Molochny Liman and at the northern coast of Utlyutsky Liman. *Key words:* avifauna, birds, WES, local flights, migrations, north-western coast of the Sea of Azov, threats to birds.

Постановка проблеми. Потенційними небезпеками для птахів від вітрових електростанцій (далі – ВЕС) є: втрата або деградація середовища існування; штучні об'єкти, що призводять до переміщення або зникнення птахів, у тому числі створюють перешкоди для їхнього руху; загибель від зіткнення з агрегатами вітроенергетичних установок (далі – ВЕУ) й пов'язаної з ними інфраструктури (лінії електропередачі, трансформатори, будівлі тощо). Тож необхідне виявлення змін орнітокомплексу й порівняння його стану на території ВЕС із прилеглими до неї територіями як до будівництва, так і після його завершення.

Актуальність дослідження. Останнім часом територія Північно-Західного Приазов'я зазнає по-

тужного антропогенного впливу, зокрема, зумовленого високим рекреаційним навантаженням, особливо в літній період, а в останнє десятиріччя додався ще й швидкий розвиток енергетики – спорудження в регіоні вітроелектростанцій (ВЕС), сонячних електростанцій (СЕС) і ліній електропередачі (ЛЕП). Дослідження впливу цих енергетичних об'єктів на птахів дуже актуальне з урахуванням орнітологічної унікальності Азово-Чорноморського регіону України, яка визначається найвищою в межах країни концентрацією птахів в окремі сезони року. Але відсутні тривалі дослідження, які охоплюють всі періоди річного циклу птахів впродовж декількох років, що потрібно для розробки ефективних захо-

дів із мінімізації наслідків будівництва ВЕС, а також тривалий моніторинг впродовж їхньої експлуатації.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Робота виконана в рамках дослідження «Моніторинг орнітофауни території проєктованої Азовської ВЕС для оцінки можливих загроз птахам від її експлуатації» на замовлення ТОВ «ЕНБІТІ Україна» (2018–2019 рр.).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основою для роботи є публікації в області вітрової енергетики й охорони птахів таких дослідників, як R.H.W. Langston et.al., J.C. Atienza et. al., І.П. Горлова зі співавторами, О.Ю. Андрущенко зі співавторами [1–5].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Для охорони птахів важливо виявлення сезонних особливостей орнітофауни Північно-Західного Приазов'я, визначення напрямків і висоти локальних перельотів і міграції птахів та їх кількісна оцінка, прогнозування можливих негативних наслідків від будівництва й функціонування проєктованої ВЕС.

Новизна. Останнім часом в Україні почали з'являтися публікації, присвячені різним аспектам впливу ЛЕП на диких птахів, але дуже мало робіт про вплив ВЕС; на жаль, у них не дається аналіз птахо небезпечності ВЕУ, відсутні дані про тривалість обліків у годинах і кількість пунктів спостереження. Вперше безпрецедентні для України дослідження за кількістю спостерігачів, тривалістю, безперервністю спостережень та охопленням значної території сезонних перельотів птахів були проведені на північному узбережжі Західного Сиваша навесні й восени 2018 р. у районі Сиваської ВЕС [6; 7]. У статті вперше проведена комплексна експертна оцінка стану орнітофауни Північно-Західного Приазов'я в межах території проєктованої ВЕС та її можливих загроз для птахів.

Методологічне або загальнонаукове значення. На Азово-Чорноморському узбережжі України вже введені в дію 12 ВЕС, проведено проєктування та почата будова ще 20 ВЕС. У Північно-Західному Приазов'ї вже діють Ботіївська й Приморська ВЕС, почато будівництво Мордвинівської ВЕС. Дослідження впливу ВЕС на птахів дуже актуальні тому, що останні розміщені поблизу великих водно-болотних угідь, частина яких є складником Приазовського й Азово-Сиваського національних природних парків, де формуються масові сезонні скупчення птахів. Значна кількість цих птахів регулярно здійснює перельоти між цими водоймами й може наражатися на небезпеку зіткнення з лопатями ВЕС. Тож для мінімізації уражень птахів у період будівництва ВЕС і впродовж їхньої експлуатації потрібна розробка ефективних заходів унеможливлення цього [8–14].

Головна мета роботи. Метою є експертна оцінка стану орнітофауни на території проєктованої ВЕС,

оцінка можливого негативного впливу її будівництва й експлуатації на птахів, розробка рекомендацій із його мінімізації.

Матеріал та методики дослідження. Ділянка, що пропонується для будівництва ВЕС, розташована між Молочним та Утлюцьким лиманами й Азовським морем у межиріччі річок Молочна, Малий і Великий Утлюки, на півночі межує зі смт Якимівка, а на півдні – зі смт Кирилівка Якимівського району Запорізької області. Відповідно до схеми фізико-географічного районування, ця територія розташована в Утлюцько-Молочанському ландшафтному районі сухо степової зони [15]. Кліматичні умови вирізняються одними з найвищих в Україні літніми температурами повітря, значною тривалістю безморозного й вегетаційного періодів, короткою зимою та різко вираженою посушливістю клімату. Природні комплекси значною мірою трансформовані сільськогосподарською діяльністю, а узбережжя – ще й рекреаційною. Інфраструктура господарства представлена зрошувальними каналами, чисельними автошляхами, лініями електропередачі.

Польові дослідження проводилися за загальноприйнятими орнітологічними методиками обліків на трансекті [16–19]. Для з'ясування висот і напрямків локальних і міграційних перельотів птахів проводилися точкові обліки на 3-х стаціонарних пунктах спостереження (далі – ПС) із вільним круговим оглядом території в радіусі понад 2 км, розташованих на півночі, в центрі й на півдні досліджуваної території (рис. 1). На мапі наносились «треки» – графічні позначення напрямків і тривалості переміщення особин цільових видів (журавлеподібних, пеліканоподібних, лелекоподібних, сивкоподібних, гусеподібних), що пролітали на небезпечних висотах через коло повітряного простору діаметром 4 км із центром над пунктом спостереження. Обліки на трансекті проводилися на позашляхових автомобілях в облікових квадратах розміром 10x10 км, на які умовно поділений весь південь України [20]. Для максимального охоплення території обліками вона обстежувалася човниковим способом. У межах облікових квадратів маршрути закладалися таким чином, щоб найповніше оглянути всю їхню площу. Облік на трансекті використовували насамперед для фонових видів (дрібні соколоподібні, куроподібні, голубоподібні, більшість горобцеподібних).

У серпні-грудні 2018 р. перельоти птахів досліджували за такою схемою: кожен півмісяця впродовж 3-х днів тригодинні спостереження одночасно на трьох ПС (вранці, вдень та увечері), тривалість яких склала 234 години (по 78 годин на кожному ПС). Трапляння птахів (ос./облік) отримано поділом чисельності особин, облікованих на ПС за весь період досліджень, на кількість днів спостережень (в цілому 81 облік): у передміграційний період (серпень) – 18 обліків, у міграційний (вересень – початок листопада) – 45 і в зимовий (кінець листопада – грудень) період – 18. Модельною групою

птахів для дослідження потенційних загроз від зіткнення з ВЕУ обрано коловодні види, а також соколоподібні, що є найуразливішою групою на території вітропарків [1–3; 21–23]. Для уточнення видового складу, визначення чисельності й розповсюдження птахів на водоймах та агроландшафтах у ці ж дні на автомобільних маршрутах обстежувалися 20 облікових квадратів 10x10 км, з яких 9 охоплюють проєктований вітропарк, а 11 – прилеглі території (рис. 1).

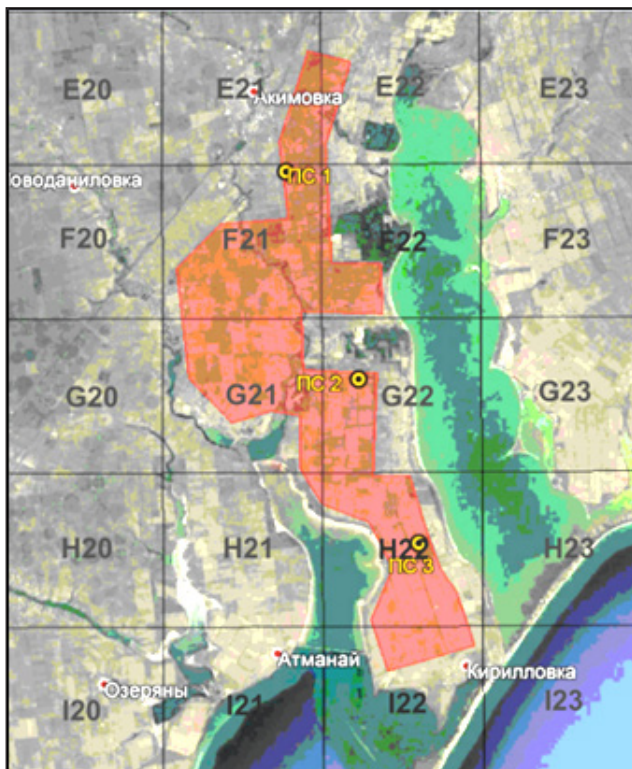


Рис. 1. Карта-схема району досліджень: територія проєктованої ВЕС (штрихування); облікові квадрати 10x10 км (сітка); пункти спостереження за перельотами птахів (ПС)

Видовий склад і статус птахів наведено за дослідженнями 2013–2018 рр. [8; 10; 11; 20; 24–32]. Оцінка ймовірності зіткнення птахів заснована на математичних розрахунках перетину фізичного тіла, відповідної маси й розміру з певною швидкістю загрозливої зони вітроагрегатів. У більшості випадків це максимальна вірогідність, яка не передбачає особливостей поведінки птаха, але такі цифри надають уявлення про можливий негативний вплив на птахів у межах вітропарку. Розрахунки ймовірності зіткнення птахів із ВЕУ здійснено за формулою [22]: $P(r) = (b\Omega / 2lv) [K | \pm c \sin \gamma + a c \cos \gamma | + 1]$, де p – ймовірність зіткнення птаха (%); r – його відстань від втулки (м); b – кількість лопатей у роторі; Ω – кутова швидкість ротора (радіан/сек); C – ширина лопаті по хорді (м); Γ – кут нахилу лопаті ($^\circ$); R – зовнішній радіус ротора; L – довжина птаха (м); W – розмах крил птаха (м); β – відношення довжини тіла птаха до її ширини; (l/w) ; v – швидкість прольоту птаха через ротор (м/с);

r – радіус точки прольоту птаха (м); $\alpha = v / r\Omega$; $F = 1$ для птахів, що махають крилами (немає залежності від ϕ); $K = 0$ для лінійної (одновимірної) моделі (ротор без нульової ширини по хорді). У розрахунках використовувалися швидкості польоту й біометрія різних видів птахів [21; 33; 34].

Потенційний вплив проєктованої ВЕС на птахів оцінено за методикою прогнозування значущості додаткової смертності (PBR). Прогнозування цього показника базувалося на аналізі біологічно безпечного рівня вилучення (так званого «потенційного біологічного вилучення») – максимальної кількості особин виду, загибель якої не призведе до незворотних наслідків для певної популяції. Значення PBR виражається формулою: $PBR = 0,5 * R_{max} * N_{min} * f$, де R_{max} – максимальний потенційний темп зростання популяції; N_{min} – мінімальна чисельність популяції; f – коефіцієнт у діапазоні (0,1; 1), що відбиває статус популяції та першочерговість її збереження. Як мінімальну чисельність популяції розглядали сумарну чисельність птахів, що за нашими спостереженнями використовувала територію проєктованої ВЕС. Такий метод широко вживається в рибному й китобійному промислі, оцінці додаткової смертності на ВЕС і безпечного поглинання морських птахів, але підходить переважно для птахів із великими розмірами тіла й великою популяцією [23; 34].

Використовували категорії небезпеки птахів, запропоновані Міжнародною спільнотою з охорони природи [33], яка посилається на статус глобальної (світової) популяції, для якої було обрано охоронний (мінімальний) варіант для оцінки її чисельності. Для видів птахів категорії найменшого ризику (lc) рекомендований коефіцієнт $f=0,5$ (якщо стан популяції стабільний або зростає, можна використовувати $f=1,0$). Для видів категорії «близький до загрозливого» (nt) прийнято коефіцієнт $f=0,3$. Для видів, що знаходяться під загрозою зникнення (вразливі – vu , зникаючі – en і на межі зникнення – cr), застосовується коефіцієнт $f=0,1$. R_{max} було розраховано на основі відомого середнього віку першої інкубації в популяції (a) й річного (щорічного) виживання зрілих особин (s) з використанням максимального темпу зростання популяції (λ_{max}): $\lambda_{max} = \{(s * a - s + a + 1) + [(s - s * a - a - 1)^2 - 4 * s * a^2] - 1\} / 2 * a$; $R_{max} = \lambda_{max} - 1$; N_{min} – мінімальна чисельність особин, облікованих у межах досліджуваної території [23].

Результати та їх обговорення. Авіфауна території проєктованої ВЕС характеризується високим видовим різноманіттям, що є відбиттям її ландшафтно-біотопічного розмаїття [27; 35–40]. Усього у 2013–2018 рр. тут спостерігалось 235 видів птахів із 18 рядів, з яких для 143 видів доведено або припускається гніздування, а 118 видів регулярно або спорадично зустрічаються на зимівлі (табл. 1). Найбільше видове різноманіття птахів властиве міграційному періоду (відзначено 213 видів-мігрантів і 16 осілих видів).

Таблиця 1

Видовий склад і статус перебування птахів, що зустрічаються в районі проєктованої ВЕС

Вид	Статус*	Дж.інф.**	Вид	Статус*	Дж.інф.**
<i>Gavia arctica</i>	М	Л	<i>Pernis apivorus</i>	М	ПС
<i>Podiceps ruficollis</i>	Г-М-3Н	++	<i>Milvus migrans</i>	М	ПС
<i>Podiceps nigricollis</i>	ГН-М	++	<i>Circus cyaneus</i>	М-3	ПС
<i>Podiceps cristatus</i>	Г-М-3Н	++	<i>Circus macrourus</i>	М	ПС
<i>Pelecanus onocrotalus</i>	М	ПС	<i>Circus pygargus</i>	ГН-М	ПС
<i>Phalacrocorax carbo</i>	М-3Н	ПС	<i>Circus aeruginosus</i>	Г-М-3Н	ПС
<i>Botaurus stellaris</i>	Г-М-3	Л	<i>Accipiter gentilis</i>	Г-М-3	++
<i>Ixobrychus minutus</i>	Г-М	++	<i>Accipiter nisus</i>	М-3	ПС
<i>Nycticorax nycticorax</i>	ГН-М	++	<i>Buteo lagopus</i>	М-3	ПС
<i>Ardeola ralloides</i>	Г?-М	Л	<i>Buteo rufinus</i>	Г-М-3Н	ПС
<i>Egretta alba</i>	Г-М-3Н	ПС	<i>Buteo buteo</i>	Г-М-3	ПС
<i>Egretta garzetta</i>	Г-М	ПС	<i>Circaetus gallicus</i>	М	Л
<i>Ardea cinerea</i>	Г-М-3Н	ПС	<i>Haliaeetus albicilla</i>	М-3	++
<i>Ardea purpurea</i>	Г-М	++	<i>Falco cherrug</i>	М-3	+
<i>Platalea leucorodia</i>	Г?-М	Л	<i>Falco peregrinus</i>	М-3	ПС
<i>Plegadis falcinellus</i>	ГН-М	+	<i>Falco subbuteo</i>	Г-М	ПС
<i>Ciconia ciconia</i>	Г-М	++	<i>Falco columbarius</i>	М-3	ПС
<i>Ciconia nigra</i>	М	Л	<i>Falco vespertinus</i>	Г-М	ПС
<i>Branta bernicla</i>	МН	Л	<i>Falco tinnunculus</i>	Г-М-3Н	ПС
<i>Rufibrenta ruficollis</i>	М-3Н	Л	<i>Perdix perdix</i>	О	ПС
<i>Anser anser</i>	Г-М-3	Л	<i>Coturnix coturnix</i>	Г-М-3Н	ПС
<i>Anser albifrons</i>	М-3	ПС	<i>Phasianus colchicus</i>	О	ПС
<i>Cygnus olor</i>	Г-М-3	++	<i>Grus grus</i>	М	ПС
<i>Cygnus cygnus</i>	М-3	ПС	<i>Anthropoides virgo</i>	М	Л
<i>Tadorna ferruginea</i>	Г-М-3Н	++	<i>Rallus aquaticus</i>	Г-М-3Н	++
<i>Tadorna tadorna</i>	Г-М-3	ПС	<i>Porzana porzana</i>	Г-М	Л
<i>Anas platyrhynchos</i>	Г-М-3	ПС	<i>Porzana parva</i>	Г-М	Л
<i>Anas crecca</i>	М-3Н	++	<i>Crex crex</i>	М	Л
<i>Anas strepera</i>	Г-М-3Н	++	<i>Gallinula chloropus</i>	Г-М-3Н	++
<i>Anas penelope</i>	М-3Н	Л	<i>Fulica atra</i>	Г-М-3Н	ПС
<i>Anas acuta</i>	М-3Н	++	<i>Otis tarda</i>	МН-3Н	ПС
<i>Anas querquedula</i>	Г-М-3Н	ПС	<i>Burhinus oedicnemus</i>	Г-М	Л
<i>Anas clypeata</i>	ГН-М-3Н	++	<i>Pluvialis squatarola</i>	М-3Н	++
<i>Netta rufina</i>	Г-М-3Н	++	<i>Pluvialis apricaria</i>	М	Л
<i>Aythya ferina</i>	Г-М-3	++	<i>Charadrius hiaticula</i>	М	++
<i>Aythya nyroca</i>	Г-М-3Н	++	<i>Charadrius dubius</i>	Г-М	++
<i>Aythya fuligula</i>	М-3Н	++	<i>Charadrius alexandrinus</i>	Г-М	Л
<i>Aythya marila</i>	М-3Н	Л	<i>Vanellus vanellus</i>	Г-М-3Н	ПС
<i>Bucephala clangula</i>	М-3	Л	<i>Arenaria interpres</i>	М	++
<i>Oxyura leucocephala</i>	МН	Л	<i>Himantopus himantopus</i>	Г-М	++
<i>Mergus serrator</i>	М-3Н	Л	<i>Recurvirostra avosetta</i>	Г-М-3Н	++
<i>Mergus merganser</i>	М-3Н	Л	<i>Haematopus ostralegus</i>	Г-М	++
<i>Pandion haliaetus</i>	М	ПС	<i>Tringa ochropus</i>	М-3Н	ПС

Продовження таблиці 1

Вид	Статус*	Дж.інф.**
<i>Tringa glareola</i>	М	++
<i>Tringa nebularia</i>	М	ПС
<i>Tringa totanus</i>	Г-М-Зн	++
<i>Tringa erythropus</i>	М	++
<i>Tringa stagnatilis</i>	М	ПС
<i>Actitis hypoleucos</i>	М	ПС
<i>Xenus cinereus</i>	М	Л
<i>Phalaropus lobatus</i>	М	+
<i>Philomachus pugnax</i>	М	ПС
<i>Calidris minuta</i>	М	++
<i>Calidris temminckii</i>	М	Л
<i>Calidris ferruginea</i>	М	++
<i>Calidris alpina</i>	М-Зн	++
<i>Calidris canutus</i>	М	Л
<i>Calidris alba</i>	М-Зн	Л
<i>Limicola falcinellus</i>	М	Л
<i>Lymnocyptes minimus</i>	М-Зн	Л
<i>Gallinago gallinago</i>	М-Зн	++
<i>Gallinago media</i>	М	Л
<i>Scolopax rusticola</i>	М-Зн	ПС
<i>Numenius arquata</i>	М-З	+
<i>Numenius phaeopus</i>	М-Зн	++
<i>Limosa limosa</i>	М	++
<i>Limosa lapponica</i>	М	Л
<i>Glareola pratincola</i>	Г-М	++
<i>Stercorarius pomarinus</i>	Мн	Л
<i>Stercorarius parasiticus</i>	Мн	+
<i>Larus ichthyaetus</i>	Гн-М-Зн	++
<i>Larus melanocephalus</i>	Гн-М	ПС
<i>Larus minutus</i>	М-Зн	ПС
<i>Larus ridibundus</i>	М-Зн	ПС
<i>Larus genei</i>	Г-М-Зн	++
<i>Larus fuscus</i>	Зн	Л
<i>Larus cachinnans</i>	Гн-М-З	ПС
<i>Larus canus</i>	М-З	ПС
<i>Chlidonias niger</i>	М	ПС
<i>Chlidonias leucopterus</i>	М	ПС
<i>Chlidonias hybrida</i>	М	++
<i>Gelochelidon nilotica</i>	Г-М	ПС
<i>Hydroprogne caspia</i>	М	++
<i>Thalasseus sandvicensis</i>	Г-М	+
<i>Sterna hirundo</i>	Г-М	++
<i>Sterna albifrons</i>	Г-М	Л
<i>Columba palumbus</i>	Г-М-Зн	ПС

Вид	Статус*	Дж.інф.**
<i>Streptopelia turtur</i>	Г-М	ПС
<i>Cuculus canorus</i>	Г-М	ПС
<i>Clamator glandarius</i>	Мн	Л
<i>Asio otus</i>	О	++
<i>Asio flammeus</i>	О	Л
<i>Otus scops</i>	Г-М	Л
<i>Athene noctua</i>	О	ПС
<i>Caprimulgus europaeus</i>	Г-М	Л
<i>Apus apus</i>	Г-М	ПС
<i>Coracias garrulus</i>	Г-М	++
<i>Alcedo atthis</i>	Гн-М-Зн	Л
<i>Merops apiaster</i>	Г-М	ПС
<i>Upupa epops</i>	Г-М	ПС
<i>Jynx torquilla</i>	Г-М	++
<i>Dendrocopos major</i>	О	ПС
<i>Dendrocopos syriacus</i>	О	ПС
<i>Riparia riparia</i>	Г-М	ПС
<i>Hirundo rustica</i>	Г-М	ПС
<i>Delichon urbica</i>	Г-М	ПС
<i>Galerida cristata</i>	О	ПС
<i>Calandrella cinerea</i>	Гн-М-Зн	Л
<i>Calandrella rufescens</i>	Г?-М-З	Л
<i>Melanocorypha calandra</i>	Г-М-З	ПС
<i>Melanocorypha leucoptera</i>	Зн	Л
<i>Eremophila alpestris</i>	Зн	Л
<i>Lullula arborea</i>	Г-М	++
<i>Alauda arvensis</i>	Г-М-З	ПС
<i>Anthus campestris</i>	Г-М	ПС
<i>Anthus trivialis</i>	Г-М	ПС
<i>Anthus pratensis</i>	М-Зн	Л
<i>Anthus cervinus</i>	М	ПС
<i>Motacilla flava</i>	Г-М	ПС
<i>Motacilla feldegg</i>	Г-М	Л
<i>Motacilla alba</i>	Г-М-Зн	ПС
<i>Lanius collurio</i>	Г-М	ПС
<i>Lanius minor</i>	Г-М	ПС
<i>Lanius excubitor</i>	М-З	Л
<i>Oriolus oriolus</i>	Г-М	ПС
<i>Sturnus vulgaris</i>	Г-М-З	ПС
<i>Sturnus roseus</i>	Мн	Л
<i>Garrulus glandarius</i>	О	++
<i>Pica pica</i>	О	ПС
<i>Nucifraga caryocatactes</i>	Мн	ПС
<i>Corvus monedula</i>	О	ПС

Закінчення таблиці 1

Вид	Статус*	Дж.інф.**
<i>Columba oenas</i>	М-Зн	Л
<i>Streptopelia decaocto</i>	О	ПС
<i>Corvus corax</i>	О	ПС
<i>Troglodytes troglodytes</i>	М-З?	Л
<i>Prunella modularis</i>	М	Л
<i>Locustella luscinioides</i>	Г-М	Л
<i>Acroceph. schoenobaenus</i>	Г?-М	++
<i>Acrocephalus agricola</i>	Г-М	++
<i>Acrocephalus scirpaceus</i>	Г-М	++
<i>Acroceph. arundinaceus</i>	Г-М	++
<i>Hippolais icterina</i>	Г-М	Л
<i>Sylvia nisoria</i>	Г-М	Л
<i>Sylvia atricapilla</i>	Г-М	ПС
<i>Sylvia borin</i>	Г?-М	ПС
<i>Sylvia communis</i>	Г-М	ПС
<i>Phylloscopus trochilus</i>	Г?-М	ПС
<i>Phylloscopus collybita</i>	Г?-М	ПС
<i>Phylloscopus sibilatrix</i>	Г-М	ПС
<i>Regulus regulus</i>	М-З	Л
<i>Regulus ignicapillus</i>	М	Л
<i>Ficedula albicollis</i>	Г-М	++
<i>Ficedula parva</i>	М	ПС
<i>Muscicapa striata</i>	Г-М	ПС
<i>Saxicola rubetra</i>	Г-М	ПС
<i>Saxicola torquata</i>	Г-М	ПС
<i>Oenanthe oenanthe</i>	Г-М	ПС
<i>Oenanthe pleschanka</i>	Г-М	Л
<i>Oenanthe isabellina</i>	Г-М	ПС
<i>Phoenicurus phoenicurus</i>	Г-М	ПС
<i>Phoenicurus ochruros</i>	Г-М-Зн	++
<i>Erithacus rubecula</i>	Г-М-Зн	ПС

Вид	Статус*	Дж.інф.**
<i>Corvus frugilegus</i>	Г-М-З	ПС
<i>Corvus cornix</i>	О	ПС
<i>Luscinia luscinia</i>	Г-М	Л
<i>Luscinia svecica</i>	Г?-М	++
<i>Turdus pilaris</i>	М-З	++
<i>Turdus merula</i>	Г-М-З	ПС
<i>Turdus iliacus</i>	М-З?	Л
<i>Turdus philomelos</i>	Г-М-Зн	ПС
<i>Turdus viscivorus</i>	М	ПС
<i>Panurus biarmicus</i>	Г-М-З	++
<i>Remiz pendulinus</i>	Гн-М?	Л
<i>Parus ater</i>	Мн-З?	Л
<i>Parus caeruleus</i>	Г-М-З	ПС
<i>Parus major</i>	Г-М-З	ПС
<i>Passer domesticus</i>	О	ПС
<i>Passer montanus</i>	О	ПС
<i>Fringilla coelebs</i>	Г-М-З	ПС
<i>Fringilla montifringilla</i>	З	ПС
<i>Chloris chloris</i>	Г-М-З	ПС
<i>Spinus spinus</i>		Л
<i>Carduelis carduelis</i>	Г-М-З	ПС
<i>Acanthis cannabina</i>	Г-М-З	ПС
<i>Acanthis flammea</i>	Зн	Л
<i>Coccoth. coccothraustes</i>	Г-М-З	ПС
<i>Emberiza calandra</i>	Г-М-З	ПС
<i>Emberiza citrinella</i>	Г-М-З	ПС
<i>Emberiza schoeniclus</i>	Г-М-З	ПС
<i>Emberiza hortulana</i>	Г-М	ПС
<i>Emberiza melanocephala</i>	Г-М	Л
<i>Plectrophenax nivalis</i>	З	Л

* – Статус: Г – гніздиться, Гн – нерегулярно гніздиться, Г? – вірогідно гніздиться, О – осілий, М – мігрує, Мн – мігрує нерегулярно (залітний), З – зимує, Зн – зимує нерегулярно.

** – Дж. інф. – джерело інформації: власні спостереження 2018 р. (ПС – вид траплявся на пунктах спостережень, ++ – в облікових квадратах, до яких входить територія проектованої ВЕС, + – в суміжних облікових квадратах); Л – літературні й ретроспективні дані до 2018 р.

За даними синхронних обліків птахів у передміграційний період 2018 р. на трьох ПС обліковано 12 317 особин 69 видів птахів, з яких транзитно перетнули ПС 6 024 (48,9%) особини 29 (42%) видів. Наймасовішими видами були *Larus melanocephalus* – 279,94 ос./облік і *Corvus frugilegus* – 216,83 ос./облік, що разом становили 72,6% від усіх облікованих птахів (табл. 2). Численними були *Hirundo rustica* – 32,78 ос./облік, *Larus ridibundus* 28,11 ос./облік і *Sturnus vulgaris* 26,06 ос./облік (разом

12,7%). Усі інші види представлені поодинокими особинами або групами по 2–3 особини. В гніздовий період на території майбутньої ВЕС значних переміщень птахів не зафіксовано. Найвні кормові перельоти птахів здійснюють переважно вздовж або в напрямку водойм і в незначній мірі перетинають територію майбутньої ВЕС.

Локальні переміщення на різних ПС відбувалися на різних висотах: на ПС1 і ПС3 більшість птахів летіла на висоті 20–120 м (50% і 89% відповідно),

Трапляння птахів на пунктах спостереження у серпні-грудні 2018 р.

№ з/п	Види	Ос./облік за періодами річного циклу			
		Передміграційний	Міграційний	Зимовий	Всього
1	<i>Pelecanus onocrotalus</i>	0,11			0,02
2	<i>Phalacrocorax carbo</i>	0,17	1,00		0,59
3	<i>Egretta alba</i>		0,62		0,35
4	<i>Egretta garzetta</i>	0,11			0,02
5	<i>Ardea cinerea</i>	0,50	0,47	0,11	0,40
6	<i>Anser albifrons</i>		21,16	7,22	13,36
7	<i>Tadorna tadorna</i>	2,17	36,16	350,00	98,35
8	<i>Anas platyrhynchos</i>		0,87		0,48
9	<i>Anas querquedula</i>	1,00			0,22
	<i>Anas spp.</i>		0,89		0,49
	<i>Aythya spp.</i>		1,78		0,99
10	<i>Pandion haliaetus</i>	0,06			0,01
11	<i>Pernis apivorus</i>		0,11		0,06
12	<i>Milvus migrans</i>		0,04		0,02
13	<i>Circus cyaneus</i>	0,17	0,20	0,72	0,31
14	<i>Circus macrourus</i>		0,02		0,01
15	<i>Circus pygargus</i>	0,67	0,27		0,30
16	<i>Circus aeruginosus</i>	1,39	0,44		0,56
17	<i>Accipiter nisus</i>		0,51	0,44	0,38
18	<i>Buteo lagopus</i>		0,11	1,22	0,33
19	<i>Buteo rufinus</i>	0,06	0,31	0,17	0,22
20	<i>Buteo buteo</i>	1,94	0,87	0,44	1,01
	<i>Buteo spp.</i>			0,06	0,01
21	<i>Falco peregrinus</i>		0,04		0,02
22	<i>Falco subbuteo</i>	0,11	0,07		0,06
23	<i>Falco columbarius</i>	0,06	0,02	0,11	0,05
24	<i>Falco vespertinus</i>	0,28	0,16		0,15
25	<i>Falco tinnunculus</i>	3,72	1,67	0,06	1,77
26	<i>Perdix perdix</i>	2,83	1,31	1,78	1,75
27	<i>Coturnix coturnix</i>		0,13		0,07
28	<i>Phasianus colchicus</i>	0,06	0,02	0,06	0,04
29	<i>Grus grus</i>		8,87		4,93
30	<i>Fulica atra</i>		0,18		0,10
31	<i>Otis tarda</i>		0,04		0,02
32	<i>Vanellus vanellus</i>		2,47		1,37
33	<i>Tringa ochropus</i>	0,56			0,12
34	<i>Tringa nebularia</i>	0,06			0,01
35	<i>Tringa stagnatilis</i>	0,06			0,01
36	<i>Actitis hypoleucos</i>	0,33	0,02		0,09
37	<i>Philomachus pugnax</i>	6,06			1,35
38	<i>Scolopax rusticola</i>		0,02		0,01
39	<i>Larus melanocephalus</i>	279,94	3,11		63,94
40	<i>Larus minutus</i>		0,38		0,21
41	<i>Larus ridibundus</i>	28,11	352,64	31,44	209,15
42	<i>Larus cachinnans</i>	8,33	12,18	2,94	9,27
43	<i>Larus canus</i>		0,31	53,28	12,01

Продовження таблиці 2

№ з/п	Види	Ос./облік за періодами річного циклу			
		Передміграційний	Міграційний	Зимовий	Всього
°	Larus spp.	16,67	11,78		10,25
44	Chlidonias niger	0,11			0,02
45	Chlidonias leucopterus	1,61			0,36
46	Gelochelidon nilotica		1,89		1,05
47	Columba palumbus	1,33	7,42	0,50	4,53
48	Columba oenas			1,22	0,27
	<i>Columba spp.</i>		0,20		0,11
49	Streptopelia decaocto	0,11	0,33		0,21
50	Streptopelia turtur	6,00	0,27		1,48
51	Cuculus canorus		0,04		0,02
52	Athene noctua		0,02		0,01
53	Apus apus	0,17			0,04
54	Merops apiaster	1,17	2,60		1,70
55	Upupa epops	0,22			0,05
56	Dendrocopos major	0,06			0,01
57	Dendrocopos syriacus	0,33	0,27	0,22	0,27
58	Riparia riparia	2,89	0,07		0,68
59	Hirundo rustica	32,78	12,62		14,30
60	Delichon urbica	0,06			0,01
61	Galerida cristata		0,29	0,78	0,33
62	Melanocorypha calandra		0,40	3,61	1,02
63	Alauda arvensis	0,11	8,24		4,60
	<i>Alauda spp.</i>		6,67		3,70
64	Anthus campestris	0,72	0,02		0,17
65	Anthus trivialis	0,11	0,00		0,02
66	Anthus cervinus		0,36		0,20
	<i>Anthus spp.</i>		0,16		0,09
67	Motacilla flava	1,44	0,00		0,32
68	Motacilla alba	2,39	3,49		2,47
	<i>Motacilla spp.</i>		0,33		0,19
69	Lanius collurio	1,44	0,20		0,43
70	Lanius minor	5,22	0,04		1,19
71	Lanius excubitor			0,06	0,01
72	Oriolus oriolus	0,56			0,12
73	Sturnus vulgaris	26,06	1117,16	40,89	635,52
74	Pica pica	2,33	2,51	1,44	2,23
75	Nucifraga caryocatactes		0,02		0,01
76	Corvus monedula	4,61	22,44	0,83	13,68
77	Corvus frugilegus	216,83	232,44	20,44	181,86
78	Corvus cornix	2,17	3,84	3,44	3,38
79	Corvus corax	3,28	1,36	0,72	1,64
80	Troglodytes troglodytes			0,06	0,01
81	Sylvia atricapilla		0,02		0,01
82	Sylvia borin	0,06			0,01
83	Sylvia communis	0,39			0,09
84	Phylloscopus trochilus		0,04		0,02
85	Phylloscopus collybita	0,39	0,93		0,60

№ з/п	Види	Ос./облік за періодами річного циклу			
		Передміграційний	Міграційний	Зимовий	Всього
86	Phylloscopus sibilatrix	0,11			0,02
87	Ficedula parva		0,07		0,04
88	Muscicapa striata	0,28	0,02		0,07
89	Saxicola rubetra		0,02		0,01
90	Saxicola torquata		0,02		0,01
91	Oenanthe oenanthe	0,61			0,14
92	Oenanthe isabellina		0,02		0,01
93	Phoenicurus phoenicurus		0,09		0,05
94	Phoenicurus ochrurus		0,04		0,02
95	Erithacus rubecula		0,04		0,02
96	Turdus pilaris			0,11	0,02
97	Turdus merula		0,11	0,06	0,07
98	Turdus philomelos		0,18		0,10
99	Turdus viscivorus		0,04	0,50	0,14
	<i>Turdus spp.</i>		0,02	2,11	0,48
100	Parus caeruleus		0,22	0,11	0,15
101	Parus major	0,17	0,56	0,83	0,53
102	Passer domesticus	0,17	1,33		0,78
103	Passer montanus	1,39	2,27	7,78	3,30
104	Fringilla coelebs	0,11	28,47	4,67	16,88
105	Fringilla montifringilla		0,02		0,01
106	Chloris chloris	1,50	7,40	0,44	4,54
107	Carduelis carduelis	3,94	76,07	10,00	45,36
108	Acanthis cannabina	0,83	46,78	36,33	34,25
109	Coccothraustes coccothraustes		0,18	0,06	0,11
110	Emberiza calandra	2,50	0,80	6,56	2,46
111	Emberiza citrinella		0,13	0,28	0,14
112	Emberiza schoeniclus	0,06		0,89	0,21
113	Emberiza hortulana	2,17			0,48
°	Всього	684,28	2 052,87	595,00	1 424,77

а на ПС2 – на висоті 10–20м (55%) і 20–120 м (37%). Але в цілому на всіх ПС разом більшість птахів перетинало досліджувану територію на середніх і великих висотах: 89% особин – на висоті 20–120 м. Усі інші птахи в невеликій кількості летіли на інших висотах (рис. 2).

Напрямки локальних перельотів на різних ПС значною мірою теж відрізнялися. Так, на ПС1 і ПС3 для більшості птахів генеральним напрямком був південний, на ПС2 – північно-західний. Але в цілому на всіх трьох ПС більшість птахів перелітало в південному напрямку (рис. 3) – зокрема *Larus melanoccephalus* – 49%. У східному й північно-західному напрямках перелітали від 3 до 8% птахів. В інших напрямках – від 1 до 3%.

У міграційний період на трьох ПС обліковано 115 406 особин 113 видів птахів, з яких транзитно перетнули ПС 28 602 (24,8%) особини 59 (52,2%)

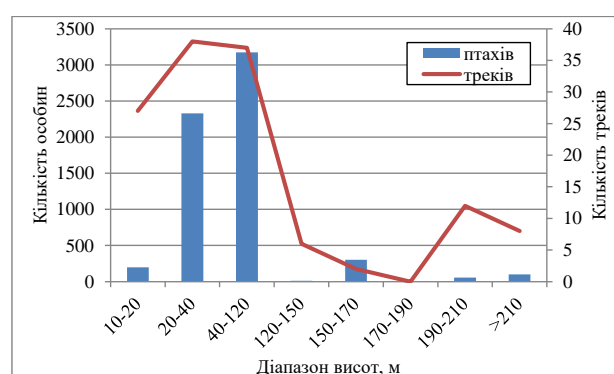


Рис. 2. Висоти перельотів птахів на території проєктованої ВЕС у передміграційний період 2018 р. (чорним позначено небезпечні діапазони – висота ВЕС з лопатями)

видів. Масовими з-поміж них були *Sturnus vulgaris* (1 117,16 ос./облік), *Larus ridibundus* (352,64 ос./облік) і *Corvus frugilegus* (232,44 ос./облік), що разом

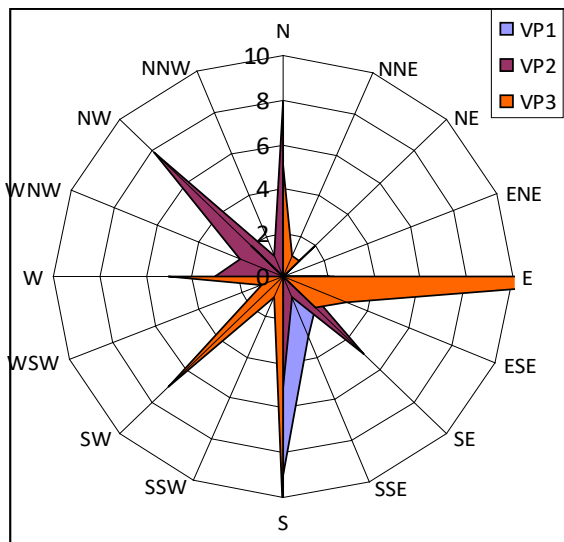
становило 82,9% облікованих птахів, а численними були *Carduelis carduelis* – 76,07 ос./облік, *Acanthis cannabina* – 46,78, *Tadorna tadorna* – 36,16, *Fringilla coelebs* – 28,47, *Corvus monedula* – 22,44 та *Anser albifrons* – 21,16, разом – 11,3% відповідно (табл. 2).

У цілому на досліджуваній території відсутні виражені напрямки перельотів (рис. 4). Так, за кількістю треків загалом переважав південно-західний напрямок, хоча більшість птахів летіла на північний захід. Водночас у північній (ПС1) і південній (ПС2) частинах майбутнього вітропарку напрямки за кількістю треків та особин більш-менш збігалися, тоді як у центральній частині – були майже протилежними.

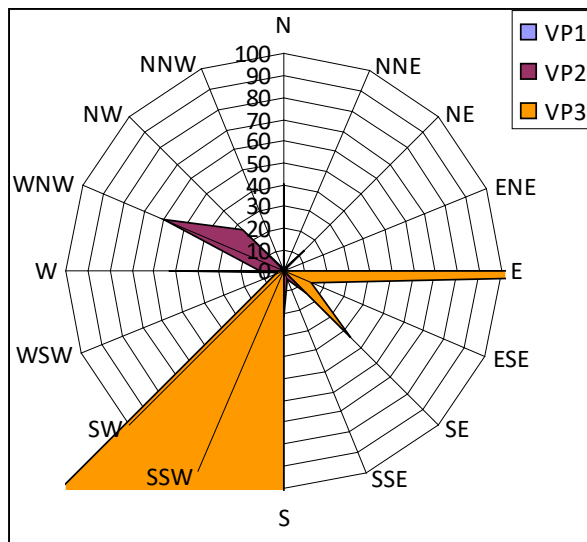
Такий же саме незбіг демонстрували й водно-болотні види, зокрема гусеподібні й сивкоподібні, соколоподібні (рис. 5).

Однак за висотами, на яких птахи перетинали майбутній вітропарк, різні його частини суттєво відрізнялися. На півночі більшість коловодних і хижих птахів летіли на висотах 120–150 м і 10–20 м, у центральній частині – на висоті 150–170 м, а на півдні – на висотах 10–40 м і понад 210 м. Але в цілому для всієї території майбутньої ВЕС більшість коловодних і хижих птахів перелітали в діапазонах висоти 120–150 м, 10–20 м і 150–170 м (рис. 6).

У зимовий період 2018 р. на трьох ПС обліковано 10 710 особин 42 видів птахів, з яких транзитно перетнули ПС 1 163 (10,8%) особини 13 (30,9%) видів. Наймасовішим видом з-поміж них був *Tadorna tadorna* (350,00 ос./облік), що становило 58,8% облікованих птахів, а численними – *Larus canus* (53,28 ос./облік), *Sturnus vulgaris* (40,89 ос./облік),

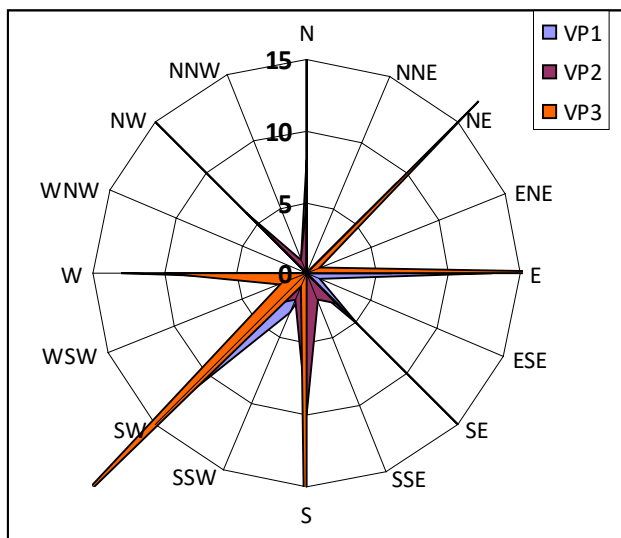


Кількість треків

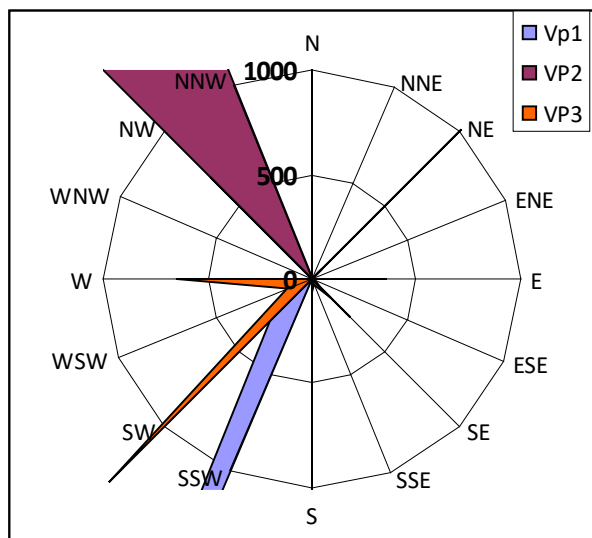


Кількість особин

Рис. 3. Напрямки перельотів птахів на території проекрованої ВЕС у передміграційний період 2018 р.



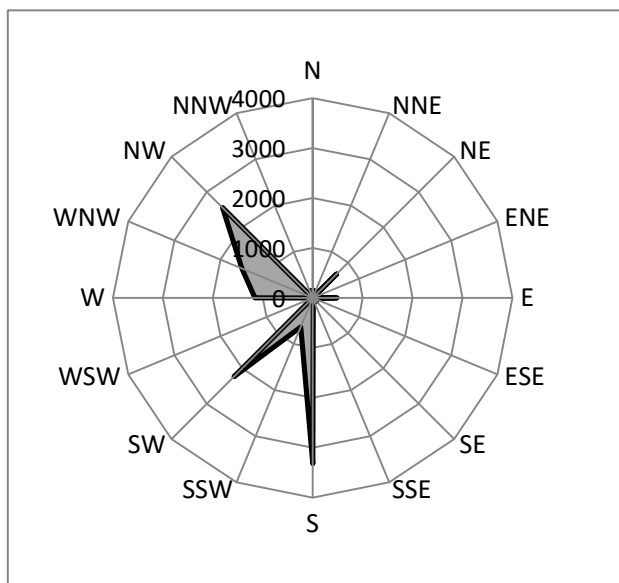
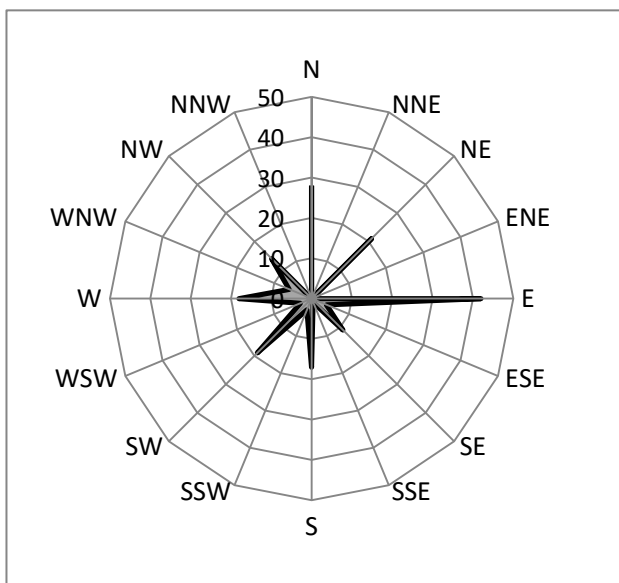
Кількість треків



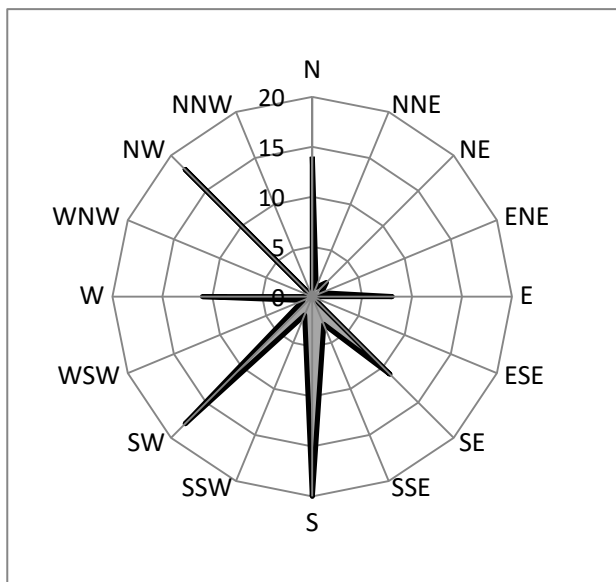
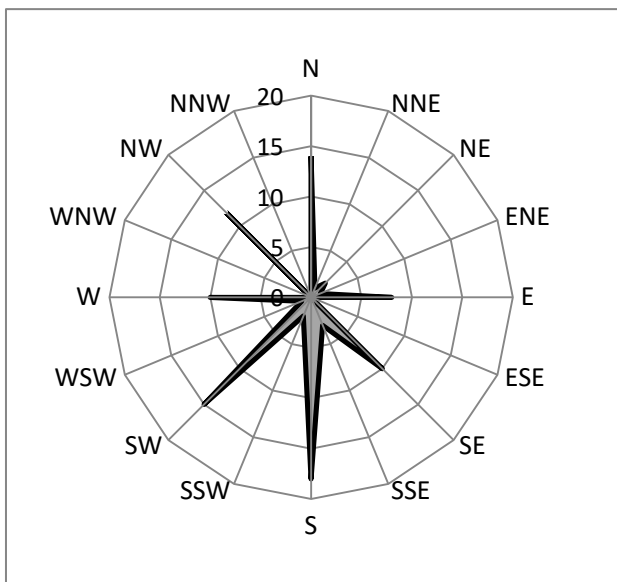
Кількість особин

Рис. 4. Напрямки перельотів птахів на території проекрованої ВЕС у міграційний період 2018 р.

Наволоводні птахи



Соколоподібні



Кількість треків

Кількість особин

Рис. 5. Напрямки перельотів цільових видів птахів у серпні-грудні 2018 р.

Acanthis cannabina (36,33 ос./облік), *Larus ridibundus* (31,44 ос./облік) і *Corvus frugilegus* (20,44 ос./облік), разом – 30,6% відповідно (табл. 2).

Зимові спостереження показали, що в цілому на досліджуваній території відсутні виражені напрямки перельотів (рис. 7). Так, за кількістю треків загалом переважав північно-західний напрямок, дещо менше протилежний – південно-східний, а більшість птахів летіла на північ, північний захід і на південь.

У цілому серед локальних перельотів у межах майданчика проєктованої ВЕС переважали висоти в діапазоні 20–40 м – за кількістю треків і 40–120 м –

за кількістю птахів (рис. 8). Однак у різних частинах вітропарку вони суттєво відрізнялися. На півночі більшість птахів за кількістю треків летіла на висотах 20–40 м, а за кількістю особин – на висотах 40–120 м, тоді як на півдні за кількістю треків більшість летіла теж на висотах 20–40 м, але за кількістю особин – на висотах 150–170 м.

Таким чином, впродовж року більшість птахів здійснюють перельоти в напрямку північ-південь (рис. 9), за виключенням коловодних видів, особливо гусей і качок.

На небезпечних висотах перелітало понад 42,1% особин (54,28% треків) птахів, в основному

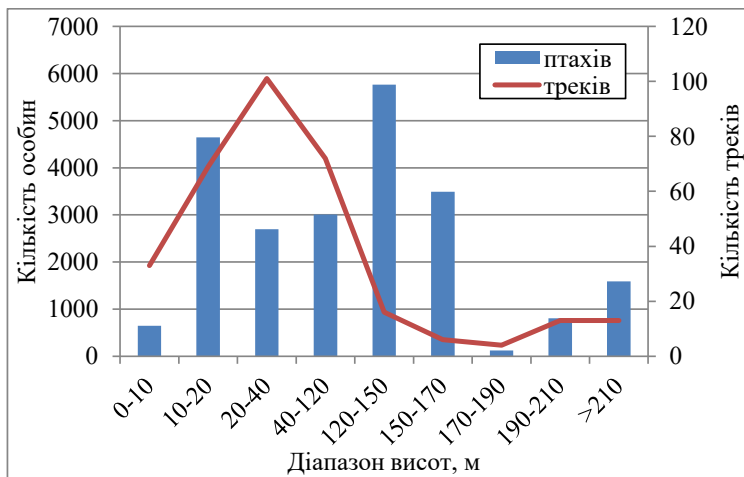
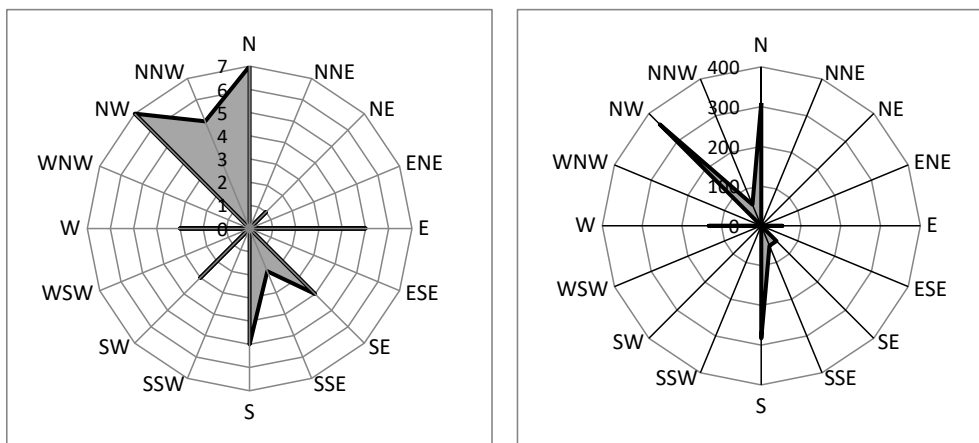


Рис. 6. Висоти перельотів птахів на території проектованої ВЕС у міграційний період 2018 р.



Кількість треків

Кількість особин

Рис. 7. Напрямки перельотів птахів на території проектованої ВЕС у зимовий період 2018 р.

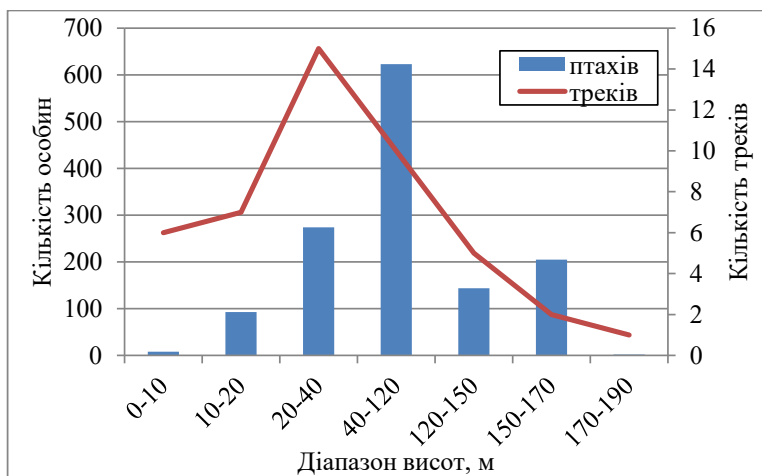
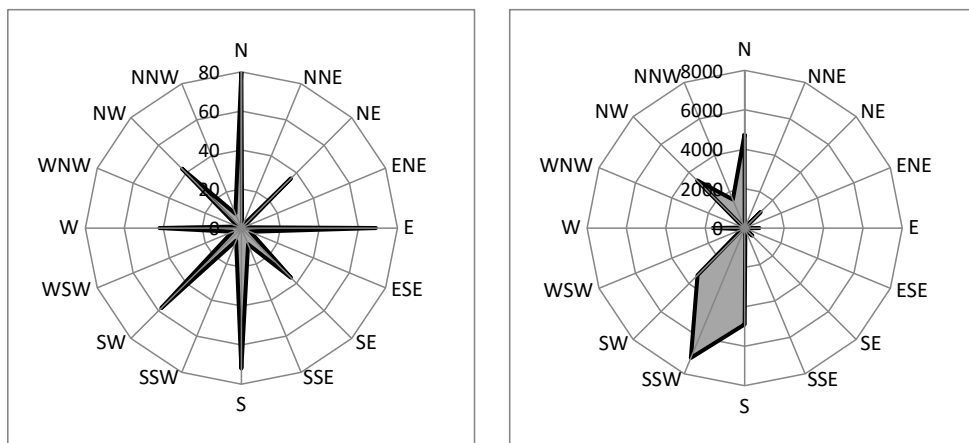


Рис. 8. Висоти перельотів птахів на території проектованої ВЕС у зимовий період 2018 р.



Кількість треків

Кількість особин

Рис. 9. Напрямки перельотів птахів на території проєктованої ВЕС у серпні-грудні 2018 р.

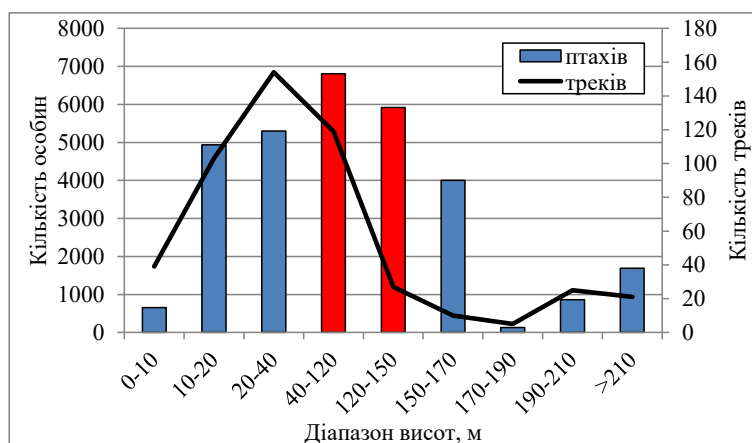


Рис. 10. Висоти перельотів птахів на території проєктованої ВЕС у серпні-грудні 2018 р.

шпака звичайного, який складав понад третину всіх перельотів, та інших горобцеподібних, тоді як доля коловодних і хижих становила лише третину (рис. 10).

Оцінка можливого негативного впливу на птахів. За оцінкою ймовірності зіткнення птахів із ВЕУ, заснованою на математичних розрахунках перетину фізичного тіла, відповідної маси й розміру з певною швидкістю загрозової зони вітроагрегатів, з-поміж цільових видів найвища потенційна загроза притаманна *Pelecanus onocrotalus*, *Egretta alba*, *Ardea cinerea*, *Grus grus*, дещо менша – *Phalacrocorax carbo*, *Pandion haliaetus*, *Circus pygargus*, *Circus aeruginosus*, *Buteo lagopus*, *Buteo buteo*, *Larus cachinnans*, *Merops apiaster* (табл. 3). Тобто види з великими розмірами тіла, як правило, уразливіші від потенційного зіткнення з ВЕУ.

Із зазначених видів потенційно загрозовими ВЕУ можуть бути лише для найчисленніших видів, що транзитно перетинали майданчик ВЕС (за зменшенням чисельності) – *Larus ridibundus* (209,15 ос./облік),

Tadorna tadorna (98,35 ос./облік), *Larus melanocephalus* (63,94 ос./облік), *Anser albifrons* (13,36 ос./облік), *Larus canus* (12,01 ос./облік) і *Larus cachinnans* (9,27 ос./облік). Значно менша загроза для *Grus grus* (4,93 ос./облік), *Falco tinnunculus* (1,77 ос./облік), *Vanellus vanellus* (1,37 ос./облік), *Philomachus pugnax* (1,35 ос./облік), *Gelochelidon nilotica* (1,05 ос./облік) і *Buteo buteo* (1,01 ос./облік). Для інших коловодних і хижих птахів ВЕУ майже не становлять потенційної загрози (табл. 2).

Прогнозування значущості додаткової смертності показало, що для звичайних у регіоні проєктованої ВЕС коловодних видів птахів безпечний рівень додаткової смертності досить низький (табл. 4). Винятком є лише *Vanellus vanellus*, *Larus melanocephalus* і *Larus canus*. Але слід зазначити, що всі сивкоподібні перетинали майданчик на висоті 20–40 м, тобто набагато нижче небезпечної висоти, для якої наведено всі розрахунки. Лише біля 2% *Larus melanocephalus* використовували небезпечні висоти, що скорочує потенційну кількість загиблих

Таблиця 3

Оцінка ймовірності зіткнення з ВЕУ деяких коловодних і хижих птахів

Види	Ймовірності зіткнення, %		
	За вітром	Проти вітру	Середня
Pelecanus onocrotalus	11,8	13,9	12,9
Phalacrocorax carbo	7,3	9,5	8,4
Egretta alba	9,7	12,9	11,3
Ardea cinerea	9,1	12	10,6
Tadorna tadorna	6,5	8,5	7,5
Anser albifrons	6,7	8,7	7,7
Anas platyrhynchos	5,8	7,5	6,7
Pandion haliaetus	6,8	9,2	8
Pernis apivorus	6,7	9,3	8
Circus cyaneus	6	9,6	7,8
Circus macrourus	6,1	9,5	7,8
Circus pygargus	6,7	10,5	8,6
Circus aeruginosus	6,6	9,5	8,1
Accipiter nisus	5,2	8	6,6
Buteo lagopus	7,1	10,1	8,6
Buteo buteo	6,6	9,3	8,0
Falco peregrinus	5,9	8,5	7,2
Falco subbuteo	5,1	7,9	6,5
Falco vespertinus	4,9	7,4	6,2
Falco tinnunculus	5,4	8,6	7
Grus grus	9,2	11,4	10,3
Vanellus vanellus	4,9	7,5	6,2
Tringa nebularia	5	7,6	6,3
Philomachus pugnax	4,7	6,5	5,6
Larus minutus	4,6	7,4	6
Larus ridibundus	5,3	8	6,7
Larus cachinnans	6,7	9,2	8,0
Larus melanocephalus	5,3	8,3	6,8
Larus canus	5,4	7,8	6,6
Chlidonias leucopterus	4,3	7	5,7
Chlidonias niger	4,4	6,1	5,2
У середньому	6,3	8,9	7,7

птахів цього виду до 3 особин, а це в межах потенційно безпечного вилучення.

Тож у більшості випадків якщо й відбуватимуться випадки загибелі певної кількості особин цих видів (і не тільки від зіткнення з ВЕУ), це не матиме негативних наслідків для їх популяцій.

З урахуванням вищенаведеного, зокрема наявності регулярних перельотів значної кількості птахів на вразливих висотах, не рекомендовано споруджувати ВЕУ у двох умовних коридорах, що розташовані між Утлюцьким і Молочним лиманами в районі сіл Давидівка – Шелюги й Косих – Лиманське (рис. 11).

Таблиця 4

Безпечний рівень додаткової смертності для популяції деяких коловодних видів птахів району проєктованої ВЕС

Види	Потенційно безпечно вилучення, ос.	Вірогідна максимальна чисельність загиблених птахів відповідно табл. 3*
Phalacrocorax carbo	18	5
Egretta alba	17	3
Ardea cinerea	48	2
Anas platyrhynchos	5278	3
Anas querquedula	116	? (18)
Fulica atra	20468	? (8)
Vanellus vanellus	7	13
Larus melanocephalus	103	136
Larus canus	23	26
Chlidonias niger	0	0
Chlidonias leucopterus	74	2

* – у дужках наведено загальну чисельність видів, вірогідну загибель яких не можливо було розрахувати

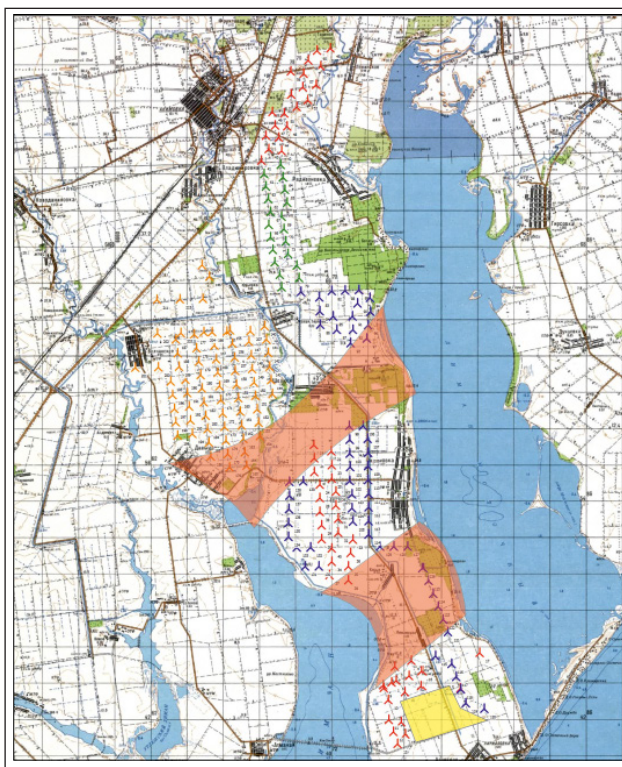


Рис. 11. Схема рекомендованої оптимізації розміщення ВЕУ: територія проєктованої ВЕС (штрихування); ділянки, на яких не рекомендовано спорудження ВЕУ (темна заливка)

Крім того, ці коридори охоплюють природні ділянки, які є цінними для птахів: нижня течія річки Малий Утлюк і ставок, що створений в її гирлі; солончаки вздовж берега Молочного лиману на північний схід

від с. Шелюги; солончаки вздовж берега Молочного лиману на схід від с. Косих; солончаки вздовж берега Утлюцького лиману на південний захід від с. Лиманське.

Крім того, не рекомендується спорудження ВЕУ на відстані меншій, ніж 0,5 км від будь-яких водойм і лісових масивів. Такими є ВЕУ вздовж Алтагирського лісу біля Молочного лиману й ВЕУ на узбережжі північної частини Утлюцького лиману. В таких місцях прогнозується загроза зіткнення з ВЕУ значної кількості коловодних і лісових птахів, а також суттєва деградація їх оселищ.

Головні висновки. Орнітофауна території проєктованої в Північно-Західному Приазов'ї ВЕС складається з 235 видів. Максимальне таксономічне різноманіття птахів (229 видів) спостерігається в період міграцій, мінімальне – в зимовий період (69 видів), для 143 видів доведене гніздування. Найбагатіше представлений водно-болотний орнітокомплекс, що

становить 47% видового складу авіафауни регіону. Більшість птахів здійснюють локальні перельоти в напрямку північ-південь. Понад 42,1% особин (54,28% треків) птахів (переважно горобцеподібних) перетинали майданчик проєктованої ВЕС на небезпечних висотах. Більшість коловодних і хижих птахів перелітали майданчик ВЕС на безпечніших висотах. Потенційно загрозувати проєктована ВЕС може лише великим за розмірами перелітним птахам і переважно в міграційний період, але прогнозована загибель буде незначною та не призведе до негативних наслідків для їх популяцій.

Перспективи використання результатів дослідження. Повніше виявлення загроз для птахів із боку окремих ВЕУ проєктованої ВЕС можливе лише за умови проведення ретельніших досліджень, зокрема безперервних обліків на значно більшій кількості пунктів спостереження переважно в гніздовий і міграційні періоди.

Література

- Langston R.H.W, Pullan J.D. Windfarms and birds: an analysis of the effects of wind farms on birds, and guidance on environmental assessment criteria and site selection issues. Report T-PVS/Inf (2003) 12, by BirdLife International to the Council of Europe, Bern Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats. RSPB/ BirdLife in the UK, 2003. 58 p.
- Atienza, J.C., Martín Fierro I., Infante O., Valls J., Domínguez J. Directrices para la evaluación del impacto de los parques eólicos en aves y murciélagos (versión 3.0). SEO/BirdLife, 2011. Madrid (translated into English as Guidelines for Assessing the Impact of Wind Farms on Birds and Bats (Version 4.0). 115 p.
- Горлов П.І., Сіохін В.Д. Аналіз міжнародного досвіду вивчення впливу вітрових електростанцій на птахів. *Біологічний Вісник Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького*. Мелітополь, 2012. № 1. С. 37–47.
- Горлов П.І., Сіохін В.Д., Долинна О.М., Сіохін Є.В., Сидоренко А.І. Концептуальні та структурні підходи до організації та проведення моніторингу природних комплексів на площадках ВЕС, СЕС та ліній електромереж. *Науково-методичні основи охорони та оцінки впливу на навколишнє природне середовище під час проєктування, будівництва, експлуатації вітрових та сонячних електростанцій, ліній електромереж* : методичний посібник / В.Д. Сіохін, П.І. Горлов, Ю.О. Андрющенко, А.М. Волох та ін. Мелітополь : МДПУ імені Б. Хмельницького, 2014. С. 65–73.
- Андрющенко Ю.А., Попенко В.М. Орнитологические проблемы развития ветровой электроэнергетики на юге Украины. *Природоохоронні аспекти використання відновлювальних джерел енергії в Україні* : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, 15–16 березня 2012 р. Миколаїв : Вид-во ім. Петра Могили, 2012. С. 9–13.
- Андрющенко Ю.А., Бронсков А.И., Бусел В.А., Гринюк П.И., Девятко Т.Н., Дядичева Е.А., Загородний И.В., Ильчук В.П., Козодавов С.В., Черничко Р.Н., Попенко В.М., Форманюк О.А. Предварительные результаты наблюдений за весенним пролетом птиц в районе Сивашской ВЭС в 2018 году. *Актуальные вопросы исследования и охраны птиц* : сборник научных статей / под ред. И.Т. Русева, А.И. Корзюкова, С.Л. Курочкина. Киев : Изд-во Украинского общества охраны птиц, 2018. С. 10–15.
- Андрющенко Ю.А., Бронсков А.И., Бусел В.А., Гавриш Г.Г., Давыденко И.В., Дядичева Е.А., Козодавов С.В., Черничко Р.Н., Попенко В.М., Яковлев М.В. Предварительные результаты наблюдений за осенним пролетом птиц в районе Сивашской ВЭС на Западном Сиваше в 2018 году. *Біорізноманіття степової зони України: вивчення, збереження, відтворення* (з нагоди 10-річчя створення національного природного парку «Меотида») : праці науково-технічної конференції, с. Урзуф, 16–18 жовтня 2019 р. Серія «Conservation Biology in Ukraine». Вип. 13. Слов'янськ : Видавництво «Друкарський двір», 2019. С. 101–108.
- Дядичева Е.А., Черничко И.И., Черничко Р.Н. Современное состояние и динамика сообществ мигрирующих куликов Молочного лимана. *Заповідна справа в Україні*. 2013. Т. 19. Вип. 1. С. 46–49.
- Горлов П.І., Сіохін В.Д. Методика розрахунку ступеня впливу і схеми формування прогностичної моделі та порівняльної оцінки впливу будівництва і експлуатації ВЕС на сезонні комплекси птахів. *Науково-методичні основи охорони та оцінки впливу на навколишнє природне середовище під час проєктування, будівництва, експлуатації вітрових та сонячних електростанцій, ліній електромереж* : методичний посібник. Мелітополь : МДПУ імені Б. Хмельницького, 2014. С. 108–131.
- Дядичева Е.А., Черничко И.И., Попенко В.М., Черничко Р.Н. Сезонная динамика орнитофауны лимана Болградский Сивашик (Запорожская, Херсонская область). *Бранта* : сборник научных трудов Азово-Черноморской орнитологической станции. Мелитополь, 2015. Вып. 18. С. 75–94.
- Дядичева Е.А., Черничко И.И., Попенко В.М., Черничко Р.Н. Характеристика осенних миграций куликов в Северо-Западном Приазовье. *Вопросы экологии, миграции и охраны куликов Северной Евразии* : мат-лы 10-й юбил. конф. Рабочей группы по куликам Северной Евразии, г. Иваново, 3–6 февраля 2016 г. Иваново : Иван. гос. ун-т, 2016. С. 158–166.

12. Дядичева О.А. Видовое разнообразие орнитофауны Приазовского национального природного парка. *Екологія – філософія існування людства* : збірник наукових праць учасників IV Міжнародної науково-практичної конференції, м. Мелітополь, 17 травня 2017 р. / за заг. ред. М.М. Радевої. Мелітополь : ТОВ «Колор Принт», 2017. С. 61–63.
13. Дядичева Е.А., Черничко И.И., Черничко Р.Н. Современное состояние птиц Красной книги Украины в Приазовском национальном природном парке. *Заповідна справа у Степовій зоні України (до 90-річчя від створення Надморських заповідників)* : праці Всеукраїнської науково-практичної конференції, с. Урзуф, 14–15 березня 2017 р. Серія: Conservation Biology in Ukraine. Вип. 2. Т. 2. Київ, 2017. С. 241–250.
14. Дядичева Е.А., Попенко В.М., Черничко И.И., Черничко Р.Н., Андриющенко Ю.А. Гнездовое население водно-болотных птиц лиманов Северо-Западного Приазовья в 2015–2016 гг. *Орнітологічні читання пам'яті М.А. Воїнственського* : збірка праць. *Вестник зоологии*. 2017. Отдельный выпуск № 35. С.34–37.
15. Физико-географическое районирование Украинской ССР / под ред. В.П. Попова, А.М. Маринича, А.И. Ланько. Киев : Изд-во Киев. ун-та, 1968. 683 с.
16. Наумов Р.Л. Методика абсолютного учета птиц в гнездовой период на маршрутах. *Зоологический журнал*. 1965. Т. XLIV. Вып. 1. С. 81–94.
17. Андриющенко Ю.А., Катиш С.В., Попенко В.М., Сіохін В.Д., Черничко Й.І. Методики обліку птахів для оцінки стану ресурсів мисливських видів водно-болотних птахів у мисливських господарствах Азово-Чорноморського регіону України // під редакцією Ю.О. Андриющенко. Мелітополь, 2010. 24 с.
18. Черничко Р.Н. Использование результатов августовских учетов птиц на Азово-Черноморском побережье Украины для обоснования строительства ВЭС. *Бранта* : сборник трудов Азово-Черноморской орнитологической станции. Вып. 17. Мелітополь : Бранта, 2014. С. 50–64.
19. Горлов П.И., Сіохін В.Д., Осадчий В.В., Васильев В.М., Мацюра А.В. Методики изучения миграций птиц на территориях ветровых электростанций. *Биологический вестник Мелітопольского государственного педагогического университета имени Богдана Хмельницкого*. 2016. № 6 (1). С. 8–28. URL: <http://dx.doi.org/10.7905/bbmstu.v6i1.971>.
20. Андриющенко Ю.А., Черничко И.И., Кинда В.В., Попенко В.М., Арсиевич М.Г., Вацке Х., Гавриленко В.С., Горлов П.И., Гринченко А.Б., Думенко В.П., Кириченко В.Е., Кошелев А.И., Кошелев В.А., Лопушанский Е.А., Олейник Д.С., Подпрядов А.А., Прокопенко С.П., Стадниченко И.С., Сиренко В.А., Товпинец Н.Н., Фишер Т., Черничко Р.М. Результаты первого большого учета зимующих птиц в зональных ландшафтах юга Украины. *Бранта*. 2006. Вип. 9. С. 123–149.
21. Alerstam T., Rosén M., Bäckman J., Ericson P.G.P., Hellgren O. Flight speeds among bird species: allometric and phylogenetic effects. *PLoS Biol*. 2007. No. 5. Pp. 1656–1662. DOI: 10.1371/journal.pbio.0050197. URL: <https://journals.plos.org/plosbiology/article?id=10.1371/journal.pbio.0050197>.
22. Wind farm impacts on birds: Wind farm development may have impacts on birds both during construction and once operational. *Scottish natural heritage*. URL: <https://www.nature.scot/professional-advice/planning-and-development/renewable-energy-development/types-renewable-technologies/onshore-wind-energy/wind-farm-impacts-birds>.
23. Watts B.D. Wind and waterbirds: Establishing sustainable mortality limits within the Atlantic Flyway. *Center for Conservation Biology Technical Report Series*. CCBTR-05-10. Williamsburg, 2010. 43 p.
24. Итоги среднезимнего учета водно-болотных птиц 2006 года в Азово-Черноморском регионе Украины: адаптация методик IWC и их апробация / под ред. Г.В. Фесенко. *Бюллетень РОМ*. 2009. Вып. 4. 24 с.
25. Итоги среднезимних учетов водно-болотных птиц 2005, 2007–2010 годов в Азово-Черноморском регионе Украины / под ред. Ю.А. Андриющенко. *Бюллетень РОМ*. 2011. Вып. 7. 64 с.
26. Итоги зимних учетов 2011–2017 / под ред. В.А. Костюшина, Ю.А. Андриющенко. *Бюллетень РОМ*. 2017. Вып. 11. 99 с.
27. Сіохін В.Д., Черничко И.И., Андриющенко Ю.А., Попенко В.М., Аносова И.В., Ардамацкая Т.Б., Багрикова Н.А., Белашков И.Д., Бескаравайный М.М., Гармаш Б.А., Дядичева Е.А., Жмуд М.Е., Залевский В.Д., Кинда В.В., Кирикова Т.А., Коломийчук В.П., Корзюков А.И., Костин С.Ю., Костюшин В.А., Кошелев А.И., Мацюра А.В., Молодан Г.Н., Пилюга В.И., Полуда А.М., Попенко В.М., Руденко А.Г., Русев И.Т., Стойловский В.П., Тарина Н.А., Черничко Р.Н., Яремченко О.А. Численность и размещение гнездящихся околоводных птиц в водно-болотных угодьях Азово-Черноморского региона Украины. *Бранта*. Мелітополь – Киев, 2000. 476 с.
28. Ретроспектива результатов орнитологического мониторинга в водно-болотных угодьях: Молочный лиман / под ред. И.И. Черничко, В.А. Костюшина. *Бюллетень РОМ*. 2015. Вып. 9. 68 с.
29. Черничко И.И., Костюшин В.А., Дядичева Е.А., Винокурова С.В. Итоги учетов птиц на лиманах Северо-Западного Приазовья в августе 2015 года. *Птахи Азово-Чорноморського регіону* : матеріали 34 наради Азово-Чорноморської орнітологічної робочої групи, м. Одеса, 16–18 жовтня 2015 р. Одеса, 2015. С. 113–120.
30. Черничко И.И., Дядичева Е.А., Попенко В.М., Черничко Р.Н. Птицы водно-болотного угодья. Мелководная часть Утлюкского лимана (Северо-Западное Приазовье). *Бранта* : сборник научных трудов Азово-Черноморской орнитологической станции. Мелітополь, 2017. Вып. 20. С. 39–68.
31. Andryushchenko Yu.O., Gavrilenko V.S., Kostiushyn V.A., Kucherenko V.N., Mezinov A.S., Petrovich Z.O., Redinov K.A., Rusev I.T., Yakovlev M.V. Current status of Anserinae wintering in Azov-Black Sea region of Ukraine. *Vestnik Zoologii*. 2019. No. 53 (4). P. 287–312.
32. Kostiushyn V.A., Andryushchenko Yu.O., Goradze I., Abuladze A., Mamuchadze J., Erciyas K. Wintering Waterbird Census in the Azov-Black Sea Coastal Wetlands of Ukraine, Georgia and Turkey. Kyiv : Wetlands International Black Sea programme, 2011. 130 p.
33. Dillingham P.W., Fletcher D. Estimating the ability of birds to sustain additional human-caused mortalities using a simple decision rule and allometric relationships. *Biol. Conserv*. 2008. No. 141. P. 1783–1792. DOI: 10.1016/j.biocon.2008.04.022.
34. Runge M.C., Sauer J.R., Avery M.L., Blackwell B.F., Koneff M.D. Assessing Allowable Take of Migratory Birds. *J. Wildl. Manage*. 2009. No. 73. P. 556–565. DOI: 10.2193/2008-090.

35. Stoilovsky V.P., Korzyukov A.I., Zhmud M.E., Rusev I.T., Nesterenko M.I., Gerzhik I.V., Petrovych Z.O., Ardamatskaya T.B., Rudenko A.G., Yaremchenko O.A., Kostin S.Yu., Chernichko I.I., Andryushchenko Yu.O., Kinda V.V., Popenko V.M., Gorlov P.I., Siokhin V.D., Molodan G.N. Ukraine. Directory of Azov-Black Sea Coastal Wetlands: Revised and updated. Kyiv : Wetlands International, 2003. P. 165–229.
36. Результати моніторингу птахів на ділянці Приазовських Електричних Мереж в період осінніх міграцій : звіт Українського товариства охорони птахів. Донецьк–Київ, 2013 (рук.).
37. Черничко И.И. Значение лиманов Северо-Западного Приазовья в воспроизводстве популяций редких гнездящихся видов птиц. *Вісті Біосферного заповідника «Асканія-Нова»*. 2016. Т. 18. С. 140–145.
38. Осадчий В.В., Єремеев В.С., Конюхов С.Л., Печерський П.І., Васильев В.М. Аналіз програмних засобів для створення інформаційної системи обліку та моніторингу міграцій птахів. *Система обробки інформації* : збірник наукових праць. Харків : Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2015. Вип. 11 (136). С. 93–96.
39. Горлов П.І., Сидоренко А.І., Сіохін В.Д. Багаторічний орнітологічний моніторинг на Ботієвській вітровій станції як об'єктивна складова оцінки впливу вітропарку на птахів. *Вісті Біосферного заповідника «Асканія-Нова»*. 2016. Т. 18. С. 116–130.
40. Кошелев А.И. Кошелев В.А., Николенко А.Н. Заповедное Приазовье. Мелитополь : Люкс, 2010. 180 с.

ЗБЕРЕЖЕННЯ СОЗОФІТІВ СВІТОВОЇ ФЛОРИ EX SITU НА ПІВДНІ УКРАЇНИ

Гавриленко Н.О.

Біосферний заповідник «Асканія-Нова» імені Ф.Е. Фальц-Фейна
Національної академії аграрних наук України
вул. Фрунзе, 13, 75230, смт Асканія-Нова, Херсонська область
askania.park@gmail.com

У статті викладено підсумки дослідження 7 видів дендрозоофітів міжнародного созологічного статусу з високим рівнем ризику зникнення, які культивуються в дендропарку «Асканія-Нова»: *Amygdalus ledebouriana* Schlecht., *Eucommia ulmoides* Oliv., *Euonymus koopmanii* Lauche, *Kolkwitzia amabilis* Graebn., *Malus niedzwetzkyana* Dieck, *Pyrus tadshikistanica* V. Zapr., *Syringa josikaea* Jacq. Встановлено, що рослини виявили високий ступінь адаптації, перебувають у задовільному стані, проходять повний річний цикл розвитку в нових умовах зростання. Всі види рясно цвітуть. Плодоношення *Eucommia ulmoides* і *Kolkwitzia amabilis* вирізняється стабільністю та достатньо високим рівнем рясності, *Pyrus tadshikistanica* – стабільністю та посереднім рівнем рясності, *Euonymus koopmanii*, *Amygdalus ledebouriana* й *Malus niedzwetzkyana* – нестабільністю та загалом невисоким рівнем рясності, *Syringa josikaea* – стабільно низьким рівнем або поодиноким плодоношенням. Доля життєздатного насіння переважно значна – від 83% у *Syringa josikaea* до 90–100% в *Eucommia ulmoides*, *Euonymus koopmanii*, *Kolkwitzia amabilis*, *Pyrus tadshikistanica*. За різних термінів посіву й способів допосівної підготовки насіння його схожість у відкритому ґрунті становила 60% у *Malus niedzwetzkyana*, 66% – *Eucommia ulmoides*, 75% – *Pyrus tadshikistanica*, 70%–87,5% – *Amygdalus ledebouriana*. Визначено оптимальні способи насінного розмноження досліджуваних созофітів. В умовах дендропарку самосійно поновлюється *Eucommia ulmoides*. Чотири види спроможні до вегетативного поновлення (*Amygdalus ledebouriana*, *Euonymus koopmanii*, *Kolkwitzia amabilis*, *Syringa josikaea*), його високі показники властиві *Amygdalus ledebouriana* й *Euonymus koopmanii*, що дало змогу створити інтродукційні популяції останніх за межами колекційної експозиції. Здатність до стійкого природного поновлення *Eucommia ulmoides* (самосівом), *Amygdalus ledebouriana*, *Euonymus koopmanii*, *Kolkwitzia amabilis*, *Syringa josikaea* (вегетативно) можна оцінювати як перспективу до спонтанного збереження їх у дендропарку. **Ключові слова:** дендрологічний парк, созофіти, успішність адаптації, репродуктивна здатність, способи розмноження, природне поновлення.

Conservation of sozophytes of the world flora ex situ in the south of Ukraine. Havrylenko N.

The article presents the results of a study of 7 species of dendrozoophytes of international zoological status with a high level of risk of extinction: *Amygdalus ledebouriana* Schlecht., *Eucommia ulmoides* Oliv., *Euonymus koopmanii* Lauche, *Kolkwitzia amabilis* Graebn., *Malus niedzwetzkyana* Dieck, *Pyrus tadshikistanica* V. Zapr., *Syringa josikaea* Jacq. It has been established that the plants showed a high degree of adaptation. They are in a satisfactory state and have a full annual cycle of development under new growing conditions. All species bloom abundantly. The fruiting of *Eucommia ulmoides* and *Kolkwitzia amabilis* is characterized by stability and a fairly high level of abundance, *Pyrus tadshikistanica* – by stability and a medium level of abundance, *Euonymus koopmanii*, *Amygdalus ledebouriana* and *Malus niedzwetzkyana* – by instability and generally low level of abundance. *Syringa josikaea* is characterized by a stable low level or single fruiting. The proportion of viable seeds is predominantly significant in *Syringa josikaea* from 83% and in *Eucommia ulmoides*, *Euonymus koopmanii*, *Kolkwitzia amabilis*, *Pyrus tadshikistanica* to 90–100%. Their germination in open ground was 60% in *Malus niedzwetzkyana*, 66% – *Eucommia ulmoides*, 75% – *Pyrus tadshikistanica*, 70%–87,5% – *Amygdalus ledebouriana* with different sowing dates and methods of pre-sowing preparation. The optimal methods of seed reproduction of the studied sozophytes were determined. In the conditions of the arboretum, *Eucommia ulmoides* is renewed by self-seeding. Four species have the ability to renew vegetatively (*Amygdalus ledebouriana*, *Euonymus koopmanii*, *Kolkwitzia amabilis*, *Syringa josikaea*). Its high rates are typical for *Amygdalus ledebouriana* and *Euonymus koopmanii*. It allowed to create introduction populations of the latter outside the collection exposition. The ability to sustainable natural regeneration of *Eucommia ulmoides* (self-seeding), *Amygdalus ledebouriana*, *Euonymus koopmanii*, *Kolkwitzia amabilis*, *Syringa josikaea* (vegetatively) can be assessed as the prospect of their spontaneous conservation in the dendrological park. **Key words:** dendrological park, sozophytes, efficiency of adaptation, reproductive ability, manners of propagation, natural renewal.

Постановка проблеми. Збереження раритетних видів рослин ex situ натеper є одним із перспективних заходів активної охорони фіторізноманіття та одним із пріоритетних напрямків діяльності ботанічних садів і дендропарків. Роль цих інтродукційних закладів в утриманні, вивченні та охороні біологічного різноманіття зростає, що має сприяти призупиненню втрат видів рослин, реалізації практичних заходів з їх збереження та забезпечення тривалого використання рослинних ресурсів нинішніми

та прийдешніми поколіннями, чого прагне досягти Глобальна стратегія збереження рослин [1].

Актуальність дослідження. У дендрологічному парку «Асканія-Нова» созологічну компоненту складають 225 видів культивованої флори: 151 належать до Червоного списку МСОП, 67 – Європейського Червоного списку, 6 – Бернської конвенції, 3 – Конвенції про міжнародну торгівлю видами дикої флори і фауни, що знаходяться під загрозою зникнення (CITES), 65 – Червоної книги України, 11 –

Червоного списку Херсонської області. Тут зосереджено найбільше дендрозоекзотів (55,9% видів), зареєстрованих на територіях штучних заповідних парків Степу України; із 12 видів вікових екзотичних дерев *ex situ*, представлених в колекціях дендропарків степової зони, 11 є у дендропарку «Асканія-Нова» [2].

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження проведено в рамках державної бюджетної науково-дослідної роботи «Розробити наукові основи збереження, оптимізації та раціонального використання фітогеноту дендропарку «Асканія-Нова» (2016–2020 рр.)».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У складі раритетної компоненти культивованої дендрофлори парку є види, які в глобальному вимірі [3] знаходяться під загрозою зникнення (EN) – *Amygdalus ledebouriana* Schlecht., *Malus niedzwetzkyana* Dieck, *Syringa josikaea* Jacq., піддаються критичним ризикам зникнення (CR) – *Pyrus tadshikistanica* V. Zapr., вразливі (VU) – *Eucommia ulmoides* Oliv. *Amygdalus ledebouriana* занесений також до Червоної книги Республіки Казахстан [4], *Malus niedzwetzkyana* – Червоної книги Республіки Казахстан [4] та Червоної книги Киргизької Республіки [5], *Syringa josikaea* – Червоної книги України [6]. Із цілої низки видів категорії LC становлять інтерес мало представлені у вітчизняних інтродукційних установах *Euonymus koopmanii* Lauche та *Kolkwitzia amabilis* Graebn. [7].

Метою роботи було вивчення адаптивного потенціалу та розробка методів збереження *ex situ* созофітів світової флори в умовах півдня України, визначення можливостей для їх використання.

Новизна. За підсумками попередніх досліджень перебігу життєвих процесів, еколого-фізіологічної пластичності, особливостей репродукції, успішності адаптації для 60 видів «Червоної книги України» визначено оптимальні методи їх культивування. Відомості щодо інших рідкісних рослин, культивованих у дендропарку, в тому числі й видів міжнародного рівня охорони, фрагментарні. Актуальним для них є вивчення морфобіологічних і екологічних аспектів розвитку, репродуктивної біології, особливостей спонтанного поновлення, способів розмноження та тривалого збереження в рослинних колекціях, зокрема, інтродукційних популяцій в складі штучних фітоценозів, а також визначення сфер і методів використання, для збагачення видової різноманітності культурфітоценозів і паркобудівництва.

Методологічне або загальнонаукове значення. Встановлені адаптаційні особливості созофітів буде використано для збереження раритетного різноманіття світової флори в культурі на півдні України.

Методи роботи. У статті наведено підсумки дослідження у 2016–2019 рр. 7 видів міжнародного созологічного статусу. Сезонний розвиток рослин

вивчали за методикою стаціонарних фенологічних спостережень ГБС СРСР [8], визначали також фенологічний лаг від початку цвітіння до повного дозрівання насіння [9]. Динаміку росту пагонів встановлювали за методикою щодокадних замірів величини зростаючих пагонів [10], їх річний приріст – заміром 25 пагонів з кожної модельної рослини після припинення росту. Рясність плодоношення визначали візуальним методом оцінки насінневої продуктивності за 6-бальною шкалою О.О. Корчагіна [11], масу плодів та насіння – за встановленими нормативами [12]. Наявність самосівного та вегетативного відтворення, збереженість самосійних рослин дослідних видів з'ясовували шляхом перманентних спостережень (періодичність – двічі на тиждень), спроможність рослин до спонтанного поширення внаслідок насінневого поновлення – за відстанню між материнськими та самосійними рослинами. Ступінь вегетативного відтворення рослин оцінювали за шкалою Б.Л. Козловського зі співавторами [13], а їх спроможність до спонтанного поширення внаслідок вегетативного поновлення – за площами, зайнятими особинами вегетативного походження.

Виклад основного матеріалу. Всі дослідні види культивуються при штучному зрошенні в складі експозицій та колекцій, які утримуються за агротехніки систематичної обробки ґрунту (за винятком *Eucommia ulmoides*, яка росте на узбіччі масиву з не порушеним трав'яним покривом). Полив чотириразовий: 1 весняний вологозарядковий у квітні-травні (1000 м³/га), 3 вегетаційних – у червні, липні та серпні (по 600 м³/га), 1 осінній – у вересні-жовтні (1000 м³/га), здійснюється аричним способом, залив води в куртинах суцільний [14].

Вихідні відомості про дослідні види наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Загальна характеристика дослідних видів при культивуванні у дендропарку

Види	Рік інтродукції	Висота, м
<i>Amygdalus ledebouriana</i>	2004	1,1–1,3
<i>Eucommia ulmoides</i>	1970	11,0–12,0
<i>Euonymus koopmanii</i>	1996	0,7–1,2
<i>Kolkwitzia amabilis</i>	2005	1,8–3,0
<i>Malus niedzwetzkyana</i>	1970/1983	9,5–11,0/6,0
<i>Pyrus tadshikistanica</i>	1998	9,0
<i>Syringa josikaea</i>	1948/1969	3,5–4,5

Рослини всіх видів перебувають у задовільному стані, без ознак пригнічення росту. При вирощуванні у дендропарку вони зберігають притаманну їм життєву форму, їхні розміри співставні, а в деяких видів перевищують такі дикорослих рослин. Для порівняння: у природних умовах особини *Amygdalus ledebouriana* (в різних ценопопуляціях, виявлених на Калбінському

Таблиця 2

Показники основних фаз сезонного розвитку соффітів світової флори у дендропарку «Асканія-Нова»

Вид	Характеристика дат	Період вегетації			Ріст пагонів			Цвітіння			Плодоношення			Листопад			Фенологічний лаг
		початок	кінець	трива-лість, дні	початок	кінець	трива-лість, дні	початок	кінець	трива-лість, дні	початок	кінець	трива-лість, дні	початок	кінець	трива-лість, дні	
<i>Amgdalus ledebouriana</i>	сер.	1.03	24.10	230	16.04	17.07	94	7.04	25.04	19	24.07	17.08	25	28.09	24.10	27	138
	min	22.02	8.10	213	13.04	5.07	81	4.04	20.04	14	2.07	13.08	7	17.09	8.10	22	131
	max	6.03	6.11	258	20.04	24.07	103	16.04	30.04	25	9.08	22.08	43	17.10	6.11	29	154
<i>Eucornia ulmoides</i>	к-ть сер.	2	1	2	3	2	2	3	1	1	1	2	2	1	2	2	2
	к-ть ран.	1	1	1	-	1	1	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	к-ть пізн.	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	2	1	1	1
<i>Eucornia ulmoides</i>	сер.	18.03	24.11	256	19.04	26.07	94	17.04	5.05	19	13.10	7.11	27	31.10	24.11	26	203
	min	12.03	15.11	249	20.04	18.07	78	9.04	3.05	14	19.09	27.10	14	28.10	15.11	19	190
	max	23.03	2.12	260	2.05	3.08	104	22.04	8.05	25	30.10	23.11	41	5.11	2.12	29	220
<i>Eucornia ulmoides</i>	к-ть сер.	1	2	3	2	1	1	2	4	2	2	1	2	2	2	1	2
	к-ть ран.	1	1	1	1	1	1	1	-	1	1	1	1	-	1	3	1
	к-ть пізн.	2	1	-	1	2	2	1	-	1	1	1	1	2	1	-	1
<i>Eucornia ulmoides</i>	сер.	29.02	13.09	153	19.04	20.07	93	14.04	14.05	31	19.08	13.09	26				168
	min	12.02	5.09	114	14.04	14.07	92	28.03	29.04	20	12.08	5.09	22				161
	max	23.03	21.09	200	24.04	28.07	96	14.05	3.06	40	27.08	21.09	29				188
<i>Kolkwitzia amabilis</i>	к-ть сер.	1	2	2	1	1	4	1	-	2	2	2	2	2	2	2	2
	к-ть ран.	2	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
	к-ть пізн.	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Kolkwitzia amabilis</i>	сер.	10.03	8.11	244	18.04	13.07	88	10.05	30.05	21	13.07	11.08	28	14.10	8.11	26	98
	min	2.03	4.11	232	8.04	8.07	75	2.05	18.05	17	2.07	2.08	19	7.10	4.11	23	92
	max	20.03	15.11	246	6.05	19.07	100	17.05	10.06	25	19.07	16.08	32	20.10	15.11	29	106
<i>Malus niedzwetzkyana</i>	к-ть сер.	1	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	к-ть ран.	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	к-ть пізн.	1	1	-	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Malus niedzwetzkyana</i>	сер.	18.03	19.10	215	26.04	13.06	50	30.04	18.05	19	11.08	12.09	33	16.09	19.10	35	159
	min	4.03	8.10	193	16.04	2.06	40	20.04	12.05	13	2.08	30.08	23	2.09	8.10	19	143
	max	29.03	30.10	236	3.05	20.06	66	12.05	28.05	25	17.08	4.10	49	25.09	30.10	43	185
<i>Pyrus tadshikistanica</i>	к-ть сер.	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	к-ть ран.	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	к-ть пізн.	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1
<i>Pyrus tadshikistanica</i>	сер.	15.03	24.10	227	19.04	16.07	89	19.04	2.05	15	25.07	19.08	25	29.09	24.10	26	135
	min	29.02	15.10	204	15.04	6.07	80	7.04	24.04	11	15.07	2.08	18	20.09	15.10	16	127
	max	25.03	30.10	256	22.04	23.07	93	4.05	16.05	18	10.08	13.09	35	4.10	30.10	34	144
<i>Syringa josikaea</i>	к-ть сер.	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	к-ть ран.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	к-ть пізн.	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Syringa josikaea</i>	сер.	4.03	6.11	247	11.04	11.07	93	9.05	26.05	17	7.08	3.09	27	8.10	6.11	30	149
	min	25.02	2.11	239	2.04	6.07	86	5.05	23.05	13	2.08	17.08	9	2.10	2.11	23	130
	max	12.03	9.11	256	18.04	18.07	100	17.05	29.05	21	14.08	16.09	41	15.10	9.11	34	169
<i>Syringa josikaea</i>	к-ть сер.	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	к-ть ран.	1	1	1	1	1	1	1	-	1	1	1	1	1	1	1	1
	к-ть пізн.	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	2

хребті в передгір'ях Алтаю), мають середню висоту 62,6 см, 78 см та 122,7 см [15]; *Eucommia ulmoides* – до 20 м [16]; *Euonymus koopmanii* – до 1 м [17]; *Kolkwitzia amabilis* – 2–4 м [18]; *Malus niedzwetzkyana* – до 2–6 (8) м [17]; *Pyrus tadshikistanica* – до 10–15 м [18]; *Syringa josikaea* – до 3–5 м [6].

Усім вивченим видам в умовах південно-степового регіону України властива повна реалізація життєвого циклу. Особливості перебігу сезонних процесів рослин викладено у таблиці 2.

Хоча серед досліджених переважають види з тривалим та дуже тривалим періодом вегетації, їх сезонний фенологічний розвиток свідчить, що він узгоджується з природно-кліматичними умовами регіону інтродукції.

Всі види вирізняються одноразовим ростом пагонів та, за візуальними ознаками, добрим їх визріванням. За показниками приросту пагонів, слабкорослими є *Amygdalus ledebouriana* та *Malus niedzwetzkyana*, найбільш сильнорослими – *Eucommia ulmoides* та *Pyrus tadshikistanica*, інші види посідають проміжне положення.

Рослини всіх видів цвітуть щорічно, цвітіння більшості з них є рясним, *Euonymus koopmanii* та *Syringa josikaea* – добрим.

Плодоношення *Eucommia ulmoides* та *Kolkwitzia amabilis* вирізняється стабільністю та достатньо високим рівнем рясності, *Pyrus tadshikistanica* – стабільністю та посереднім рівнем рясності, *Euonymus koopmanii*, *Amygdalus ledebouriana* та *Malus niedzwetzkyana* – нестабільністю і загалом невисоким рівнем рясності, *Syringa josikaea* – стабільно низьким рівнем або поодиноким плодоношенням.

Плоди і, відповідно, насіння, всіх видів дозрівають в рік зав'язування. Вагові показники генеративних діаспор наведено у таблиці 3.

Таблиця 3

Маса насіння раритетних видів світової флори

Вид	Кількість насіння, шт.	Маса, г
<i>Amygdalus ledebouriana</i> :	211	163,7
крупні плоди	17	18,6
середні плоди	100	89,9
дрібні плоди	94	55,2
<i>Eucommia ulmoides</i>	1 000	81,8
<i>Euonymus koopmanii</i>	300	6,3
<i>Kolkwitzia amabilis</i>	1 000	12,9
<i>Malus niedzwetzkyana</i>	1 000	28,9
<i>Pyrus tadshikistanica</i>	100*	3,1
<i>Syringa josikaea</i>	443	1,01

Примітка: * – До 70% плодів груші таджицької були вражені моніліозом, для досліджень відбирали насіння із неушкоджених яблук, тому його кількість була невеликою

Дослідження якісних показників генеративних діаспор зазначених видів показали значну частку життєздатного (90–98%) та доброякісного (70–88%)

насіння у *Eucommia ulmoides*, *Kolkwitzia amabilis*, *Pyrus tadshikistanica*, (100% життєздатного і доброякісного – у *Euonymus koopmanii*) і досить велику – 83% та 64% – у *Syringa josikaea* дозволили розглядати їх як перспективні для насінного розмноження. При посіві у відкритому ґрунті, за різних термінів посіву і способів допосівної підготовки насіння, його схожість у *Eucommia ulmoides* склала 66%, *Malus niedzwetzkyana* – 60%, *Pyrus tadshikistanica* – 75%. У *Amygdalus ledebouriana* при посіві різних за величиною кісточок ґрунтова схожість у групі дрібних становила 45,5%–70%, середніх – 66%–84%, крупних – 87,5% [19]. Оптимальним способом насінного розмноження *Amygdalus ledebouriana* є осінній посів скарифікованими кістянками, *Eucommia ulmoides* – осінній, а *Pyrus tadshikistanica* – весняний посів без спеціальної підготовки, *Malus niedzwetzkyana* – стратифікованим насінням (не стратифіковане насіння, висіяне навесні, проростає через рік зі схожістю 20%, а через рік схожість його зростає до 60%). Після першої перезимівлі збереглося 53% сіянців *Eucommia ulmoides*, 58% – *Malus niedzwetzkyana*, 61% – *Pyrus tadshikistanica*, 55%–61% у весняному посіві та 57%–88% у осінньому посіві – *Amygdalus ledebouriana*.

Насіння *Syringa josikaea*, *Euonymus koopmanii* та *Kolkwitzia amabilis* в польових умовах не сходило.

Для розмноження дослідних видів також застосовували метод живцювання. При живцюванні здерев'янілими живцями у холодному парнику з використанням трьох препаратів для стимуляції коренетворення процент укорінення у *Euonymus koopmanii* склав 40–45%, за обробки гетероауксином воно почалося через 38 діб, корневимом та чаркором – через 45 діб; у *Syringa josikaea* – 40% при обробці гетероауксином (через 35 діб від початку досліду) і 66% – корневимом (через 45 діб).

При культивуванні у дендропарку самосів виявлено у *Eucommia ulmoides*. Її самосійні особини одно-, трирічного віку виявлені на відстані до 3 м біля крайнього дерева групи, положення якого утворює напівтіньові умови для їх зростання, і відсутні під щільним деревним наметом.

В умовах штучного зрошення окремі дендрозофіти здатні активно розмножуватися вегетативно. Так, спроможність до вегетативної репродукції, за шкалою вегетативного розмноження Б.Л. Козловського зі співавторами, мають *Amygdalus ledebouriana* – 5 балів (завжди дуже рясна важко викорінювана, "агресивна" порось, яка утворює суцільні куртини), щільність порослевих рослин на колекційній ділянці в дендропарку складає від 12 до 22 на 1 м², натепер вони поширилися на площу 15 м²; *Euonymus koopmanii* – 4 бали (рослина добре самостійно розмножується корневими паростками та поступово розширює свій життєвий простір), зараз вона займає територію більше 12 м². У той же час порослеве відтворення у *Kolkwitzia amabilis* та *Syringa josikaea* – 3 бали (нечисельна коренева порось, яка щорічно додає декілька дочірніх

порослевих пагонів). Загалом низькі показники вегетативного розмноження *Kolkwitzia amabilis* та *Syringa josikaea* практично унеможливають їхнє поширення на нові території, тобто вони є вегетативно малорухомими видами. Вегетативне розмноження для таких рослин відіграє важливу роль для утримання площі особинами та, врешті, є запорукою благополуччя виду [20]. Одним із яскравих підтверджень цього є збереження в колекції дендропарку з 1948 року найстарішої особини бузку перського завдяки вегетативному відтворенню.

Спроби розмноження *Amygdalus ledebouriana* та *Euonymus koopmanii* кореневими паростками були успішними, у парку сформовано кілька нових осередків їх зростання.

Eucommia ulmoides, *Malus niedzwetzkyana* та *Pyrus tadshikistanica* є рослинами, які самостійно вегетативно не розмножуються.

Головні висновки. Досліджені созофіти світової флори виявили високий ступінь адаптації при вирощуванні у дендропарку «Асканія-Нова». Здатність до стійкого природного поновлення *Eucommia ulmoides* (самосівом), *Amygdalus ledebouriana*, *Euonymus koopmanii*, *Kolkwitzia amabilis*, *Syringa josikaea* (вегетативно) можна оцінювати як перспективу до спонтанного збереження їх в культурі. *Amygdalus ledebouriana* має значний потенціал до поширення, особливо на колекційній і аналогічних за умовами догляду ділянках парку, а також на необроблюваних, за відсутності скошування травостою.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані результати є основою для збереження світових созофітів *ex situ* в південно-степовому регіоні України та поповнюють інформаційну базу для подальшого наукового, природоохоронного, просвітницького використання.

Література

1. Глобальная стратегия сохранения растений и Конвенция о биологическом разнообразии. URL: www.bgci.org/plants2020_ru/gspc-cbd/.
2. Власенко А.С., Попович С.Ю. Заповідні дендрозозоекзоти Степу України : монографія. Київ : ЦП «Компринт», 2016. 129 с.
3. The IUCN Red List of Threatened Species. URL: www.iucnredlist.org (2020-1).
4. Список растений, занесенных в Красную книгу Казахстана. Об утверждении перечней редких и находящихся под угрозой исчезновения видов животных и растений : Постановление Правительства Республики Казахстан от 31 октября 2006 года № 1034. URL: http://adilet.zan.kz/rus/docs/P060001034_links.
5. Кыргыз Республикасынын Кызыл китеби. Красная книга Кыргызской Республики. 2-е изд. / гл. ред. Э.Дж. Шукуров. Бишкек, 2006. 544 с.
6. Червона книга України. Рослинний світ / за ред. Я.П. Дідуха. Київ : Глобалконсалтинг, 2009. 900 с.
7. Каталог раритетних рослин ботанічних садів і дендропарків України : довідковий посібник / за ред. А.П. Лебеди. Київ : Академперіодика, 2011. 184 с.
8. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР. Москва : ГБС АН СССР, 1975. 27 с.
9. Булыгин Н.Е. Дендрология. 2-е изд., перераб. и дополн. Ленинград : Агропромиздат, 1991. 352 с.
10. Плотникова Л.С. Программа наблюдений за общим и сезонным развитием древесных растений при их интродукции. *Опыт интродукции древесных растений*. Москва : Наука, 1973. С. 80–85.
11. Корчагин А.А. Методы учета семеношения древесных пород и лесных сообществ. *Полевая геоботаника*. Москва–Ленинград, 1960. Т. 2. С. 41–128.
12. ДСТУ 4138: 2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення маси 1000 насінин. Київ : Держспоживстандарт, 2002. С. 17–18.
13. Козловский Б.Л., Огородников А.Я., Огородникова Т.К., Куропятников М.В., Федорова О.И. Цветковые древесные растения Ботанического сада Ростовского университета (экология, биология, география). Ростов-на-Дону, 2000. 144 с.
14. Рубцов А.Ф. Інструкція з ведення паркового господарства при штучному зрошенні. Асканія-Нова, 2014. 33 с.
15. Сумбембаев Ф.А. Новые местонахождения *Amygdalus ledebouriana* Schlecht. – редкого эндемичного вида флоры Казахстана – на Калбинском хребте. *Бюллетень Брянского отделения РБО*. 2018. № 1 (13). С. 22–28.
16. Дендрофлора України. Дикорослі й культивовані дерева і кущі. Покритонасінні. Частина I. Довідник / Кохно М.А., Пархоменко Л.І., Зарубенко А.У. та ін.; за ред. М.А. Кохна. Київ : Фітосоціоцентр, 2002. 448 с.
17. Редкие и исчезающие виды природной флоры СССР, культивируемые в ботанических садах и других интродукционных центрах страны / отв. ред. П.И. Лапин. Москва : Наука, 1983. 302 с.
18. Дендрофлора України. Дикорослі й культивовані дерева і кущі. Покритонасінні. Частина II. Довідник / М.А. Кохно, Н.М. Трофименко, Л.І. Пархоменко та ін.; за ред. М.А. Кохна та Н.М. Трофименко. Київ : Фітосоціоцентр, 2005. 716 с.
19. Гавриленко Н.О. *Amygdalus ledebouriana* Schlecht. в умовах культури у дендропарку «Асканія-Нова». *Чорноморський ботанічний журнал*. 2019. Т. 15. № 4. С. 344–350.
20. Зозулин Г.М. Система жизненных форм высших растений. *Ботанический журнал*. 1961. Т. 46. № 1. С. 3–20.

МОРАЛЬ І МУДРІСТЬ ЗАПОВІДНОЇ ПРИРОДИ

Гетьман В.І.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Василя Липківського, 35, корп. 2, 02000, м. Київ
wi.getman@gmail.com

Гармонійне співіснування людини й природного середовища, що є найважливішою стратегією виживання людини як біологічного виду, можливе за умови збереження природно-заповідних ландшафтів як (певною мірою) еталонів такого співіснування на відповідних територіях.

Мораль як форма суспільної свідомості є відбиттям наявних у країні суспільних відносин і зрештою визначається суспільним буттям, матеріальними умовами життя людей. У ній міститься все цінне з моральних поглядів історичного минулого. Мораль визначає цілісне розуміння сенсу життя, місця та ролі людини в суспільстві й так далі.

Окрім категорії моралі, існує ще поняття моральності як похідне від першого. Моральність у такому випадку виступає як характерна риса, властивість суспільства, колективу, людини тощо.

Мудрість як інтегральна морально-етична категорія містить поняття розуму й добра. Яскравим втіленням народної мудрості в Україні завжди були прислів'я, приказки тощо. Про розумного в народі говорили: скаже, як зав'яже. Тобто поняття мудрості на нашій землі має глибоке національне коріння.

У статті детально проаналізовано такі сакральні (постнекласичні) філософські категорії, як мораль і мудрість, подано власне їх розуміння, а також зроблена спроба відшукати життєдайні джерела й віддзеркалення цих категорій у відчуттях людини (через перцепцію) на заповідних ділянках природи.

Природно-заповідні ландшафти у своїй виховній функції відтворення цього світогляду водночас є національними ландшафтами. У кожному ландшафтному комплексі, на кожному п'ятачку нашої землі зберігається історична національна пам'ять народу, Дух української землі. Тому одним зі шляхів подолання нинішнього кризового стану людської душі є пізнавальне освоєння гуманістичних цінностей заповідних ландшафтів. Заповідний ландшафт закарбував пам'ять про минуле, про багатовікову історію, в ньому живі добро, мораль, інтелект.

Заповідна природа має ще багато неусвідомлених цінностей людиною. Через неповноту й поверховість сучасних знань вони не можуть бути виявлені натепер. Багато що в нашому житті апіорне, знаходиться за межами людського досвіду.

Заповідна природа – скарбниця високої людської моралі й мудрості. Це життєдайне джерело духовного спокою та божої благодаті, примирення зі світом зла й добра, ненависті й любові. Це святі місця, де здійснюється пошук і вершиться таїнство єднання зі світом неземним, починається дорога до вічності, до Бога. *Ключові слова:* мораль, мудрість, ландшафт, заповідна природа, гармонія, перцепція.

Morality and wisdom of the reserved nature. Getman V.

Harmonious coexistence of man and the natural environment, which is the most important strategy of survival of a person as a biological species, is possible under the condition of conservation of nature-protected landscapes, as (to a certain extent) standards of such coexistence in the respective territories.

The article analyzes such sacral (post-classical) philosophical categories as morality and wisdom, gives their understanding of the author, and also attempts to show their life-giving sources and “self-expression” in feelings (through human perception) in protected areas of nature.

The humanistic resources of the reserved landscape becoming today an important part of sustainable development of the society, in particular its social and economic sphere and ideological background. They, in turn, include such an ideal component as the sacred attitude of people to the hidden truths of the wild, with deep pre-Christian (Proto-Slavonic) roots.

Harmonious coexistence of man and the natural environment, which is the most important strategy of survival of a person as a biological species, is possible under the condition of conservation of nature-protected landscapes, as (to a certain extent) standards of such coexistence in the respective territories (the zone of traditional use of biosphere reserves).

The article analyzes such sacral (post-classical) philosophical categories as morality and wisdom, gives their understanding of the author, and also attempts to show their life-giving sources and “self-expression” in feelings (through human perception) in protected areas of nature.

The humanistic resources of the reserved landscape becoming today an important part of sustainable development of the society, in particular its social and economic sphere and ideological background. They, in turn, include such an ideal component as the sacred attitude of people to the hidden truths of the wild, with deep pre-Christian (Proto-Slavonic) roots.

Harmonious coexistence of man and the natural environment, which is the most important strategy of survival of a person as a biological species, is possible under the condition of conservation of nature-protected landscapes, as (to a certain extent) standards of such coexistence in the respective territories. *Key words:* morality, wisdom, landscape, reserved nature, harmony, perception, actuality, worldview, logic, philosophy, sacredness.

У природі все старіє: тварини й рослини, люди й етноси, культури, ідеї та пам'ятники. І все, перетворюючись, відроджується відновленим; завдяки цьому діалектичному закону розвивається наша праматір – біосфера.

Лев Гумільов

Постановка проблеми. Передусім, що таке мораль? Найбільш коротке і водночас недосяжне звичайному розуму за глибиною визначення цього поняття дали філософ Імануїл Кант: «Мораль – розум волі» і поет Генріх Гейне: «Мораль – розум серця». Що розуміти під цими словами, які є філософською конструкцією захмарної висоти?

Мудрість, як інтегральна морально-етична категорія, включає поняття розуму і добра. Яскравим втіленням народної мудрості в Україні завжди були прислів'я, поговірки тощо. Про розумного в народі говорили: скаже, як зав'яже. Тобто поняття мудрості на нашій землі має глибоке національне коріння.

Єдність морального і мудрого (вища філософська єдність) закодована у національному (етнічному) ландшафті, що зберігся ще (в епоху екологічного лихоліття і морально-інтелектуальної стагнації) на природно-заповідних територіях.

Власне, гармонійне поєднання щирої доброти і глибокої мудрості первинної (невинної) дикої заповідної природи і є фундаментальною властивістю біосфери Землі.

Дослідження цих високо моральних (іраціональних) наукових категорій, їх перцепційно-когнітивний пошук на незайманих ділянках (ландшафтах) заповідної природи, збереження з цією метою останніх і має складати надзвичайно важливе завдання науки і загалом суспільно-владних інституцій.

Матеріали та методи. Під час написання статті ми дотримувалися чотирьох рівнів методології науки: філософсько-світоглядного, загальнонаукового, конкретно-наукового і техніки досліджень. Для доведення власних положень було використано аналітичний методологічний прийом (метод аналізу, метод інтроспекції – аналіз власних переживань і цінностей). Також застосовано низку інших методів, зокрема загальнонаукові (логічні) – синтезу, абстракції, індукції і дедукції; конкретно-наукові (методи гуманістичного ландшафтознавства, перш за все спостереження, і перцепційної географії).

У статті використовуються феноменологічні методи представлення заповідних ландшафтів – шляхом опису відчуттів, вражень і значень, якими людина прив'язана до сакральної природи. Матеріалом таких описів є здебільшого інтерпретація власних суб'єктивних переживань, вражень від споглядання заповідного (природного) ландшафту.

Мета статті – показати актуальність пошуку нових (креативних) шляхів і форм охорони і збереження катастрофічно зникаючого ландшафтного і біорізноманіття української заповідної природи

в контексті висвітлення її глибинних гуманістичних витоків, зокрема на основі розгляду екофілософських категорій моралі і мудрості.

Результати дослідження, їх обговорення. Відомо, що все геніальне просте. У філософії мораль (лат. *mores* – звичаї, рос. – *нравы*) – передусім категорія, одна із форм суспільної свідомості (нарівні з наукою, правом, мистецтвом тощо). Філософський словник трактує мораль як норми, принципи, правила поведінки людей, а також як власне людська поведінка (мотиви поступків), почуття, судження людей, у яких віддзеркалюються їх відношення одне до одного, суспільства загалом і влади зокрема.

Здавна мораль виступала як регулятор поведінки, взаємовідношень людей. Керуючись моральними принципами, люди сприяли життєвості суспільства, його «духовному здоров'ю». Своєю чергою, суспільство, підтримуючи і поширюючи ту чи іншу мораль, тим самим формувало людську особистість у відповідності до своїх загальноприйнятих ідеалів. Відтак, мораль суспільства, відповідно, підтримувалась силою колективної думки і зазвичай – переконаннями людей.

Як форма суспільної свідомості, мораль є відображенням існуючих в країні суспільних відносин і в кінцевому підсумку визначається суспільним буттям, матеріальними умовами життя людей. У неї включається все цінне з моральних поглядів історичного минулого. Мораль виявляє цілісне розуміння сенсу життя, місця та ролі людини в суспільстві і так далі. Історичний досвід підтверджує, що у своєму розвитку вона ставала то більш, то менш гуманною. Хоча за канонами всіх релігій світу повинна була витримувати тренд руху до світла і добра, справедливості і порядності. Тобто до всіх чеснот, вироблених людськими цивілізаціями за всю їх історію [13].

Також існує загальнолюдська мораль, елементи якої передаються від покоління до покоління. Це і є мораль Добра і Правди, батьківська мораль дідів і прадідів, мораль Духу рідної землі. У цьому криється питання істинності моралі: наскільки вона відповідає широким верствам людей, наскільки закодована в корінному етносі чи, далєбі, нації, народі. Тобто – наскільки мораль прогресивна.

Окрім категорії моралі, існує ще поняття моральності як похідне від першого. Моральність у такому випадку виступає як характерна риса, властивість суспільства, колективу, людини тощо.

Оскільки все в земному бутті побудоване на протилежностях (діалектичний закон єдності і боротьби протилежностей), то як антиподи треба розуміти поняття: мораль – а(не)мораль, моральність – а(не)моральність. Наприклад, моральні ідеали християнського світогляду – самовдосконалення людини, аскетизм, перенесення життєвих цінностей із реального світу у царину духу тощо [8] – з одного боку, і середньовічні індульгенції, інквізиція, переслідування церквою свободи думки (спалення на вогні Джордано Бруно) тощо – з другого.

І що дуже важливо! Моральним вираженням зазначеного закону діалектики є боротьба добра і зла, яку визнавав основою світу ще у VII ст. до н.е. засновник давньоіранської релігії – зороастризму, пророк Заратуштра (греки називали – Зороастр) у священній книзі давніх іранців (арійців) – «Авеста» [10].

Мудрість, як зазначалося, включає поняття розуму і добра. Мало бути розумною людиною. Треба бути ще добрим, гуманним громадянином своєї країни.

У контексті сказаного процитуємо визначних вчених і вдамося до народної мудрості. «Перманентною властивістю розуму, – говорив І. Кант, – є добро». «Розум, позбавлений добра, – за словами В.І. Вернадського, – приречений на загибель». Що таке добро (як моральна категорія), доброта (як риса характеру)? – Це згода волі з совістю, – говорить древня китайська мудрість [16]. А що таке совість? – Це страх перед Богом і людьми. А воля індивідуума, сильного характеру (якого так благає знедолена Україна) – то є сила Духу, Духу рідної землі.

Підсумовуючи вище сказане, можна попередньо висувати, що у нинішньому (капіталістичному) суспільстві потоптано найсвятіше – мудру мораль!

А тепер час перейти до моралі і мудрості заповідної природи (заповідного ландшафту). Наукові джерела говорять, що єдність морально зрілого народу (етносу) і його природного середовища життя (довкілля) є фундаментальною властивістю біосфери Землі [9]. Як вища філософська єдність вона названа французом (палеонтолог) Тейяром де Шарденом Духом землі [14], а швейцарцем (психолог) Карлом Густавом Юнгом – архетипом [17]. Нами це поняття трактується як вrostання і злиття життєвої долі кожної людини з долею землі, на якій вона проживає, заповідної землі. Моя доля і доля моєї землі – невіддільні. Втрата такої єдності рівноцінна занепаду етносу, культури, цивілізації загалом. Пам'ятаймо: Дух рідної землі із силою Закону визначає стиль життя, стереотип поведінки людини.

Власне, через те, що людина – плоть від плоті породжена своєю землею, вона не може відмежуватися від природних умов, в яких з'явилася на світ і сформувалась як особистість. Від землі вона отримує живильні соки, наснагу для творчості, інтуїтивні імпульси для духовних пошуків. Словами відомого німця, батька геополітики, першої половини минулого століття Фрідріха Ратцеля це можна сказати так: «Наш розумовий і культурний розвиток, усе те, що ми називаємо прогресом цивілізації, скоріше можна порівняти з ростом рослин... Ми завжди залишаємося пов'язаними із землею, і гілка може рости тільки на стовбурі» [6].

Особливо значущими для розуміння вище сказаного є природно-заповідні території, заповідні ландшафти. Це святі місця, там живе Бог. Там народжуються високі почуття, вільне світосприйняття, там думка сягає найвищих вершин.

Ще з язичницьких часів «заповідні гаї», розміщені поблизу поселень, здебільшого на підвищених місцинах, правила слов'янам за храми (гайбог, божниця, святибор тощо). Окремі священні гаї вони називали раєм.

У давньому Києві священним вважався Шулявський (Кадетський) гай на березі річки Либідь. Він був вирубаний у часи громадянської війни, а зараз там житловий масив. На місці, де знаходиться тепер Києво-Печерська лавра, колись шумів густий священний гай – обитель київських богів.

Власне, заповідна природа має ще багато неусвідомлених людиною цінностей. Через неповноту та поверховість сучасних знань вони не можуть бути виявлені натепер. Багато-що в нашому житті апріорне, знаходиться за межами людського досвіду [2].

Однією з таких ще не до кінця усвідомлених суспільством цінностей є гуманістична, що властива територіям та об'єктам природно-заповідного фонду України, зокрема біосферним заповідникам.

Відтак треба зазначити, що у теперішні часи «стагнації» духовності і моралі особливо актуальною стала освітньо-виховна проблема, що вирішується в області світоглядної функції екології і практично реалізується у науково-пізнавальному освоєнні природного і гуманістичного потенціалу заповідних ландшафтів [4]. І заповідна справа, яка є сферою знань про заповідну природу, покликана служити святій справі патріотичного виховання, особливо молоді, в душі шанування і любові до рідної природи та історії.

У цьому відношенні особливої уваги заслуговує *гуманістично-ресурсний потенціал заповідних ландшафтів*, який включає природні особливості, що здатні викликати людські почуття, пізнавальний або науковий інтерес, впливати на формування особистості. Тобто це те, що робить людину добршою і розумнішою. Чільне місце у такому потенціалі (заповідної природи) посідає різноманіття пейзажів, чи краєвидів, як фізіономічне (зовнішнє) відображення ландшафту, багатство видів рослин і тварин. До слова, останнє є індикатором екологічного стану довкілля (збіднене біорізноманіття призведе рано чи пізно до катастрофи) [5].

Втім, що таке ландшафт, зокрема заповідний? – Термін «ландшафт» походить від німецького слова “die Landschaft” і дослівно означає «пейзаж» чи «краєвид». Щодо визначення ландшафту є кілька підходів: ландшафт – природний об'єкт; ландшафт – антропогенний об'єкт; ландшафт як категорія природно-антропогенна. З позиції першого підходу – ландшафт, як природний об'єкт, він має три тлумачення: загальне, регіональне і типологічне [7]. Цікавою з цього питання є думка воронезького професора Ф.М. Мількова, який поділяє сучасні ландшафти на змінені людиною, відновлені й первинні (заповідні) [11].

Основоположник вчення про культурний ландшафт О. Шлютер у 20-х роках минулого століття

трактував його як продукт сумісної творчості людини і природи. Інший «культурний географ» у Північній Америці Карл Зауер розумів ландшафт як результат трансакції між культурою і навколишнім природним середовищем. Художник Джон Констебл вважав, що ландшафт як прояв вищих сил, наповнений глибокими моральними значеннями. Однак для того, щоби побачити і зрозуміти моральні цінності ландшафту, необхідно глибоко зануритися в нього на індивідуальному (суб'єктивному) рівні.

Філософське бачення (разом з художнім) ландшафту одним з перших знайшло теоретичне осмислення у Джона Рескіна ("Modern Painters", 1856 рік). «Моральний характер» ландшафту він вбачав у тому, що справжнє отримання насолоди від нього не сумісне з проявами зла, а породжує шляхетні почуття смутку, радості й любові до ближнього. Тобто ландшафт у нього – гуманістична категорія [8]. Саме від цих його ідей і походить сучасний гуманістичний напрям у розумінні ландшафту.

Вивчення гуманістично-ресурсного потенціалу заповідних ландшафтів сприяє гуманізації теперішньої дійсності. Власне, на гуманістичному тлі заповідної природи відбувається так би мовити таїнство творення духовності людини, її громадянської позиції, екологічно грамотного, інтелектуально-гуманістичного світогляду. Такий світогляд передбачає поєднання у людській особистості її моралі і мудрості (як феноменів філософії).

Природно-заповідні ландшафти у своїй виховній функції витворення цього світогляду водночас є національними ландшафтами. У кожному ландшафтному комплексі, на кожному п'ятачку нашої землі зберігається історична національна пам'ять народу, Дух української землі. Тому одним з шляхів подолання нинішнього кризового стану людської душі і є пізнавальне освоєння гуманістичних цінностей заповідних ландшафтів.

Природа, згідно з пантеїстичним вченням, одухотворена Богом, Природа – це Бог. Раз так, то ми як діти матері-Землі перебуваємо у прямій залежності від її здоров'я, екологічного стану. Відомо, що із втратою рідних, особливо батьків, втрачаємо частку самих себе. Так само, не зберігши біологічний вид чи природний ландшафт, в якому живемо, втрачаємо благополучну перспективу існування свого та своїх нащадків.

Власне, заповідний (національний, етнічний) ландшафт містить у собі високий інформаційно-виховний потенціал (актуал). Він вражає, звеличує... Людина, вбираючи в себе враження від його споглядання, збагачується духовно і розумово. У такому «діалозі» здійснюється, відповідно, інформаційний (інтелектуальний) і духовний (чуттєвий) контакт людини з природою [1; 5]. Досліджено, що у кількісному відношенні природне середовище (заповідний ландшафт) перевищує інформаційний потенціал суспільства на 20 порядків! [15].

Так, дослідники пустині у Феюфанії м. Києва (Н. Сементовський, 70-і роки XIX ст.) відзначали, що людина, прибита найтяжчим горем, прийде сюди і, споглядаючи красу навколишньої місцевості, знайде духовне полегшення. Вона відчує незворушний спокій. Бо все тут дихає глибокою святинією. Це справжня чернецька пустиня серед розкішної природи... У ній – ближче до самого Бога. Крім усього того, краса природи лікує людську душу [3].

Отже, цінуючи рідну українську природу, серед якої вирости, босоніж увібрали її генетичний код, зберігаємо себе як народ, як етнічну спільноту. Маємо практичне втілення закону Сергія Подолинського про те, що енергія сонця (фотосинтезу) через хлібороба, що працює на землі, перетворюється в життєві блага і духовну надбудову суспільства. Енергія одухотвореного всесвіту найбільше фокусується у менш змінений людиною сільській місцевості [12], а також, додамо, на природно-заповідних територіях.

Заповідний ландшафт (у класичному розумінні) закарбував пам'ять про минуле, про багатовікову історію, у ньому живі добро, мораль, інтелект. У ньому містяться, наприклад, не тільки викопні ґрунти (педологія), спори і пилок рослин, кістки вимерлих тварин геологічного минулого (палеонтологія). У ньому «законсервований» час, дорога у вічність... У ньому – філософія історії.

Зазвичай у заповідному ландшафті сумісно з природними співіснують елементи матеріальної культури, включаючи автентичні сліди історичної життєдіяльності людини (городища, кургани, ділянки археологічного культурного шару тощо). І духовної культури теж! Там, де знаходяться і ще збереглися найбільш цінні та мальовничі природні терени, там водночас закована історична минувшина народу, красуються своєю позолотою церковні бані сакральних місць (монастирів), там чути голос наших пращурів.

За твердженням англійського дослідника Арнольда Д. Тойнбі («Дослідження історії», 1995 рік), історію треба не просто читати, розуміти (цього замало!), а й пережити ще раз – психологічно. Так само з почуттям сакральності треба сприймати і переживати заповідний ландшафт!

Професор Джей Еплтон з північної Англії у книзі «Переживання ландшафту» (1975 рік) також доводить, що природний ландшафт, загалом, потрібно не лише споглядати, а й відчувати кожним своїм нервом. А відомий британський географ XX ст. Воган Корніш у своїх унікальних працях «Пейзаж і зорові відчуття» (1936 рік), «Красоти пейзажу: географічні дослідження» (1943 рік), досліджуючи естетичні якості ландшафтів Великої Британії, описує свої переживання від перебування у них.

На завершення хочеться поділитися враженнями від перебування у біосферному заповіднику «Асканія-Нова» (службове відрядження головного спеціаліста Державної служби заповідної справи

Мінприроди, 2010 рік). Однієї ночі пішов у степ (відвідування з науковою метою). На початку було якось моторошно, незвично. Сам на сам вночі, наодинці з диким степом. Чомусь довго не сходило сонце. Врешті, підходжу до скіфського кургану. Обережно наближаюсь до прадавнього кам'яного ідола. Його очима на мене дивляться перетерті у порошок жорнами історії насельники цих степів: скіфи, алани, ..., люди ямної і катакомбної археологічних культур... І враз – виповзає сонце. Дух Землі і Всесвіту зійшлися на кургані!

Воістину, духовний контакт з непізнаним світом заповідного степу, перевтілення матеріального ества людини в його протилежну субстанцію – вічність. Тільки Богу зрозуміла дика природа! Справді, емпіричне підтвердження філософії І. Канта щодо непізнанності «речі у собі»!

Висновки. Святилищами, свого роду природними каплицями, де здійснюється дійство духов-

ного єднання (та очищення) сучасної Homo sapiens із світом, що існував, і прийшлим (прийдешнім), та створеною Богом природою – повинні стати (і завжди були, на 0,99 відсотків людської історії – від австралопітеків до перших цивілізацій) заповідні місця дикої природи. За словами класиків філософії, людина вийшла з природи, і тепер, хоч у формі спілкування із заповідними місцями, мусить підтримувати з нею духовний зв'язок, втрата якого призводить до бездуховності (що вже спостерігаємо). Будемо вірити, що наш талан, наш Дух землі ще живі у збережених природних і культурних скарбах національних заповідних ландшафтів.

Заповідна природа – скарбниця високої людської моралі і мудрості. Це життєдайне джерело духовного спокою і божої благодаті, примирення зі світом зла і добра, ненависті і любові. Це святі місця, де здійснюється пошук і вершиться таїнство єднання зі світом неземним, починається дорога до вічності, до Бога.

Література

1. Гетьман В.І. Наодинці з природою. *Науковий світ*. 2002. № 11. С. 26–27.
2. Гетьман В.І. Гуманістична цінність заповідних ландшафтів національної та регіональних екомереж України. *Екологічний вісник*. 2003. № 1–2. С. 5–7.
3. Гетьман В.І. Зелене довкілля Києва – унікальна природна цінність України. *Київський географічний щорічник* : науковий збірник. Вип. 2. 2002. Київ : ВГЛ «Обрії», 2003. С. 83–98.
4. Гетьман В.І. Про збереження національного ландшафту. *Заповідна справа в Україні*. Т. 1. Вип. 2. Канів, 2005. С. 43–45.
5. Гетьман В.І. Екологічний туризм – це духовно-інформаційний контакт з природою. *Географія і сучасність* : збірник наукових праць. Національний педагогічний університет ім. М. П. Драгоманова. Вип. 19. Київ : Вид-во Національного педагогічного університету ім. М. П. Драгоманова, 2008. С. 177–182.
6. Гетьман В.І. Дух Землі. *Слово просвіти*. 2013. № 22 (711). С. 1–3.
7. Гетьман В.І. Екологічні субстанції: закономірності, ландшафти, рельєф : навчальний посібник. Київ : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2014. 71 с.
8. Гродзинський М.Д. Пізнання ландшафту: місце і простір : монографія. У 2-х т. Київ : ВПЦ «Київський університет», 2005. Т. 1. 432 с. Т. 2. 503 с.
9. Гумилев Л.Н. Етногенез и биосфера Земли. Москва : Айрис-пресс, 2005. 560 с.
10. Лубський В.І. Історія релігій : навчальний посібник / В.І. Лубський, В.М. Козленко, М.В. Лубська та ін. Київ : ТанDEM, 2002. 640 с.
11. Мильков Ф.Н. Физическая география: современное состояние, закономерности, проблемы. Воронеж : Изд-во Воронежского ун-та, 1981. 400 с.
12. Подолинський С.А. Вибрані твори. Монреаль, 1990. 543 с.
13. Философский словарь / под ред. И.Т. Фролова. 5-е издание Москва : Изд-во политической литературы, 1987. 590 с.
14. Шарден Пьер Тейяр де. Феномен человека. Москва : Наука, 1987. 240 с.
15. Шевчук В.Я., Сатаккін Ю.М., Білявський Г.О. Екологічне управління. Київ : Либідь, 2004. 432 с.
16. Энциклопедия мудрости. РОСССА, 2007. 815 с.
17. Юнг К.Г. Архетипи і колективне несвідоме / перекл. з нім. Катерини Костюк ; науковий редактор українського видання Олег Фешовець. Львів : Вид-во «Астролябія», 2013. 588 с.

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА РАРИТЕТНИХ ВИДІВ ВІДДІЛУ MAGNOLIOPHYTA КОЛЕКЦІЇ ДЕНДРОПАРКУ «ОЛЕКСАНДРІЯ»

Калашнікова Л.В., Дорошенко Ю.В.

Державний дендрологічний парк «Олександрія» Національної академії наук України
Дендропарк «Олександрія», 09113, м. Біла Церква, Київська область
kalashnikovaluda@gmail.com

Наведено дані комплексної оцінки раритетної складової частини деревних рослин відділу Magnoliophyta колекційного фонду дендропарку «Олександрія» НАН України, яка складається з біоморфологічного, кількісного, вікового аналізу та життєвого стану. Дослідження проводили в центральній (історичній) та східній частинах дендропарку, де нараховано 91 таксон дендроекзотів, серед них – 19 автохтонних видів, що становить 22%. Загальна кількість обстежених рослин становила 7792 шт., площа зайнята під живоплотом *Cotoneaster lucidus* Schlecht. – 134 м², клоном *Euonymus nana* Bieb. – 64 м². З'ясовано, що масово трапляються 4 автохтонні раритетні види: *Fraxinus excelsior* L., *Quercus robur* L., *Tilia cordata* Mill., *Carpinus betulus* L. З інтродукованих найчисельнішими є 8 видів, рослини 28 видів трапляються поодинокі. За біоморфологічним складом із життєвою формою «дерево» нараховано 47 таксонів, чагарників – 37, напівчагарників – 4, чагарничків – 2. До дерев першої величини зарахували рослини 12 видів, другої – 18, третьої – 14, четвертої – 3 види. Вікові рослини (стигли і перестійні) спостерігали у 10 природних видів: *Populus nigra* L. (d ст. 228,0), *Fraxinus excelsior* (d ст. 180,0 см), *Populus alba* L. (d ст. 162,0), *Quercus robur* (d ст. 140,0), *Salix fragilis* L. (d ст. 110,0), *Carpinus betulus* (d ст. 102,0), *Salix alba* L. (d ст. 100,0), *Tilia cordata* (d ст. 88,0), *Alnus glutinosa* (L.) Gaerth. (d ст. 80,0 см), *Pyrus communis* Mill. (d ст. 79,0). Найстарішими серед інтродуцентів виявилися рослини 8 видів: *Liriodendron tulipifera* L. (d ст. 193,0), *Aesculus hippocastanum* L. (d ст. 150,0), *Gleditsia triacanthos* L. (d ст. 118,0), *Robinia pseudoacacia* L. (d ст. 110,0), *Juglans nigra* L. (d ст. 103,0), *Acer pseudoplatanus* L. (d ст. 84,0), *Tilia euchlora* C. Koch. (d ст. 83,0), *Tilia platyphyllos* Scop. (d ст. 78,0). 93% дендроекзотів продукують насіння. За життєвим станом більша частка рослин майже усіх раритетних видів отримала оцінку в II бали, тобто вони є пошкодженими. Проведені комплексні дослідження паркових насаджень, особливо їх раритетної складової частини, дадуть змогу розробити наукові рекомендації щодо оптимізації їх збереження. **Ключові слова:** покритонасінні, раритетні види, паркові насадження, комплексна оцінка, збереження.

Comprehensive assessment of rare species of Magnoliophyta of the collection of dendrological park “Olexandria”. Kalashnikova L., Doroshenko Yu.

The article shows data on a comprehensive assessment of a rare component of woody plants of the Magnoliophyta of the collection fund of the Olexandria Dendrological Park of the National Academy of Sciences of Ukraine that includes biomorphological, quantitative, age analysis and living conditions. The research was conducted in the Central (historical) and Eastern parts of the park that has 91 taxa of dendroexotics with 19 indigenous species that makes 22%. 7792 plants were studied in total. The area, 134 m² are occupied by the hedge of *Cotoneaster lucidus* Schlecht., and 64 m² by clone *Euonymus nana* Bieb. It was found that 4 rare indigenous species occur in high qualities: *Fraxinus excelsior* L., *Quercus robur* L., *Tilia cordata* Mill., *Carpinus betulus* L. 8 introduced species were put down to the mass, plants of 28 species occur singly. According to the biomorphological composition with the life form “tree”, there are 47 taxa: 37 shrubs, 4 semi-shrubs, 2 small shrubs. The trees of the first size group include plants of 12 species, 18 belongs to the second, 14 to the third, and 3 species to the fourth. Age plants (ripe and overripe) were observed in 10 natural species: *Populus nigra* L. (trunk d 228.0 cm), *Fraxinus excelsior* (trunk d 180.0), *Populus alba* L. (trunk d 162.0), *Quercus robur* (trunk d 140.0), *Salix fragilis* L. (trunk d 110.0), *Carpinus betulus* (trunk d 102.0), *Salix alba* L. (trunk d 100.0), *Tilia cordata* (trunk d 88.0), *Alnus glutinosa* (L.) Gaerth. (trunk d 80.0), *Pyrus communis* L. (trunk d 79.0). The oldest among the introduced plants are 8 species: *Liriodendron tulipifera* L. (trunk d 193.0), *Aesculus hippocastanum* L. (trunk d 150.0), *Gleditsia triacanthos* L. (trunk d 118.0), *Robinia pseudoacacia* L. (trunk d 110.0), *Juglans nigra* L. (trunk d 103.0), *Acer pseudoplatanus* L. (trunk d 84.0), *Tilia euchlora* C. Koch. (trunk d 83.0), *Tilia platyphyllos* Scop. (trunk d 78.0). 93% of dendroexotics produce seeds. In terms of living conditions, the majority of plants of almost all rare species were rated as II, i.e., damaged. A comprehensive study of park plantations and, especially, their rare component enables to develop scientific recommendations for optimizing their preservation. **Key words:** angiosperms, rare species, park plantings, complex assessment, preservation.

Постановка проблеми. Урбанізація – одна з найбільш характерних ознак науково-технічного прогресу, яка призводить до незворотних процесів трансформації природного середовища, флори і рослинності і ставить на межу виживання рослини, які стають раритетними через скорочення їх локальних популяцій. Флора історичного дендропарку «Олександрія», заснованого наприкінці XVIII століття, унікальна, її колекційний фонд залучений до Державного реєстру наукових об'єктів і становить Національне надбання України, тому збереження

його біорізноманіття має велике наукове і суспільне значення.

Актуальність дослідження. Одним з основних напрямів відновлення насаджень такого історичного об'єкта, як дендропарк «Олександрія», є збереження та продовження життя найцінніших видів рослин. Відомо, що цінність колекційного фонду ботанічної установи визначається за відсотком її раритетної складової частини, тому комплексна дендрологічна оцінка, а саме біоморфологічний, кількісний і віковий аналіз раритетних видів, є актуальним напрямом

досліджень для встановлення їх життєвого стану, збереження і відновлення в сучасних умовах зміни клімату.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Основним нормативним документом, який регламентує заходи з охорони старовинних парків, є «Флорентійська хартія» Міжнародного комітету з історичних ландшафтів, згідно з якою історичний парк – це архітектурна і рослинна композиція, яка становить суспільний інтерес [1]. Одним з основних положень відтворення історичного об'єкта є збереження та продовження життя найцінніших паркових насаджень і окремих раритетних дерев, а визначення ролі видових, родових та флористичних комплексів є основним для надання оцінки екологічних та історичних факторів у формуванні паркового середовища [13]. Із кінця 70-х років минулого століття вчені намагалися скласти перший список дендрозофітів України, посилаючись на рідкісне поширення, господарське значення та декоративність. Нові методологічні погляди на оцінку раритетних видів запропоновано С.Ю. Поповичем, А.С. Власенко, С.І. Берегутою, Н.П. Степаненко та іншими, які зарахували до раритетних дендроекзотів деревні види рослин, що знаходяться під охороною світових червоних списків та є в колекціях поза природним середовищем у природоохоронних об'єктах [2–5]. З огляду на ці підходи в останні 10 років історичні об'єкти природоохоронного фонду, до яких належить дендропарк «Олександрія», створюють бази даних біорізноманіття, розробляють біосологічні каталоги, завдяки яким з'ясовується якісний та кількісний склад раритетних видів і надається дендрологічна комплексна оцінка паркових насаджень.

За останні десятиліття в дендропарку «Олександрія», якій входить до складу територій природно-заповідного фонду України, проведено дослідження таксономічного складу і надано аутофітосологічну оцінку раритетної компоненти дендрофлори [6; 7]. Раритетними дендроекзотами вважаємо види рослин, які на правовій основі наводяться в міжнародних «червоних списках» усіх рангів і мають різні категорії раритетності [8–12]. За проведеними дослідженнями, раритетна фракція фітобіоти дендропарку «Олександрія» нараховує 190 видів природних та інтродукованих деревних рослин, із них до відділу Magnoliophyta зараховані 103 види, які належать до 29 родин і 54 родів.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Метою наших досліджень було з'ясування сучасного життєвого стану раритетних видів покритонасінних рослин дендропарку задля розробки наукових заходів їх збереження. Для досягнення мети поставлено завдання: провести інвентаризацію раритетної дендрофлори дендропарку, кількісний, біоморфологічний і віковий аналіз і надати комплексну оцінку раритетним парковим насадженням.

Методологічне або загальнонаукове значення.

Для досягнення мети застосований системний підхід як загальнонауковий метод. Кількісний аналіз рослин раритетних видів, який дає уявлення про кількісну участь раритетних покритонасінних таксонів у формуванні фітобіоти дендропарку і змогу з'ясувати їхню структуру, проводили за методикою О.О. Клименка, С.І. Кузнєцова. Вона полягає у зарахуванні видів до трьох груп: 1 група – рослини виду трапляються поодинокі (1–10 рослин у парку), 2 група – часто (11–100 рослин у парку), 3 група – масово (більше 100 рослин у парку) [13]. Аналіз біоморфологічного складу проводили за схемою І.Г. Серебрякова, використовували назви життєвих форм: дерево (д), вона включала 4 підгрупи: D_1 – дерева першої величини (вищі за 25 м), D_2 – 15–25 м, D_3 – 5–15 м, D_4 – 2–5 м; чагарник (Ч), яка включала $Ч_B$ – високі чагарники (понад 2,5 м), $Ч_C$ – середні (1–2,5 м) і $Ч_H$ – низькі (менше 1 м.) Напівчагарник (Н/ч) – менше за 0,5 м, чагарничок (Ч/н) – сланкий, 0,05–0,2 м заввишки [15].

Умовну градацію вікового стану проводили за діаметром стовбура згідно з методикою О.О. Клименка, О.О. Ільєнка, В.А. Медведєва: рослини з діаметром стовбура від 6 до 20 см зараховували до молодих, 20–50 см – середньовікових, більше 50 см – стиглих та перестійних [14].

Життєвий стан оцінювали за методикою В.Т. Ярмішко: I – здорове дерево, II – пошкоджене дерево, III – сильно пошкоджене, IV – вимираюче, V – сухостій [16].

Виклад основного матеріалу. Дендрологічний парк «Олександрія» розташований у Правобережній лісостеповій частині Київської області на Київський височині, площа якого становить 400 га, має 230-річну історію. Колекційний фонд деревних рослин нараховує, за інвентаризацією 2013 р., більше 1200 таксонів, з них раритетна складова частина становить 16% [17].

Лісостепова зона України простягається на схід від широколистяно-лісової зони до західних відрогів Середньоросійської височини, у гідрологічному відношенні вклинюється до басейну Дніпра і зайнята його річковою долиною, що позначається на поширенні деревних рослин. Характерною особливістю є переважання дібровних типів лісу. Природні умови Лісостепу були оптимальними для поширення автохтонних видів деревних рослин та інтродукції дендроекзотів. Але в останні десятиріччя відбувається зміна кліматичних факторів, основними рисами яких є потепління і аридизація, що призводить до погіршення умов існування природних лісостепових та культивованих видів і впливає на рівень адаптації, вони починають хворіти на невиліковні хвороби, гинуть, скорочують популяції, стають раритетними і потрапляють до «червоних» списків.

Обстеження раритетних видів відділу Magnoliophyta проводилися у 24 кварталах цен-

тральної та східної частин дендропарку. Кількість видів дендроекзотів відділу Magnoliophyta тут становила 91 таксон, серед них – 19 видів місцевого походження (22%). Загальна кількість перерахованих рослин – 7792 шт., живопліт *Cotoneaster lucidus* Schlecht. займає площу 134 м², клон *Euonymus nana* Bieb. – 64 м².

Місцеві раритетні види формують природні асоціації *Querceta roboris*, де едифікатором є *Quercus robur* L., а його супутниками – *Fraxinus excelsior* L., *Carpinus betulus* L., *Tilia cordata* Mill., до складу підліска дубово-грабового екофітону входять *Corylus avellana* L., *Crataegus monogyna* Jacq., *Malus sylvestris* (L.) Mill., *Prunus avium* (L.) Moench, *Pyrus communis* L., *Rosa canina* L. та інші. За частотою трапляння у центральній та східній частинах дендропарку домінують (трапляються масово – більше 100) є 4 автохтонні види (24%): *Fraxinus excelsior* (1176 шт. у 20 кварталах), *Quercus robur* (1044 – 20 кварталах), *Tilia cordata* (661 – 19 кв.), *Carpinus betulus* (585 – 19 кв.). До групи 2 (трапляються від 11 до 100) потрапило 11 видів (53%): *Pyrus communis* (74 шт. – у 14 кв.), *Salix alba* L. (73 – 5 кв.), *Alnus glutinosa* (L.) Gaerth. (64 – 7 кв.), *Crataegus monogyna* (49 – 13 кв.), *Populus alba* L. (43 – 9 кв.), *Rosa canina* (34 – 7 кв.) *Salix fragilis* L. (29 – 3 кв.), *Prunus avium* (21 – 4 кв.), *Cerasus fruticosa* L. (20 шт. – 1 кв.), *Corylus avellana* (19 шт. – 2 кв.), *Malus sylvestris* (16 – 6 кв.), *Prunus spinosa* L. (15 – 1 кв.). Нечисельними (трапляються поодинокі – 1–10 шт.) виявилось 4 види (18%): *Prunus padus* L. (8 шт. – 6 кв.), *Euonymus verrucosa* Scop. (5 – 1 кв.), *Rubus caesius* L. (5 – 1 кв.), *Populus nigra* L. (4 – 2 кв.).

Динаміка участі інтродукованих раритетних видів у декоративних групах та інтродукційних популяціях така: найчисельнішими (трапляються масово) є 8 видів (14%): *Buxus sempervirens* L. (1320 шт. – 3 кв.), *Cotoneaster lucidus* (займає площу 134 м² у 5 кв.), *Betula pendula* Roth (614 – 10 кв.), *Staphylea pinnata* L. (570 – 3 кв.), *Quercus rubra* L. (161 – 7 кв.), *Aesculus hippocastanum* L. (137 – 15 кв.), *Robinia pseudoacacia* L. (126 – 16 кв.), *Euonymus nana* (займає площу 64 м²). До групи 2 потрапило 18 видів (31%): *Acer pseudoplatanus* L. (86 – 15 кв.), *Daphne sophii* Kalen. (86 – 1 кв.), *Cerasus klokovii* Sobko (75 – 1 кв.), *Chamaecytisus rochelii* (Wierzb.) Rothm. (67 – 2 кв.), *Syringa josikaea* Jacq. (71 – 3 кв.), *Chamaecytisus podolicus* (Blocki) Klaskova (36 – 2 кв.), *Fraxinus ornus* L. (28 – 6 кв.), *Juglans regia* L. (56 – 7 кв.), *Spiraea polonica* Blocki (49 – 3 кв.), *Cotinus coggygria* Scop. (38 – 3 кв.), *Tilia platyphyllos* Scop. (35 – 6 кв.), *Rhamnus tinctoria* Waldst. et Kit. (25 – 1 кв.), *Daphne mezereum* L. (23 – 2 кв.), *Berberis vulgaris* L. (18 – 8 кв.), *Corylus maxima* Mill. (18 – 5 кв.), *Corylus colurna* L. (16 – 5 кв.), *Kolkwitzia amabilis* Graebn. (15 – 1 кв.). Найбільшу кількість (28 видів) нараховує група 1: *Betula dahurica* Pall., *Betula ermanii* Cham., *Betula klokovii* Zaverucha, *Crataegus nigra* Waldst.

et Kit., *Magnolia kobus* DC., *Tilia euchlora* C. Koch., *Robinia viscosa* Vent., *Cercidiphyllum japonicum* Sieb. et Zucc., *Daphne cneorum* L., *Pyrus elaeagrifolia* Pall., *Stephanandra tanakae* Franch. et Sav., *Betula lenta* L. (2 шт.), *Betula pubescens* Ehrh. (2 шт.), *Crataegus helenae* Grinj et Klokov (2 шт.), *Quercus palustris* Muench (2 шт.), *Malus orientalis* Uglitzkich ex Juz. (2 шт.), *Viburnum opulus* L. (2 шт.), *Prunus mahaleb* L. (2 шт.), *Liriodendron tulipifera* L. (3 у 2 кв.), *Sorbus torminalis* (L.) Crantz (3 шт.), *Cercis canadensis* (4 у 2 кв.), *Quercus serris* L. (4 шт.), *Chamaecytisus blockianus* (Pawl.) Klask. (4 шт.), *Tilia tomentosa* Moench. (4 у 2 кв.), *Juglans nigra* L. (5 у 3 кв.), *Tamarix gracilis* Willd. (5 шт.), *Crataegus pojarkovae* Kos. (6 шт.), *Malus niedzwetzkyana* Dieck ex Koehne. (8 у 2 кв.).

Досліджувані рослини представлені двома біоморфами: 79 фанерофітів і 9 хамефітів. За біоморфологічним складом із життєвою формою «дерево» нараховано 47 таксонів, чагарників – 37, напівчагарників – 4, чагарничків – 2.

До дерев першої величини (вище за 25 м) зарахували рослини 12 видів: *Fraxinus excelsior*, *Populus alba*, *Populus nigra*, *Quercus robur*, *Robinia pseudoacacia*, *Tilia euchlora*, *Acer pseudoplatanus*, *Aesculus hippocastanum*, *Tilia cordata*; другої (15–25 м) – 18 видів, третьої (5–15 м) – 14, четвертої (2–5 м) – 3 види. Високих чагарників (понад 2,5 м) – 19 таксонів, середніх (1–2,5 м) – 10, низьких (менше 1 м) – 8, напівчагарників – 4 (висота від 0,2 до 0,9 м), чагарничків – 2 (0,02–0,2 заввишки) (табл. 1).

За віковим аналізом усі природні види (з життєвою формою – «дерево») мають стиглі та перестійні рослини з діаметром стовбура більше 50 см. Найстаріші екземпляри спостерігали у видів: *Populus nigra* (d ст. 228,0), *Fraxinus excelsior* (d ст. 180,0 см), *Populus alba* (d ст. 162,0), *Quercus robur* (d ст. 140,0), *Salix fragilis* (d ст. 110,0), *Carpinus betulus* (d ст. 102,0), *Salix alba* (d ст. 100,0), *Tilia cordata* (d ст. 88,0), *Alnus glutinosa* (d ст. 80,0 см), *Pyrus communis* (d ст. 79,0). До дендроекзотів-інтродуцентів, які культивуються в дендропарку із кінця XVIII ст. і мають найстаріші екземпляри, належать: *Liriodendron tulipifera* (d ст. 193,0), *Aesculus hippocastanum* (d ст. 150,0), *Gleditsia triacanthos* L. (d ст. 118,0), *Robinia pseudoacacia* (d ст. 110,0), *Juglans nigra* (d ст. 103,0), *Acer pseudoplatanus* (d ст. 84,0), *Tilia euchlora* (d ст. 83,0), *Tilia platyphyllos* (d ст. 78,0).

Репродукційну здатність помітили у 62 таксонів, що становить 93%. Усі природні види дають самосів і мають достатню кількість молодих рослин для відновлення, але вони залишаються рости тільки там, де немає сінокосіння.

Інтродуковані, які натуралізувалися: *Acer pseudoplatanus*, *Aesculus hippocastanum*, *Chamaecytisus podolicus*, *Chamaecytisus rochelii*, *Juglans regia*, *Quercus rubra*, *Robinia pseudoacacia*, *Staphylea pinnata* (табл. 1).

Таблиця 1

Кількісна, біоморфологічна та вікова характеристика раритетних видів деревних рослин
відділу Magnoliophyta колекції дендропарку «Олександрія»

Назва виду	Життєва форма	Загальна кількість (шт.)	вікові	середньо-вікові	молоді	Діаметр стовбура (см)	Висота (м)	Діаметр крони (м)	Репродукція	Життєвий стан
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	Д ₁	86	47	22	17	14,0–90,0	8,0–26,0	5,0–18,0	+	I–II
<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	Д ₁	137	75	48	13	8,0–150,0	8,0–28,0	2,0–22,0	+	I–IV
<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaerth.	Д ₂	64	8	46	10	6,0–80,0	6,0–24,0	2,0–15,0	+	I–II
<i>Berberis vulgaris</i> L.	ЧВ	18	-	18	-	3,0–8,0	1,7–4,5	2,0–6,0	+	I–II
<i>Betula dahurica</i> Pall.	Д ₃	1	-	1	-	28,0	12,0	3,0	+	III
<i>Betula ermanii</i> Cham.	Д ₃	1	-	1	-	21,0	12,0	3,0	+	III
<i>Betula klokovii</i> Zaverucha	Д ₃	1	-	-	1	10,0	7,5	4,0	+	II
<i>Betula lenta</i> L.	Д ₂	2	-	2	-	11,0	12,0–16,0	6,0	+	III
<i>Betula pendula</i> Roth	Д ₁	615	1	611	3	9,0–78,0	7,0–25,0	3,0–14,0	+	II–IV
<i>Betula pubescens</i> Ehrh.	Д ₂	2	-	2	-	31,0–36,0	16,0–18,0	8,0–10,0	+	II
<i>Buxus sempervirens</i> L.	Чс	1320	-	64	1256	2,0–4,0	0,4–1,0	0,4–1,0	-	I–II
<i>Carpinus betulus</i> L.	Д ₁	585	142	395	48	9,0–102,0	6,0–26,0	4,0–22,0	+	I–III
<i>Cerasus klokovii</i> Sobko	ЧВ	75	-	3	72	1,0–4,0	0,2–2,5	0,3–2,0	+	II
<i>Cerasus fruticosa</i> L.	ЧН	20	-	-	20	1,0–2,0	0,5–0,7	0,2–0,3	+	II
<i>Cercidiphyllum japonicum</i> Sieb. et Zucc.	Д ₂	1	-	1	-	49,0	18,0	8,0	+	II
<i>Cercis canadensis</i> L.	Д ₃	4	-	4	-	5,0–11,0	5,0–8,0	4,0–5,0	+	I–III
<i>Cerastium biebersteinii</i> DC.	Н/ч	1,9x2,0	-	1,0x1,0	0,9x1,0	-	0,2	-	+	I
<i>Chamaecytisus albus</i> (Hacq.) Rothm.	ЧН	13	-	-	13	2,0	0,5–0,9	0,3–0,5	+	II
<i>Chamaecytisus blockianus</i> (Pawl.) Klask.	Чс	4	-	-	3	1,0	0,5–0,9	0,3–0,7	+	I
<i>Chamaecytisus graniticus</i> (Rehmann) Rothm.	Чс	1	-	-	1	-	0,5	-	-	II
<i>Chamaecytisus podolicus</i> (Blocki) Klaskova	Чс	36	-	-	36	1,0–2,0	0,5–1,2	0,3–0,7	+	II
<i>Chamaecytisus rochelii</i> (Wierzb.) Rothm.	Чс	67	-	-	67	1,0–2,0	0,5–1,2	0,5–0,7	+	I–II
<i>Corylus avellana</i> L.	ЧВ	19	-	19	-	4,0–5,0	4,0–10,0	2,0–10,0	+	II
<i>Corylus avellana</i> L. 'Atropurpurea'	ЧВ	2	-	2	-	4,0–8,0	7,0	7,0	+	II
<i>Corylus colurna</i> L.	Д ₂	16	-	15	1	4,0–29,0	2,0–18,0	1,5–6,0	+	I–II
<i>Corylus maxima</i> Mill.	ЧВ	18	-	18	-	4,0–8,0	3,5–6,0	3,0–8,0	+	I–II
<i>Corylus maxima</i> Mill. 'Atropurpurea'	ЧВ	3	-	3	-	4,0–6,0	2,0	3,0	+	I–II
<i>Cotinus coggygria</i> Scop.	ЧВ	38	-	7	31	4,0–28,0	1,0–10,0	1,0–6,0	+	I
<i>Cotoneaster lucidus</i> Schlecht.	ЧВ	ж	-	54 М ₂	-	2,0–5,0	1,2–1,9	-	+	II–III
<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.	ЧВ	49	10	35	4	4,0–35,0	4,0–18,0	3,0–8,0	+	I–III
<i>Crataegus laevigata</i> (Poir.) DC. 'Paul Scarlet'	Д ₄	3	-	-	3	-	3,0–3,5	2,5	+	I
<i>Crataegus nigra</i> Waldst. et Kit.	Д ₃	1	-	1	-	19,0	6,5	4,0	+	III
<i>Crataegus pojarkovae</i> Kos.	ЧВ	6	-	-	6	6,0	3,0	2,0	+	I
<i>Crataegus helenae</i> Grinj et Klokov	Д ₄	2	-	-	2	2,0–4,0	1,2–2,0	0,5–1,5	+	I
<i>Daphne cneorum</i> L.	Н/ч	1	-	-	1	-	0,3	0,5	-	I
<i>Daphne mezereum</i> L.	Чс	23	-	-	23	1,0–2,0	0,3–0,7	0,3–0,5	+	I–II
<i>Daphne mezereum</i> L. 'Alba'	Чс	1	-	-	1	2,0	0,7	0,5	+	I
<i>Daphne pontica</i> L.	Ч/Н	3	-	-	3	-	0,2	0,2–0,3	+	I
<i>Daphne sophia</i> Kalen.	Чс	86	-	-	86	1,0–2,0	0,2–1,5	0,2–1,0	-	I–II
<i>Draba aizoides</i> L.	Ч/Н	2	-	-	2	-	0,05	-	+	I
<i>Dryas octopetala</i> L.	Ч/Н	4	-	-	4	-	0,2	-	+	III
<i>Euonymus koopmannii</i> Launche	Н/ч	1	-	-	-	-	0,3	-	-	I
<i>Euonymus nana</i> Bieb.	Н/ч	64 М ₂	-	54 М ₂	10 М ₂	-	0,2–0,9	-	+	I–III
<i>Euonymus verrucosa</i> Scop.	Чс	5	-	5	-	2,0	1,7	1,5	+	II
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	Д ₁	1174	153	837	184	4,0–180,0	6,0–35,0	2,0–23,0	+	I–IV
<i>Fraxinus excelsior</i> L. 'Pendula'	Д ₂	3	-	3	-	15,0–30,0	14,0–18,0	10,0	+	II
<i>Fraxinus ornus</i> L.	Д ₃	26	-	-	26	3,0–7,0	1,7–6,0	1,5–2,5	+	I–II

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Fraxinus ornus</i> L.	Д ₃	26	-	-	26	3,0–7,0	1,7–6,0	1,5–2,5	+	I–II
<i>Genistella sagittalis</i> (L.) Gams	Н/ч	9	-	-	9	-	0,3–0,5	-	+	I–II
<i>Gleditsia triacanthos</i> L.	Д ₂	2	2	-	-	83,0–118,0	16,0–18,0	10,0	+	II
<i>Juglans nigra</i> L.	Д ₁	5	5	-	-	65,0–103,0	24,0–30,0	12,0–24,0	+	II–III
<i>Juglans regia</i> L.	Д ₃	56	46	8	2	8,0–104,0	5,0–16,0	3,0–16,0	+	II–III
<i>Kolkwitzia amabilis</i> Graebn.	ЧВ	15	-	15	-	2,0–4,0	3,5–4,5	2,5–3,5	+	II
<i>Liriodendron tulipifera</i> L.	Д ₂	3	1	2	-	28,0–193,0	12,0–18,0	6,0–13,0	+	I–II
<i>Lonicera caerulea</i> L.	Чс	2	-	-	2	1,0	0,5	0,3	-	II
<i>Magnolia kobus</i> DC.	Д ₃	1	-	1	-	14,0	4,5	3,0	+	II
<i>Malus niedzwetzkyana</i> Dieck ex Koehne.	Д ₃	8	-	1	7	2,0–10,0	2,0–6,0	1,5–6,0	+	II
<i>Malus orientalis</i> Uglitzkich ex Juz.	Д ₃	2	-	2	-	18,0	6,0	5,0	+	II
<i>Malus sylvestris</i> (L.) Mill.	Д ₂	16	4	14	-	16,0–44,0	6,0–18,0	6,0–12,0	+	II–III
<i>Populus alba</i> L.	Д ₁	43	37	5	1	5,0–162,0	5,0–32,0	2,0–20,0	+	I–III
<i>Populus nigra</i> L.	Д ₁	4	4	-	-	73,0–228,0	26,0–28,0	13,0–24,0	+	II
<i>Prunus avium</i> (L.) Moench.	Д ₂	21	-	13	8	4,0–48,0	6,0–18,0	5,0–10,0	+	I–II
<i>Prunus mahaleb</i> L.	Д ₃	2	-	-	2	6,0–8,0	5,0–6,0	2,5–3,0	+	I
<i>Prunus padus</i> L.	Д ₂	8	-	6	2	11,0–40,0	6,0–20,0	4,0–7,0	+	II–III
<i>Prunus spinoda</i> L.	ЧВ	13	-	13	-	1,0–3,0	1,7–2,3	1,5	+	II
<i>Pyrus communis</i> Mill.	Д ₂	74	19	51	4	9,0–79,0	9,0–28,0	3,0–12,0	+	II–IV
<i>Pyrus elaeagnifolia</i> Pall.	Д ₃	1	-	1	-	23,0	14,0	5,0	+	IV
<i>Quercus cerris</i> L.	Д ₄	4	-	-	4	2,0	0,7–0,9	0,5	-	I
<i>Quercus palustris</i> Muench	Д ₃	2	-	2	-	20,0–25,0	8,0–14,0	4,0–6,0		I
<i>Quercus robur</i> L.	Д ₁	1044	815	86	143	5,0–140,0	6,0–35,0	3,0–20,0	+	I–IV
<i>Quercus rubra</i> L.	Д ₂	161	-	154	7	6,0–58,0	4,0–28,0	1,5–12,0	+	I–II
<i>Rhamnus tinctoria</i> Waldst. et Kit.	Чс	25	-	-	25	2,0–6,0	1,5–3,0	1,0–2,0	+	I–II
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	Д ₁	126	99	10	17	8,0–110,0	8,0–28,0	4,0–20,0	+	I–IV
<i>Rhododendron luteum</i> Sweet	Чс	5	-	-	5	-	0,2–0,3	-	-	I
<i>Robinia viscosa</i> Vent.	Д ₃	1	-	1	-	49,0	12,0	6,0	+	II
<i>Rosa canina</i> L.	ЧВ	34	-	21	13	2,0–4,0	0,5–4,0	2,0–4,0	+	II
<i>Rubus caesius</i> L.	Чс	5	-	5	-	-	0,7	-	+	I–II
<i>Salix alba</i> L.	Д ₂	73	31	25	17	17,0–100,0	5,0–22,0	5,0–12,0	+	I–IV
<i>Salix fragilis</i> L.	Д ₂	29	20	9	-	36,0–112,0	8,0–22,0	7,0–16,0	+	II
<i>Salix purpurea</i> L.	ЧВ	10	-	-	10	2,0–3,0	1,2–1,5	1,5	-	I
<i>Sorbus torminalis</i> (L.) Crantz	Д ₂	10	-	3	7	2,0–40,0	2,0–16,0	1,5–10,0	+	I–II
<i>Spiraea polonica</i> Blocki	Чс	50	-	-	50	2,0–4,0	0,5–1,7	0,5–1,0	+	I
<i>Spiraea tianshanica</i> Pojark.	ЧН	1	-	-	1	-	0,3	-	-	I
<i>Staphylea pinnata</i> L.	ЧВ	570	-	6	564	2,0–6,0	0,3–5,5	0,2–5,0	+	I–III
<i>Stephanandra tanakae</i> Franch. et Sav	ЧВ	1	-	1	1	-	1,2	4,0	+	I
<i>Syringa josikaea</i> Jacq.	ЧВ	93	-	2	91	2,0–6,0	0,5–4,0	0,5–3,0	+	I–III
<i>Tamarix gracilis</i> Willd.	ЧВ	5	-	-	5	4,0–6,0	3,0–3,5	2,5–3,0	+	II
<i>Tilia cordata</i> Mill.	Д ₂	696	199	329	178	6,0–77,0	2,0–28,0	2,0–20,0	+	I–III
<i>Tilia euchlora</i> C. Koch.	Д ₁	1	1	-	-	83,0	28,0	16,0	+	I
<i>Tilia platyphyllos</i> Scop.	Д ₁	35	7	28	-	27,0–78,0	16,0–28,0	4,0–20,0	+	I–II
<i>Tilia tomentosa</i> Moench.	Д ₂	4	-	4	-	41,0–80,0	14,0–22,0	8,0–10,0	+	I–II
<i>Viburnum opulus</i> L.	ЧВ	2	-	2	-	4,0–8,0	6,0	7,0	+	II

За життєвим станом здорові дерева (I бал) спостерігали в природних видів: *Alnus glutinosa* (кв. 28, 29); *Carpinus betulus* (кв. 2, 9, 15, 20, 28); *Fraxinus excelsior* (кв. 3, 7, 8, 20, 27, 28, 29); *Tilia cordata* (кв. 9, 15, 28). Рослини більшості видів є пошкодженими (II бали), сильно пошкоджені (III бали) спостерігали у *Crataegus monogyna* (кв. 7, 8, 13), *Pyrus communis* (кв. 3, 8, 14, 27), *Quercus robur* (кв. 15, 27), *Tilia cordata*

(кв. 4, 8, 10, 29) і вимираючі (IV) серед рослин *Salix alba* (27, 28), *Fraxinus excelsior* (кв. 10, 15), *Quercus robur* (кв. 14). Здорові дерева (I бал) серед інтродукованих видів зустрічалися в *Acer pseudoplatanus* (кв. 3, 29), *Cercidiphyllum japonicum* (кв. 28), *Corylus colurna* (кв. 20, 15, 27), *Crataegus pojarkovae* (кв. 20), *Quercus rubra* (кв. 2), *Staphylea pinnata* (кв. 28), *Tilia euchlora* (кв. 27), *Tilia tomentosa* (кв. 20). У майже

усіх видів є рослини пошкоджені (II бали), сильно пошкоджені (III бали) в *Aesculus hippocastanum* (кв. 2, 4, 13, 15, 28), *Betula dahurica* (кв. 28), *Betula ertmanii* (кв. 28), *Betula lenta* (кв. 8), *Crataegus nigra* (кв. 20), *Juglans nigra* (кв. 29), *Juglans regia* (кв. 17, 26), *Robinia pseudoacacia* (кв. 20, 27, 29) і вимираючі – *Aesculus hippocastanum* (кв. 3, 13, 29), *Betula pendula* (кв. 7, 10, 15, 18, 28), *Pyrus elaeagrifolia* Pall. (кв. 21), *Robinia pseudoacacia* (кв. 2, 3).

Головні висновки. За проведеним комплексним аналізом, 7792 рослин відділу Magnoliophyta у фітоценозах центральної (історичній) та східної частинах дендропарку з'ясовано, що масово трапляються рослини 4 автохтонних раритетних видів: *Quercus robur*, *Fraxinus excelsior*, *Tilia cordata*, *Carpinus betulus*. 3 інтродукованих найчисельнішими є 8 видів, рослини 28 видів трапляються поодинокі. За біоморфологічним складом із життєвою формою «дерево» нараховано 47 таксонів, чагарників – 37, напівчагарників – 4, чагарничків – 2. До дерев першої величини зарахували рослини 12 видів, другої – 18, третьої – 14, четвертої – 3 види. 19 таксонів представлено високими чагарниками, 10 – середніми, 8 – низькими. Вікові рослини (стигли і перестійні)

спостерігали в природних видів *Populus nigra* (d ст. 228,0), *Fraxinus excelsior* (d ст. 180,0 см), *Populus alba* (d ст. 162,0), *Quercus robur* (d ст. 140,0), *Salix fragilis* (d ст. 110,0), *Carpinus betulus* (d ст. 102,0), *Salix alba* (d ст. 100,0), *Tilia cordata* (d ст. 88,0), *Alnus glutinosa* (d ст. 80,0 см), *Pyrus communis* (d ст. 79,0). Найстарішими серед інтродуцентів є рослини 8 видів: *Liriodendron tulipifera* (d ст. 193,0), *Aesculus hippocastanum* (d ст. 150,0), *Gleditsia triacanthos* (d ст. 118,0), *Robinia pseudoacacia* (d ст. 110,0), *Juglans nigra* (d ст. 103,0), *Acer pseudoplatanus* (d ст. 84,0), *Tilia euchlora* (d ст. 83,0), *Tilia platyphyllos* (d ст. 78,0). 93% дендрософітів продукують насіння. За життєвим станом більша частина рослин майже усіх раритетних видів отримали оцінку II бали, тобто є пошкодженими.

Перспективи використання результатів дослідження. Нині, коли життя вимагає науково обґрунтованих підходів та конкретних дій у справі раціонального використання природних ресурсів, охорони природи та її фітосистем, комплексна оцінка паркових насаджень і особливо їх раритетної складової частини дасть змогу розробити наукові рекомендації щодо оптимізації їх збереження.

Література

1. Флорентійська хартія Міжнародного комітету з історичних садів 1981 р. *Охорона культурної спадщини* : Збірник міжнародних документів. Київ : «АртЕк», 2002.
2. Попович С.Ю., Степаненко Н.П., Дяченко Я.М., Василик О.В. та ін. Заповідна дендросоцїофлора Лісостепу України. Київ : ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2010. 262 с.
3. Попович С.Ю., Власенко А.С., Берегута Є.І. Заповідна дендросоцїофлора Степу України. Київ : ЦП «Компринт», 2013. 260 с.
4. Степаненко Н.П., Попович С.Ю. Заповідні дендросоцїофіти Лісостепу України. Київ, 2015. 131 с.
5. Попович С.Ю., Власенко А.С., Кривенко О.Г. Чекліст дендроекзотів України. Київ : «ЦП Компринт», 2016. 546 с.
6. Калашнікова Л.В., Галкін С.І. Созологічний аналіз дендроекзотів дендропарку «Олександрія» НАН України. *Інтродукція рослин*. Київ, 2016. Вип. 4 (72). С. 28–38.
7. Калашнікова Л.В., Галкін С.І. Таксономічна структура соцїофлори дендропарку «Олександрія» НАН України. *Науковий Вісник НЛТУ України*. Львів, 2017. Вип. 27 (3). С. 38–40.
8. Офіційні переліки регіонально рідкісних рослин адміністративних територій України / укладачі: Т.Л. Андрієнко, М.М. Перегрим. Київ : Альтерпрес, 2012. 148 с.
9. Червона книга України. Рослинний світ / За ред. Я.П. Дідуха. Київ : Глобалконсалтинг, 2009. 900 с.
10. Bilz M., Kell S., Maxted N., Lansdown R. European Red list of vascular plants. Luxemburg : Publications Office of the European Union, 2011. 125 p.
11. The IUCN Red List Categories and Criteria: Version 3.1. 2 ed. Gland (Switzerland); Cambridge (UK) : IUCN, 2012. iv +32 pp.
12. The IUCN Red list of Threatened Plants, compiled by the World Conservation Monitoring Centre, IUCN (2016.2). 1715 p.
13. Клименко О.О., Кузнецов С.І. Комплексна оцінка паркових насаджень. Київ, 2014. 66 с.
14. Клименко О.О., Ільєнко О.О., Медведєв В.А. Дендропарк «Тростянець»: методика реконструкції насаджень. *Інтродукція рослин*. 2001. № 2. С. 208–224.
15. Серебряков И.Г. Экологическая морфология растений. Москва : Высшая школа, 1962. 378 с.
16. Ярмашко В.Т. Диагностика поврежденных и оценка жизненного состояния деревьев и древостоев в условиях промышленного атмосферного загрязнения *Методы изучения лесных сообществ*. Санкт-Петербург : НИИХимии С-ПбГУ, 2002. С. 154–165.
17. Каталог деревних рослин дендрологічного парку «Олександрія» НАН України / За ред. С.І. Галкіна. Біла Церква, 2013. 62 с.

АНАЛІЗ ЧУТЛИВОСТІ ПИЛКУ РОСЛИН *CANNA L.* В УМОВАХ АЕРОТЕХНОГЕННОГО ПРЕСИНГУ

Мазура М.Ю., Лещенюк О.М., Тесленко І.К., Юрчук М.І.
ДУ «Інститут еволюційної екології Національної академії наук України»
вул. академіка Лебедєва, 37, 03143, м. Київ
marinamazura1978@gmail.com

У статті викладено вплив аеротехногенного навантаження на життєздатність пилку рослин *Canna L.* (на тест-полігонах із різною інтенсивністю руху транспорту й наближеністю до потужних підприємств промислового міста Кривий Ріг). У процесі роботи виявлено, що забруднення природного середовища приводить до запуску механізмів адаптації, які забезпечують функціонування рослин в умовах урбанізації. Встановлено, що на території гірничо-збагачувальних комбінатів досліджувані рослини катни продемонстрували чітку залежність життєвого потенціалу пилку стосовно фонового рівня забруднення, де рівень стерильності становив від 71,7 до 77,2%. Водночас простежується тенденція невеликого збільшення продукції абортивного пилку в межах 3,9–4,6% у порівнянні з контролем на тест-полігоні під час забруднення автотранспортом. Лише по вул. Карбишева такий показник залишався на рівні спонтанно індукованих значень, що пов'язано з віддаленістю його від промислової зони й міської дороги з інтенсивним рухом транспорту. Під час розрахунку палінотоксичного ефекту провели ранжування за коефіцієнтом стерильності пилку. Виявлено ефективний вміст токсичних концентрацій на тест-полігонах № 1 і № 2 промислової зони, на яких величина палінотоксичності спостерігалась у межах 30% (сорт “The President”) і близько 18% (сорт «Отблеск Заката»). На тест-полігонах № 3 і № 4 встановлено ініціальний вміст поллютантів за показниками (ПЕ, %), які були в межах 3–7% досліджуваних рослин. Виявлено, що найінформативнішими показниками чутливості пилку рослин катни щодо різного рівня забруднення повітря є відсоток стерильності пилку й коефіцієнт чутливості (Кчп) на відміну від інших, тому вони можуть бути рекомендовані для використання в системі екологічного моніторингу навколишнього середовища з різним ступенем техногенного навантаження. *Ключові слова:* Кривий Ріг, тест-полігон, забруднення, палінотоксичний ефект, пилко, сорти катни.

Sensitivity analysis pollen of *Canna L.* plants under anthropogenic pressure. Mazura M., Leshcheniuk O., Teslenko I., Yurchuk M.

The article examines the impact of anthropogenic load on the viability of *Canna L.* plant pollen (on test sites with different traffic intensity and proximity to powerful industrial enterprises). In the course of work it is established that pollution of the natural environment leads to the launch of some adaptation mechanisms that ensure the functioning of plants in urban conditions. It was found that at the test sites on the territory of mining and processing plants of the studied canna plants showed a clear dependence of pollen life potential on the background level of contamination, the level of sterility ranged from 71.7 to 77.2%. At the same time, there is a tendency of a small increase in sterile pollen at the test site in case of aerogenic pollution by vehicles, in the range of 3.9–4.6% compared to the control. Only at the test site on the street. Karbysheva, this figure remained at the level of spontaneously induced values, apparently, this is due to its remoteness from the industrial zone and urban roads with heavy traffic. When calculating the palinotoxic effect, ranked by the coefficient of sterility of pollen, the effective content of toxic concentrations at test sites was revealed № 1, 2, industrial zone, the magnitude of palinotoxicity was observed within 30% (sort “The President”) average value 18% (sort “Otblesk zakata”). At test sites № 3, 4 the initial content of pollutants is established, according to indicators (PE) 3–7% plants of cannes. The most informative indicators of the sensitivity of pollen of canna plants to different levels of air pollution were: the percentage of sterility of pollen and the coefficient of sensitivity in contrast to others, they can be used in environmental monitoring with different degrees of anthropogenic load. *Key words:* Kryvyi Rih, test site, pollution, palinotoxic effect, pollen, canna varieties.

Постановка проблеми. Важливою складовою сталого розвитку України є охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів, які підтримують екологічну рівновагу, сприяють відновленню передусім, біологічних ресурсів [18]. Натепер актуальним є питання протидії забрудненню та порушенню природного середовища, що пов'язане з антропогенним та техногенним впливом, насамперед, у містах – це забруднення атмосферного повітря через функціонування підприємств та автомобільного транспорту [16]. В умовах інтенсивного розвитку промислових центрів України зростає актуальність вивчення комплексного впливу антропогенного забруднення як одного з провідних факторів, що суттєво змінює функціонування фітоценозів урбанізованих екосистем [19].

Актуальність дослідження. Кривий Ріг є одним з найкрупніших промислових міст України з підвищеним техногенним навантаженням, що обумовлено наявністю різних галузей промисловості. Невід'ємною частиною урболандшафтів є фітоценози, саме рослини, перебуваючи в умовах експозиції таких територій, характеризуються рядом переваг при індикації біологічних систем. Такі рослини належать як до чутливих, так і до акумулятивних видів-індикаторів по відношенню до комплексу стресорів міського середовища [1; 6]. Їхня здатність адаптуватись до значних концентрацій фітотоксикантів залежить від видових особливостей здатності до біоаккумуляції та рівня техногенного навантаження на природне середовище [19]. В умовах антропопресингу у рослин порушуються процеси

життєдіяльності, в тому числі і ті, що пов'язані з розмноженням, тому об'єктами біомоніторингу можуть слугувати пилкові зерна. Квітничково-декоративні культури – облігатний і один з найвагоміших компонентів у зеленому будівництві промислового Кривого Рогу. З огляду на це, нами були розпочаті дослідження епігенетичної мінливості та адаптаційної здатності окремих видів і сортів роду *Canna* L. до вирощування в гетерогенних умовах Кривого Рогу та можливість їх використання як рослини-біоіндикатори для оцінки навколишнього середовища [11].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні є ціла низка вітчизняних і закордонних публікацій, які свідчать про можливість використання паліноіндикації як елементу системи моніторингу стану довкілля [20]. При таких дослідженнях важливо дотримання фундаментального принципу простоти аналізу індикації з використанням нескладних тестів, які дозволяють швидко оцінити екологічний стан територій [14; 15]. За даними досліджень таких науковців, як А.І. Горова, С.А. Риженко, Т.В. Скворцова, І.І. Клімкіна, А.В. Павліченко, М.О. Кліменко, які стверджують, що при застосуванні методу біоіндикації (дослідження пилку рослин-біоіндикаторів) у зоні впливу підприємств можна визначити рівень ушкодження, стан рослин-біоіндикаторів та категорію екологічної безпеки території [7; 8]. Дослідження, проведені різними авторами з використанням рослин: *Nicotiana tabacum* L., *Vicia cracca* L., *Tussilago farfara* L., *Plantago major* L., *Zea mays* L., *Pinus sylvestris* L., *Larix sibirica* Ledeb. та ін. показали, що в зоні впливу автомобільних доріг збільшується кількість стерильного пилку [4; 13; 14; 17]. Продемонстровано прямий зв'язок між рівнем забруднення навколишнього середовища і стерильністю пилку індикаторних рослин з утворенням великої кількості стерильного пилку Незважаючи на те, що серед рослин є чимало ефективних індикаторів, залишається актуальною проблема відбору інформативних фітоіндикаторів забруднення атмосферного повітря. Як свідчать проведенні нами дослідження, для оцінки стану техногенно-змінених територій цілком можливе використання рослин канни [9; 10; 11]. Встановлено, що високопаліночутливі сорти канни "Andenken an Vilgelm Pfitzer" та «Хамелеон» можна використовувати для індикації ступеня забруднення, а палінотолерантний сорт «Престиж» рекомендовано використовувати для озеленення урбоєкосистем [11]. У цьому контексті використання методів біоіндикації та пошук нових видів і сортів рослин-біоіндикаторів є доцільним.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Для Кривого Рогу велике значення має природоохоронна діяльність, спрямована на запобігання забрудненню навколишнього природного середовища. Це один з пріоритетів стратегії розвитку міста до 2025 року. За даними

підприємств міста викиди забруднюючих речовин у атмосферне повітря складають 266 тис. тон, з них на ПАТ «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат» припадає 0,96%, на ПАТ «Північний гірничо-збагачувальний комбінат» – 2,55% [12]. Наразі доцільно використовувати опосередковані показники мутагенного впливу на тлі традиційних. До таких методів відносяться скринінг палінотоксичного ефекту шляхом визначення стерильності чоловічого гаметофіту [13]. В екологічно несприятливих умовах рослини продукують більшу кількість стерильних пилкових зерен, тому завдяки аналізу пилку можна проводити порівняльну оцінку рівня забруднення різних зон швидко, без застосування складного лабораторного обладнання.

Формулювання мети статті. У зв'язку з цим, метою нашої роботи є аналіз чутливості пилку, задіяних в озелененні міста Кривий Ріг, сортів канни до умов різного рівня забруднення атмосферного повітря та перспективність використання показників їх пилку для фітоіндикації довкілля.

Методика дослідження. Для виявлення чутливості пилку на мутагенну дію чинників повітря використано рівень стерильності двох сортів канни («Отблеск Заката» і «The President») на чотирьох тест-полігонах м. Кривий Ріг.

Першим етапом проведення екологічного моніторингу є вибір фонового (контрольного) та моніторингових тест-полігонів. Територія контрольного тест-полігону повинна бути екологічно чистою і мати сприятливі умови для рослин [2]. Тому для контролю обрано колекційну ділянку Криворізького ботанічного саду НАН України (далі – КБС). Дослідні полігони на території міста обирали в промислових зонах, у житлових масивах та зонах з інтенсивним транспортним рухом з різною концентрацією пилових опадів у повітрі (табл. 1). Тест-полігон № 1 – управління ПАТ «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат»; № 2 – автоцех ПАТ «Північний гірничо-збагачувальний комбінат»; № 3 – квітничково-декоративне озеленення біля площі «Веселі Терни» з інтенсивним транспортним рухом (близько 950 одиниць за годину); № 4 – квітничкове оформлення вул. Карбишева, яка розташована вдалині від промислової зони та міської дороги з інтенсивним транспортним рухом.

Для дослідження пилок відбирали зі зрілих бутонів (на стадії завершення бутонізації) і переносили у краплю йодного розчину. Враховуючи, що фертильні і стерильні клітини пилку рослин відрізняються за вмістом крохмалю, якість пилку визначали йодним методом (фарбування за Грамом) [22]. Дослідження проводили за допомогою мікроскопу Olympus BX-51. Стерильність пилкових зерен визначали за формулою 1:

$$M = \frac{G}{N} \times 100\%, \quad (1)$$

Таблиця 1

Пилові опади на моніторингових тест-полігонах (г/м²)

Тест-полігони	Кількість пилових опадів (г/м ²)					
	За добу			За рік		
	M ±m	V %	t _{st}	M ±m	V %	t _{st}
Контроль	0,19 ± 0,09	11,98	–	65,23 ± 6,35	10,25	–
№ 1	1,69 ± 0,27*	24,76	4,10	132,33 ± 12,30*	18,59	5,26
№ 2	2,01 ± 0,39*	15,64	2,41	147,10 ± 17,80*	22,97	3,61
№ 3	0,82 ± 0,16*	18,17	3,16	99,61 ± 19,04*	24,56	4,15
№ 4	0,24 ± 0,11	17,11	2,68	71,44 ± 9,32	16,49	3,12

Примітка: «*» – статистично достовірна різниця до контролю $p < 0,05$

де G – кількість стерильних пилових зерен; N – кількість досліджених пилових зерен. Потім знайшли помилку розрахунку за формулою 2:

$$m = \mp \sqrt{\frac{M^* (100 - M)}{N}}, \% \quad (2)$$

Коефіцієнт стерильності, який визначає у скільки разів частота індукованого рівня стерильності перевищує рівень спонтанної стерильності в контролі, розраховували за формулою 3:

$$K_{сп} = \frac{C_{рd}}{C_{к}} \quad (3)$$

де: $K_{сп}$ – коефіцієнт стерильності пилку; $C_{рd}$ – стерильність пилку в районі дослідження; $C_{к}$ – стерильність пилку на контрольній території [3].

Коефіцієнт чутливості органів чоловічої репродукції до техногенного забруднення визначали за формулою 4:

$$K_{чп} = \frac{\Phi}{C} \quad (4)$$

де: $K_{чп}$ – коефіцієнт чутливості органів чоловічої репродукції; Φ – фертильні пилові зерна, C – стерильні пилові зерна [4].

Палінотоксичність техногенних забруднювачів навколишнього середовища з використанням репродуктивної системи рослин визначали за формулою 5:

$$PE = \frac{\Phi_0 - \Phi_x}{\Phi_0} * 100, \quad (5)$$

де: PE – палінотоксичний ефект, Φ_0 – інтенсивний показник величини спонтанної фертильності репродуктивної системи рослин контрольної зони, Φ_x – інтенсивний показник величини індукованої фертильності рослин, що ростуть у фітотоксичному середовищі [5].

Проводили ранжування дослідних полігонів по класифікації EC_{10-90} : ініціальний (слаботоксичний), ефективний (середньо-токсичний) і сублетальний (високотоксичний) вміст токсичних концентрацій забруднювачів у вивчених районах – відповідно EC_{10} , EC_{50} , EC_{90} , при яких спостерігалася інгібування продукції фертильного пилку генеративними орга-

нами досліджених рослин 10, 50 і 90% у порівнянні з контролем, за отриманими результатами робили висновок про ступінь токсичності забруднюючих речовин техногенної зони. Отримані результати опрацьовували математично з використанням методів параметричної статистики на 95% рівні значущості [21].

Виклад основного матеріалу. За результатами дослідження виявлено різний відсоток безкрохмальних пилових зерен у рослин канни на всіх дослідних тест-полігонах м. Кривий Ріг. Встановлена чітка залежність стерильності пилку рослин сорту “The President” від рівня забруднення. Так на полігонах промислових зон, де рівень пилових опадів перевищує контроль у 8,9 разів (тест-полігон № 1) та у 10,5 разів (тест-полігон № 2), цей показник був найвищим (табл. 1, рис. 1) – 71,7% та 77,2% відповідно. Стерильність пилку у порівнянні з контролем збільшилася на 16,1–21,6%. Зростання рівня стерильності пилових зерен на вищезначених полігонах також зафіксовано у рослин сорту «Отблеск Заката» – на 8,4 та 9,8% відповідно. Виявлено, що між рослинами-біоіндикаторами на градієнті техногенного забруднення існують достовірні відмінності в продукції стерильного пилку.

Водночас простежується тенденція невеликого збільшення кількості абортивного пилку на тест-полігоні № 3 при забрудненні автотранспортом у рослин сорту “The President” на 3,9%, у рослин сорту «Отблеск Заката» на 4,6% у порівнянні з контролем.

Лише на тест-полігоні № 4 на вул. Карбишева, такий показник залишався на рівні спонтанно індукованих значень, що на нашу думку, пов'язано з віддаленістю його від промислової зони та міської дороги з інтенсивним рухом транспорту. Аналіз відсотку безкрохмальних пилових зерен досліджуваних сортів канни показав, що рослини сорту “The President” більш чутливі до забруднення повітря порівняно з рослинами «Отблеск Заката» (табл. 1).

Оскільки відсоток фертильного пилку у сортів канни у контрольному варіанті різниться, то для об'єктивного порівняння одержаних результатів доцільно використовувати коефіцієнт стерильності пилових зерен ($K_{сп}$). Співставлення цієї вели-

чини у досліджених сортів канни свідчить про те, що найбільш чутливим до забруднення атмосферного повітря є пилок сорту "The President", так як у нього найвищі показники Ксп. Так, у зоні найбільшого забруднення (біля металургійних комбінатів з повним металургійним циклом) такий коефіцієнт у цього сорту становив 2,4 (тест-полігон № 1) та 2,8 (тест-полігон № 2), тоді як у рослин сорту «Отблеск Заката» – 1,6 та 1,7 відповідно (табл. 2).

На тест-полігоні № 3 з інтенсивним транспортним рухом Ксп у сорту "The President" в 2 рази зменшився, ніж поблизу промислових зон і становив 1,1, тоді як у сорту «Отблеск Заката» спостерігалось незначне зменшення цього показника – 1,1.

Визначення коефіцієнту чутливості пилку канни показало, що у рослин сорту "The President" на більш забруднених територіях, які розташовані біля гірничих підприємств м. Кривий Ріг, цей показник знизився у 2,0 та 2,6 разів порівняно з контролем і становив 0,3-0,4. У рослин сорту «Отблеск Заката» найбільше коефіцієнт чутливості зменшився у 1,5 рази на тест-полігоні № 2, де концентрація пилу у повітрі за добу була найвищою і становила $2,0 \pm 0,39$ (г/м²) (табл. 1, 2). Аналізуючи отримані дані, можна констатувати, що ступінь чутливості пилку канни залежить від інтенсивності забруднення повітря.

За показниками палінотоксичного ефекту (ПЕ,%) згідно класифікації ЕС₁₀₋₉₀ тест-полігони № 1, № 2 віднесено до ефективного (середньо-токсичного),

Таблиця 2

Чутливість пилових зерен рослин канни в різних умовах м. Кривий Ріг

Номер дослідної ділянки	Сорт «Отблеск Заката»				Сорт канни "The President"			
	Ксп	Кчп	ПЕ, %	ЕС ₁₀₋₉₀	Ксп	Кчп	ПЕ, %	ЕС ₁₀₋₉₀
Контроль	–	2,0	–	–	–	0,8	–	–
№ 1	1,6	1,4	15,3	ЕС ₅₀	2,4	0,4	31,8	ЕС ₅₀
№ 2	1,7	1,3	18,8	ЕС ₅₀	2,8	0,3	34,0	ЕС ₅₀
№ 3	1,1	1,6	6,7	ЕС ₁₀	1,1	0,7	5,9	ЕС ₁₀
№ 4	1,1	1,7	3,4	ЕС ₁₀	1,0	0,7	4,0	ЕС ₁₀

Примітка: Ксп – коефіцієнт стерильності пилку; Кчп – коефіцієнт чутливості органів чоловічої репродукції; ПЕ, % – палінотоксичний ефект; ЕС₁₀₋₉₀ – класифікація концентрацій забруднення: ЕС₁₀ ініціальний (слаботоксичний), ЕС₅₀ ефективний (середньотоксичний) і ЕС₉₀ сублетальний (високотоксичний)

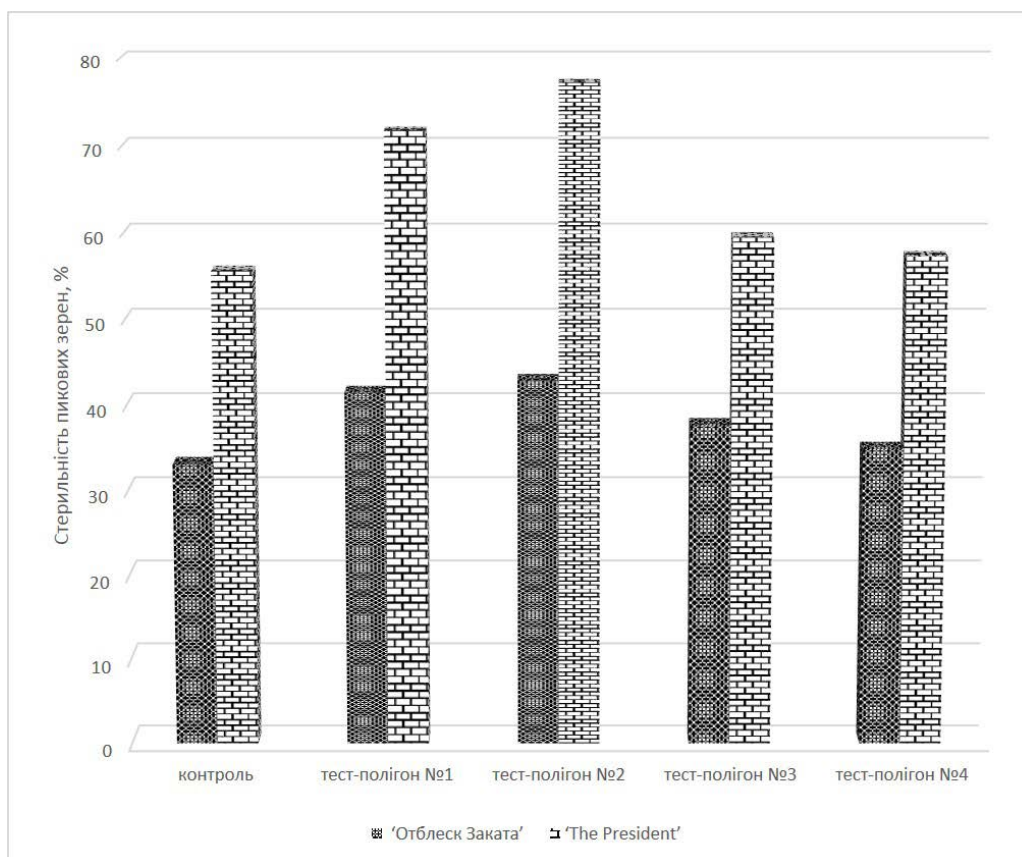


Рис. 1. Рівень стерильності пилку рослин канни в різних умовах забруднення м. Кривий Ріг

Таблиця 3

Матриця чутливості пилку рослин *Canna L.* до концентрації пилу у повітрі на тест-полігонах м. Кривий Ріг (на прикладі сортів «Отблеск Заката», «The President»)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1											
2	0,71										
3	0,99	-0,66									
4	0,99	-0,94	0,99								
5	-0,90	0,34	-0,93	-0,92							
6	1,00	-0,88	0,99	0,98	-0,98						
7	0,75	-0,35	0,73	0,56	-0,75	0,71					
8	0,99	-0,68	0,96	0,95	-0,88	0,99	0,81				
9	0,98	-0,80	0,96	0,94	-1,00	0,99	0,74	1,00			
10	-0,99	0,67	-0,98	-0,97	0,90	-1,00	-0,78	-1,00	-1,00		
11	0,97	-0,80	0,96	0,95	-0,99	0,98	0,64	0,98	0,99	-0,99	

Примітка: 1 – концентрація пилових опадів у повітрі (г/м²); сорт «Отблеск Заката»: 2 – загальна кількість дослідженого пилку (шт.); 3 – стерильність пилку, %; 4 – коефіцієнт стерильності пилку; 5 – коефіцієнт чутливості пилку, 6 – палінотоксичний ефект, %; сорт «The President»: 7 – загальна кількість дослідженого пилку (шт.); 8 – стерильність пилку, %; 9 – коефіцієнт стерильності пилку; 10 – коефіцієнт чутливості пилку, 11 – палінотоксичний ефект, %

а № 3 та № 4 до ініціального (слаботоксичного) (табл. 2). Нами з'ясовано, що в зоні з повним металургійним циклом, забруднювачі виявляли токсичну дію на гаметогенез, що підтверджувалося продукуванням високого рівня стерильного пилку генеративними органами рослин-біоіндикаторів обох сортів канни.

Для об'єктивної оцінки рівня чутливості пилкових зерен (% стерильності) на градієнті забруднення атмосферного повітря (пилові опади) на тест-полігонах м. Кривий Ріг нами проведено парний кореляційний аналіз (табл. 3).

Встановлено високий рівень прямого кореляційного зв'язку між концентрацією пилових опадів у повітрі та відсотком стерильного пилку рослин-біоіндикаторів обох сортів канни ($r = 0,75$ та $0,99$). Крім того нами проведено парний кореляційний аналіз між вмістом пилових опадів у повітрі та коефіцієнтом чутливості досліджених фітоіндикаторів. Встановлено зворотній кореляційний зв'язок високого рівня ($r = -0,90$ та $-0,99$) між коефіцієнтом чутливості у рослин обох сортів «Отблеск Заката» та «The President» до концентрації пилу у повітрі.

Отже, проведені дослідження показали доцільність використання чутливості пилку рослин-біоіндикаторів за показниками стерильності для діагностики рівня забруднення атмосферного повітря. Для отримання комплексної оцінки екологічного стану урботехногенних екосистем, окрім прийнятого переліку видів-індикаторів, доцільно залучати сорти квітничково-декоративних рослин, зокрема, канни, як вагомого компонента оцінки техногенного навантаження на біогеоценоз.

Висновки. Пилок сортів *Canna L.* є чутливими до градієнту різного рівня забруднення повітря в умовах урбоєкосистеми, тому доцільно залучати сорти канни для отримання комплексної оцінки екологічного стану територій з інтенсивним техногенним навантаженням.

Перспективи використання результатів дослідження. Вважаємо за необхідне подальше дослідження декоративних рослин урбанізованих територій з метою визначення показників, які є найбільш показовими при визначенні рівня забруднення повітря та екологічного моніторингу довкілля.

Література

1. Юрчак Л.Д., Заїменко Н.В., Мороз П.А., Рахметов Д.Б., Корабльова О.А., Юношева О.П., Гнатюк Н.О. Екологічна роль біорізноманіття в культурних фітоценозах. *Агроекологічний журнал*. 2009. Вип. 1. С. 46–52.
2. Ханнанова О.Р., Арканова А.А. Біоіндикаційна оцінка стану атмосферного повітря Полтавського міського парку. *Біологія та екологія*. 2017. Том 3 (1–2). С. 69–75.
3. Корнелюк Н.М., Конякін С.М. Особливості сезонного накопичення мікроелементів (Cu, Pb, Zn, Cd) фітомасою рослин техногенно трансформованих екоотопів (на прикладі м. Черкаси). *Екологічні науки*. 2020. Вип. 1 (28). С. 335–343.
4. Парпан В.І., Миленька М.М. Методологічні аспекти оцінки екологічного стану урбанізованих і техногенно змінених територій. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія*. 2010. Вип. 18 (2). С. 61–68.
5. Морозова Т.В., Хрутьба В.О., Кобзиста О.П. Скринінг паліноморфологічного та палінотоксичного ефекту автотранспортних емісій. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки»*. 2019. Вип. 1 (43). С. 116–126.

6. Матяшук Р.К., Мазура М.Ю., Ткаченко І.В. Стан пилку канни в умовах урбанізованих територій. *Вісник харківського національного аграрного університету. Серія «Біологія»*. 2014. Вип. 3 (33). С. 43–51.
7. Гришко В.М., Комарова І.О. Біоіндикація атмосферного забруднення за реакцією пилкових зерен *Taraxacum officinale* F.H.Wigg (на прикладі м. Кривий Ріг). *Science Rise. Біологічні науки*. 2016. Вип. 5/1 (22). С. 15–20.
8. Бессонова В.П., Бессонов В.М., Зверковський В.М. Оцінка стану пилку деревних рослин в урбатехногенній екосистемі. *Питання біоіндикації та екології*. 2013. Вип. 18 (1). С. 3–17.
9. Muller M., Guttenberg H., Grill D. Die Anwendung der „Cytogenetischen Bioindication“ zur Fruherkennung von Vegetationsschadens in der Steiermark. *Mitt. Naturwiss. Ver. Steiermark*. 1991. В. 121. S. 43–50.
10. Баршевська І.М. Розповсюдження рослин-біоіндикаторів на території зони впливу ПАТ «Волинь-цемент». *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія «Сільськогосподарські науки»*. 2013. Вип. 2 (62). С. 103–110.
11. Кліменко М.О., Хомич Н.Р. Екологічна оцінка території міста Рівне за цитогенетичними фітопоказниками. *Вісник Запорізького національного університету*. 2008. Вип. 2. С. 84–88.
12. Григорук І.Д., Оптасюк О.М. Аналіз стерильності пилку деревних рослин в умовах міста Кам'янець-Подільський. *Біологічні системи*. 2018. Т. 10. Вип. 2. С. 145–150.
13. Ибрагимова Е.Е. Палиноморфологическая и палинотоксическая оценка аэрогенного загрязнения в урбоэкосистемах. *Самарский научный вестник*. 2015. № 2 (10). С. 83–86.
14. Барабаш О.В. Оцінка рівня забруднення атмосферного повітря методом дендроіндикації. *Екологічні науки*. 2019. № 4 (27). С. 102–107.
15. Матяшук Р.К., Белкіна М.Ю., Зубкова Н.В. Мінливість росту і розвитку канни залежно від умов вирощування. *Бюл. Гос. Никит. ботан. сада*. 2010. Вип. 102. С. 65–71.
16. Матяшук Р.К., Белкіна М.Ю. Адаптаційна мінливість розвитку канни в різних умовах вирощування. *Наукові, прикладні та освітні аспекти фізіології, генетики, біотехнології рослин і мікроорганізмів* : матеріали XI наукової конференції, м. Київ, 22–24 червня 2010 р. С. 224–226.
17. Основні підприємства-забруднювачі атмосферного повітря. *Офіційний вебпортал міста Кривого Рогу* : вебсайт. URL: <https://krmisto.gov.ua/ua/ecology/airpollutants.html>.
18. Горова А.І., Грунтова В.Ю., Павличенко А.В. Про можливість використання цитогенетичних методів біоіндикації при виборі контрольних територій в системі екомоніторингу. *Науковий вісник Чернівецького університету*. 2008. Вип. 416. С. 3–8.
19. Паушева З.П. Практикум по цитологии растений. Москва : Колос, 1980. 300 с.
20. Швець Л.С. Біоіндикація інтенсивності забруднення довкілля за показниками фертильності зерен різних рослин. *Досягнення біології та медицини*. 2011. Вип. 1 (17). С. 41–44.
21. Спосіб визначення палинотоксичності техногенних хімічних забруднювачів навколишнього середовища : пат. 32513 Україна : МПК (2006), G01N 1/100 / Д.В. Балічєва, Є.Є. Ібрагімова, Д.В. Емірова. № u200711625 ; заявл. 22.10.1007 ; опубл. 26.05.2008, Бюл. № 10.
22. Лакин Г.Ф. Биометрия. Москва : Высшая школа, 1990. 528 с.

ВИДОВЕ РІЗНОМАНІТТЯ ЛУСКОКРИЛИХ РОДИНИ БРАЖНИКИ (*SPHINGIDAE*) В УРОЧИЩІ РОЖЕНА КРИНИЦЯ КАНІВСЬКОГО РАЙОНУ

Трускавецька І.Я.

Університет Григорія Сковороди в Переяславі
вул. Сухомлинського, 30, 08400, м. Переяслав, Київська область
irina-truskaveckaya@ukr.net

В основу статті покладено відомості досліджень лепідоптерофауни урочища Рожена Криниця Канівського району, зокрема з'ясовано сучасний видовий склад Sphingidae, проаналізовано біотопічну приуроченість лускокрилих родини Sphingidae, їхні трофічні зв'язки та екологічні особливості.

В результаті проведених досліджень, аналізу літературних джерел та колекційних матеріалів на досліджуваній території відловлено 7 видів лускокрилих із родини Sphingidae. За своєю поведінкою метелики схожі на пташок колібрі, вони «зависають» у повітрі над квітами.

Домінуючими видами є *Laothoe populi* та *Agrius convolvuli*, а один вид – *Acherontia atropos* – занесено до Червоної книги України.

За способом живлення найбільша кількість видів Sphingidae представлена мезофілами – *Laothoe populi*, *Smerinthus ocellatus*, *Hyles nicaea* та *Mimas tiliae*, поширення яких переважно пов'язане з низинними лучними, лісовими ландшафтами. До змішаних типів – мезо-ксерофілів належать 3 види: *Acherontia atropos*, *Agrius convolvuli*, *Marumba quercus*. Гусениці *Agrius convolvuli* розвиваються на березах, а *Acherontia atropos* люблять картоплю і мають таку назву тому, що на їхньому тілі є зображення, яке нагадує череп.

Серед Sphingidae є мігруючі види, зокрема: *Agrius convolvuli* та *Acherontia atropos*. Ці види летять на зиму в Північну Африку. Починають відлітати наприкінці вересня, а повертаються до нашого краю у червні. Перед тим, як відлітати в далеку дорогу, *Lepidoptera* інтенсивно харчуються нектаром квітів. Наприклад, *Agrius convolvuli* добуває собі їжу з великих бутонів квітів, за допомогою довгого хоботка (10–15 см), на відміну від інших Sphingidae. *Acherontia atropos* має короткий і товстий хоботок, тому пристосований лише для поїдання м'яких і гнилих фруктів. Ці метелики часто залітають до вуликів *Apiformes* й живляться там медом. Взимку метелики, які не мігрують, впадають у сплячку і при температурі 15 градусів і вище починають бути активними. *Ключові слова*: видовий склад, чисельність, Sphingidae, біотопи, урочище Рожена Криниця.

Species diversity of lepidoptera families Sphingidae in the tract Rozhena Krynytsia Kanivsky district. Truskavetska I.

The article is based on studies of the lepidopteroфауна of the Rozhena Krynytsia tract of Kaniv district, in particular, the current species composition of Sphingidae is specified, the biotope of the Sphingidae family, their trophic connections and ecological features are analyzed.

As a result of research, analysis of literature sources and collection materials in the study area, 7 species of Lepidoptera from the family Sphingidae were caught. Butterflies behave like hummingbirds, they "hang" in the air over the flowers.

The dominant species are *Laothoe populi* and *Agrius convolvuli*, and one species - *Acherontia atropos* is listed in the Red Data Book of Ukraine.

In terms of diet, the largest number of Sphingidae species are represented by mesophiles – *Laothoe populi*, *Smerinthus ocellatus*, *Hyles nicaea* and *Mimas tiliae*, the distribution of which is mainly associated with lowland meadow, forest landscapes. Mixed types – meso-xerophiles include 3 species: *Acherontia atropos*, *Agrius convolvuli*, *Marumba quercus*. Caterpillars of *Agrius convolvuli* grow on birches, and *Acherontia atropos* love potatoes and have this name because they have an image on their body that resembles a skull.

Sphingidae include migratory species, including *Agrius convolvuli* and *Acherontia atropos*. These species fly for the winter to North Africa. They begin to fly away in late September, and return to our region in June. Before flying away, *Lepidoptera* feeds intensively on flower nectar. For example, *Agrius convolvuli* obtains food from large flower buds, using a long proboscis (10–15 cm), unlike other Sphingidae. *Acherontia atropos* has a short and thick proboscis, so it is only suitable for eating soft and rotten fruit. These butterflies often fly into *Apiformes* hives and feed on honey there. In winter, butterflies that do not migrate, hibernate and at a temperature of 15 degrees and above begin to be active. *Key words*: species composition, abundance, Sphingidae, biotopes, Rozhena Krynytsia tract.

Постановка проблеми. У природних екосистемах комахи ряду Лускокрилі відіграють значну роль як фітофаги-консументи великої кількості видів дикорослих рослин. Родина Бражники об'єднує велику групу присмеркових та нічних метеликів. До них належать найбільші метелики місцевої фауни, які досягають до 130 мм у розмаху крил. Бражники отримали таку назву через вигляд личинкової стадії, яка має на останньому сегменті ріг. Гусениці бувають великі, голі, мають циліндричну форму та різне забарвлення тіла [10, с. 43].

Багато видів цієї родини є рідкісними і занесені до Червоної книги України, тому вивчення видового різноманіття є одним із важливих завдань сьогодення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивчення нічних метеликів України започатковане понад 200 років тому. Одним із перших дослідників нічних метеликів був петербурзький зоолог та ботанік Й. де Бебера, який в 1793 р. здійснив наукову подорож із Катеринослава (нині Дніпропетровськ) до Криму. У його праці наведено 13 видів нічних

метеликів із Криму та 2 види з Херсонської області (Бей-Биенко, 1980) [1, с. 12].

Серед вчених, які заклали підвалини дослідження нічних лускокрилих, варто назвати й В.І. Гусєва (1962), А.К. Загуляєва (1986), В.Т. Козака (2010). Методичні засади видового обліку і кількісного аналізу нічних лускокрилих розглянуті в працях Є.А. Дунаєва (1997) та Ю.А. Песенко (1982) [2, с. 3].

Видовий склад нічних лускокрилих, зокрема родини Совки, протягом усього життя вивчав професор М. Воскресенський. Систематичний огляд становить 183 види, зібрані вченим у Пирятинському та Гребінківському районах впродовж 1902–1904 рр., з них 80 видів у містах Донецьк, Горлівка, Дружківка (Воскресенський М.М., 1927) [1, с. 32].

Серед присмеркових, рідкісних метеликів є Бражник мертва голова. О.П. Кришталь (1947 р.) у своїх працях зазначив, що метелика зафіксовано в Канівському заповіднику. За результатами досліджень Павленка, Гончарова (1997 р.) в околицях Черкаської області, остання знахідка Бражника мертва голова зареєстрована у 1982 р. З того часу до 2009 р. відомостей про метелика на цій території не знайдено. У 2009 р. О.П. Полішко знайшов метелика в м. Канів [9, с. 136], а нами вперше зафіксовано в 2012 р. в період проходження навчально-польової практики в околицях с. Бучак Канівського району.

Мета роботи – уточнити і доповнити відомості про видовий склад бражників урочища Рожена Криниця, їх екологічної приуроченості, трофічних зв'язків, поширенню за основними біотопами та чисельності.

Матеріалом для вивчення нічних метеликів Лісостепової зони послужили власні збори і спостереження упродовж вегетаційних періодів 2017–2019 років. Стационарні дослідження проведені на території Бучацького лісництва, що охоплює урочище Бабина гора та Рожена Криниця. Спостереження та обліки здійснювали під час маршрутних обстежень агроценозів та прилеглих до них лісосмуг, на полі, галявинах мішаних лісів та низинних луках. Обліковували метеликів упродовж всього періоду вегетації рослин із травня по жовтень. Збір бражників здійснювали методом індивідуального збору, за допомогою ентомологічної (світлової) пастки та ентомологічного сачка. Крім того, метеликів збирали в сутінки над квітами (рута) в садах.

За рівнем чисельності (з огляду на незначну кількість представників родини в обліках) виділено три групи: звичайні – більше 8 особин; малопоширені – від 3 до 8; рідкісні (поодинокі) види – не більше 1-2 екземплярів за весь період досліджень [8, с. 68].

Виклад основного результату. Основу роботи становлять власні спостереження і обліки впродовж 2017–2019 рр. На досліджуваній території нами виявлено 7 видів бражників, з яких звичайними є 2 види, малопоширеними – 4 та рідкісними – 1 вид.

Урочище Рожена Криниця є унікальним природним комплексом, який має велике біогеографічне, екологічне, природоохоронне і рекреаційне значення. Територія Бучацького лісництва – унікальна пам'ятка природи Середнього Придніпров'я, де чудово поєднуються природні ландшафти, зокрема основні природні біотопи (ліси, луки) та агроценози (поле, плодові сади, городи) [1, с. 21].

Територія досліджуваного району розташована між лісостеповою і степовою кліматичними зонами на правому березі річки Дніпро.

Для цієї місцевості характерні дерново-підзолисті та піщані ґрунти, це свідчить про те, що біотопи мають велику різноманітність флори та фауни. Тут переважають грабові та сосново-дубові деревостани, площі яких раніше були значно більшими. Великі території, що залишилися після вирубування лісів, нині використовуються як сільськогосподарські угіддя. У деревостані домінантами є сосна звичайна, акація біла, а по берегах річки домінує вільха чорна [6].

Ділянки лук характеризуються наявністю травостою та дернини, що зазвичай використовуються як пасовисько для домашньої худоби, а поля засіяні злаковими культурами, кукурудзою, соєю та соняшником. Трав'яниста рослинність представлена великою кількістю квітучих видів, найпоширенішими з них є: алтей, ромашка, конюшина, живокіст, копитняк, люпин, підмаренник, волошка синя, рутинка та багато інших [1, с. 29].

У складі лучної рослинності домінує рід осока, жовтець (повзучий, їдкий), льон звичайний та інші.

Найбільша кількість зареєстрована на околицях с. Бучак в агроценозах (сади, городи) – 5 видів, лісових насадженнях – 3 види та у відкритих лучних ландшафтах (низинні луки) – один вид. Однак грабовий ліс як екоотоп для постійного помешкання виявився малоприсадибним для існування всіх видів бражників – у ньому не зареєстровано жодного виду протягом усього періоду досліджень. На нашу думку, це насамперед пов'язано з бідністю видового різноманіття кормової бази для гусениць.

Домінуючими видами урочища Рожена Криниця виявлено Бражник тополевий (*Laothoe populi*) та Бражник берізковий (*Agrius convolvuli*), що зумовлено наявністю на різнотравних луках, садах, лісових галявинах достатньої кормової рослинності, а рідкісним є Бражник мертва голова (*Acherontia atropos*) [3], решта видів є малопоширеними для досліджуваної території.

У колекції є 3 екземпляри Бражника тополевого (*Laothoe populi* L.). Часто зустрічається на території, де є дерева – тополі, верби, осики. Гусениці зелені зі світлими косими смужками. Залялюються у верхньому шарі ґрунту. За рік – 1-2 покоління. Метелики є нічними, не живляться. У спокої верхні сірі крила прикривають нижні, а сам метелик подібний до старих листків тополі [2].

Видовий склад метеликів родини Бражники (*Sphingidae*) в урочищі Рожена Криниця (2017–2019 рр.)

Вид	Кормові рослини личинок	Екотопи поширення	Ступінь поширення
Бражник мертва голова <i>Acherontia atropos</i>	Паслін бульбастий, дурман, рута	городи, поле, неселений пункт	рідкісний (ЧКУ)
Бражник берізковий <i>Agrius convolvuli</i>	Берізка польова, буряк цукровий	город, поле	звичайний
Бражник молочайний <i>Hyles nicaea</i>	Молочай	луки, яри	малопоширений
Бражник дубовий <i>Marumba quercus</i>	Дуб звичайний	листяні ліси	малопоширений
Бражник липовий <i>Mimas tiliae</i>	Липа серцелиста	сади	малопоширений
Бражник тополевий <i>Laothoe populi</i>	Тополя, ясен, яблуня	листяні ліси, узлісся доріг, сад	звичайний
Бражник очкастий <i>Smerinthus ocellatus</i>	Верба, яблуня	сад, листяні ліси	малопоширений

У колекції є 2 екземпляри Бражника березкового (*Argiis convolvuli* L.). Це звичайний вид території урочища Рожена Криниця в місцях із зростанням березки польової. Зустрічаються дві кольорові форми гусениць: коричнева і зелена. Заляльковуються у верхньому шарі ґрунту. За рік – 2–3 покоління. Метелики мають хоботок довжиною до 130 мм, харчуються нектаром квітів лійкоподібної форми [2]. Можливі міграції на досить далекі відстані.

Бражник мертва голова (*Acherontia atropos* L.) – один із найбільших та найоригінальніших метеликів фауни досліджуваної території. Зустрічається в малій чисельності, дуже рідко (впродовж 2017–2018 рр. – 2 особини, у 2019 р. не зафіксовано). Гусениці живляться рослинами пасльонових, тому через використання на картоплі інсектицидів перебувають під загрозою. Заляльковуються личинки у верхньому шарі ґрунту, де й зимують. Промерзання ґрунту для них є смертельним. Імаго здатні до далеких міграцій, внаслідок чого поновлюється їх популяція в північних широтах. Метелик занесено до Червоної книги України [10, с. 123].

Найбільша кількість видів представлена мезофілами – бражник тополевий, бражник очкастий, бражник молочайний та бражник липовий поширення яких переважно пов'язано з низинними лучними, лісовими ландшафтами. До змішаних типів – мезо-ксерофілів належать 3 види: бражник мертва голова (*A. Atropos*), бражник берізковий (*A. Convolvuli*), бражник дубовий (*Marumba quercus*) [3].

Личинки з'являються наприкінці травня на початку червня. Харчуються листям рослин, характерних для виду. Протягом року в різних видів з'являється від одної до трьох генерацій. Літають імаго бражників: травень–липень (липовий, очкастий), червень–серпень (молочайний, дубовий, мертва голова), вересень–жовтень (березковий, мертва голова). Бражники можуть перезимувати в земляному кокони у ґрунті на глибині 15–20 см, а також деякі види впадають в анабіоз, ховаючись під кору дерев або опале листя [5, с. 28].

Головні висновки. Імаго бражників активні у сутінковий період доби і живляться квітковим нектаром та іншими ексудатами рослинного походження. Здебільшого гусениці лускокрилих є фітофагами, які живляться рослинами, що не мають сільськогосподарського значення. Основними біотопами бражників є агроценози (поля, городи, плодові сади) лісонасадження та низинні луки. Чисті грабові ліси виявились малоприсадибними для бражників.

Щодо екологічної приуроченості до конкретних біотопів виділено 2 типи видів – мезофіли та мезо-ксерофіли.

З-поміж всіх представників цієї родини до численніших увійшли поширені види – бражник тополевий, бражник берізковий та дещо в меншій чисельності бражник липовий. У найменшій кількості трапляються види, які занесені до Червоної книги України, зокрема бражник мертва голова.

Література

1. Башенко М.І., Гончар О.Ф. Біорізноманіття екомережі Черкащини та оптимізація співвідношення угідь : монографія. Черкаси : Черкаський інститут АПФ, 2010. 185 с.
2. Гусев В.І., Ермоленко В.М. Атлас комах України. Київ : Радянська школа, 1962. 223 с.
3. Загуляев А.К. Определитель насекомых европейской части СССР. Т. IV. Чешуекрылые. Третья часть / под общ.ред. Г.С. Медведева. Санкт-Петербург : Наука, 1986. 504 с.

4. Закалюжний В.М. Кушнеров І.В. Видовий склад родини Бражники (Sphingidae) околиць села Корещина. *Біорізноманіття України в світлі ноосферної концепції академіка В.І. Вернадського* : Всеукраїнська науково-практична конференція. Полтава : Астроя, 2014. С. 27–28.
5. Капелюх Я.І. Бражники (*shingidae*) природного заповідника «Медобори». *Біорізноманіття та його збереження*. 2002. С. 28–31
6. Кушниренко Е.Ф. Булавоусые чешуекрылые Черкасщины. Черкасы, 1997. 46 с.
7. Ляшенко С.К. Ряд Лускокрилі – Lepidoptera. *Біорізноманіття Карпатського біосферного заповідника*. Київ : Інтереконцентр, 1997. С. 258–259
8. Павленко О.М. Комахи Канівського заповідника та його околиць, занесені до Червоної книги України. *Заповідна справа в Україні*. 1977. Т. 3. Вип. 2. С. 68–70.
9. Раєвський В.Ю. Бражник мертва голова. *Червона книги України. Тваринний світ*. Київ : Українська енциклопедія ім. М.П. Бажана. 1994. С. 136.
10. Яхонтов В.В. Экология насекомых : учебник. Москва : Высш. школа, 1969. 488 с.

СТАН ПОПУЛЯЦІЙ ДВОСТУЛКОВИХ МОЛЮСКІВ РОДИН UNIONIDAE ТА PISIDIIDAE (MOLLUSCA: BIVALVIA) У БАСЕЙНІ СЛУЧІ В УМОВАХ ЗАГОСТРЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ СИТУАЦІЇ

Шевчук Л.М., Билина Л.В., Бітнер Д.В.
Житомирський державний університет імені Івана Франка
вул. В. Бердичівська, 40, 10008, м. Житомир
shevchuk.biol@gmail.com, bylyna.lili@gmail.com, dasha2000bit@gmail.com

Однією з найчистіших річок на Житомирщині на початку 2000-х років вважалась Случ, що несе свої води у Прип'ять, яка належить до числа великих річок України та є найбільшою правою притокою Дніпра. Значний інтерес до вивчення цієї річки зумовлений тим, що вона є транскордонною і протікає на території двох держав (Україна та Білорусь). Отримані нами у 2007–2013 роках результати дослідження двостулкових молюсків (Mollusca: Bivalvia) в басейні Случі підтвердили факт її доброго екологічного стану. Саме тут поселення двостулкових молюсків визначались найбільшим видовим багатством серед решти водойм України. Стан популяцій перлівницевих загалом виявився одним із найкращих в Україні. Протягом останніх років ситуація значно погіршилась. Проведені нами попередні збори матеріалу влітку 2019 року дають змогу констатувати погіршення ситуації з поселеннями перлівницевих, що може свідчити про загальне загострення екологічної ситуації в басейні Случі. Цих молюсків виявлено лише у 63% в процесі обстеження типових для них місць існування. У жодному пункті збору не помічено поселень молюсків, утворених шістьма чи п'ятьма видами. У жодному пункті не помічено *P. complanata*. А це вид, який рекомендовано до включення до Червоної книги України та який вже охороняється в шести країнах Європи. Молюски родини Pisidiidae, які також є видами-індикаторами, через їх дрібні розміри не відіграють ключової ролі у процесі самоочищення природних водойм, однак зацікавлення до цієї групи тварин зростає. В Україні молюски родини Pisidiidae представлені трьома родами: *Sphaerium*, *Musculium*, *Euglesa*. У процесі проведення досліджень влітку 2019 року молюсків роду *Sphaerium* було виявлено п'ять видів цього роду: *S. corneum* (Linnaeus, 1758), *S. nucleus* (Studer, 1820), *S. solidum* (Normand, 1844), *S. rivicola* (Lamarck, 1818), *S. nitidum* (Clessin, 1876). Отримана інформація може константувати лише низькі показники щільності двостулкових молюсків. *Ключові слова*: двостулкові молюски (Mollusca, Bivalvia), Unionidae, Pisidiidae, стан поселень, басейн річки Случ.

State of populations of Bivalve Mollusks of the families Unionidae and Pisidiidae (Mollusca: Bivalvia) in Sluch River basin in the conditions of exacerbation of the ecological situation. Shevchuk L., Bylyna L., Bitner D.

At the beginning of 2000-s Sluch River was considered to be one of the purest rivers in Zhytomyr Region, delivering its waters into Prypiat River being treated as one of the largest rivers in Ukraine and the largest right Dnipro River tributary. The transboundary status of Sluch River flowing in the territory of two countries (Ukraine and Belarus) provokes substantial interest to the river. The results of the research devoted to the bivalve mollusks in Sluch River basin obtained in 2007–2013 proved its good ecological condition. It was here the bivalves' settlement was marked by the richest species diversity among all water bodies of Ukraine. The general condition of the Unionidae turned out to be one of the best in Ukraine. Recent years have significantly aggravated the situation. The previous collection of the material held in summer 2019 allow for stating that the situation with the Unionidae settlements has gone worse, that witnesses the general aggravation of ecological situation in Sluch River basin. These mollusks were found in 63% of locations under research typical for the species existence. There were no mollusk settlements consisting of six or five species identified in collection locations. *P. complanata* was not found in any location, while this species is recommended for being registered in the Red Book of Ukraine and is under protection in six countries in Europe. Mollusks of the family Pisidiidae (Mollusca: Bivalvia), also being the indicating species, due to their small size do not play a key role in the process of self-cleaning of natural reservoirs, but interest in this group of animals is growing. In Ukraine, mollusks of the Pisidiidae family are represented by three genera: *Sphaerium*, *Musculium*, *Euglesa*. During research in the summer of 2019, five species of mollusks of the genus *Sphaerium* were found: *S. corneum* (Linnaeus, 1758), *S. nucleus* (Studer, 1820), *S. solidum* (Normand, 1844), *S. rivicola* (Lamarck, 1818), *S. nitidum* (Clessin, 1876). The obtained information can state only low density of bivalve molluscs (Mollusca, Bivalvia). *Key words*: bivalve mollusks (Mollusca, Bivalvia), Unionidae, Pisidiidae, condition settlements, Sluch river basin.

Постановка проблеми. Прип'ять – це річка, що належить до числа великих річок України та є найбільшою правою притокою Дніпра. Значний інтерес до вивчення цієї річки зумовлений тим, що вона є транскордонною і протікає на території двох держав (Україна та Білорусь). Зазначається, що на території України, а саме у Волинській області, заплави річки залишилися в природному стані. Саме тому практично вся ця територія включена до природно-заповідного фонду України, саме тут

знаходяться 10 гідрологічних заказників та регіональний ландшафтний парк «Прип'ять-Стохід». З цією ж метою (збереження Шацького поозер'я) створено і Шацький національний природний парк [1].

Однією з найбільших приток Прип'яті, що формує її гідрологічний та гідрохімічний режими, є Горинь. У басейні Горині є низка екологічних проблем [1]. Доповнює в останні роки екологічні проблеми Горині і річка Случ, найбільша притока Горині,

котра з 2016 року потерпає від скидів Понінківської картонно-паперової фабрики [2].

Це все попри те, що ще до початку нового століття Случ, зокрема в межах Житомирської області, вважалась однією з найчистіших річок [3]. Річка через відсутність на її берегах великих міст не зазнала значного забруднення та зарегулювання стоку, на ній споруджено невелику кількість водосховищ (у межах Житомирської області лише п'ять, натомість на Тетереві, що протікає через Житомир, їх аж 31) [1; 4].

Актуальність дослідження. Саме така ситуація і зумовила необхідність дослідження у водоймах басейну Случі фауни двостулкових молюсків (Mollusca: Bivalvia), чутливих індикаторних об'єктів стану навколишнього середовища та організмів-фільтраторів, що визначають якість води.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Нині двостулкові молюски є основою для багатьох державних систем моніторингу річкових екосистем низки країн Європи.

Отримана нами інформація щодо видового складу, популяційних характеристик та поширення двостулкових молюсків як біоіндикаторів на основі обстеження не лише Случі, а й його приток, дасть змогу доповнити та конкретизувати інформацію щодо якості води в межах басейну та стану поселень двостулкових молюсків – важливих видів-фільтраторів, які після припинення антропогенного впливу можуть стати важливим фактором самоочищення гідроекосистеми. Адже важливою властивістю будь-якої екосистеми є її здатність до саморегуляції та самовідновлення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загалом у фауні басейну Случі двостулкові молюски (Mollusca, Bivalvia) представлені двома родинами: Unionidae, Pisidiidae. При цьому перлівницеві (Unionidae) за результатами попередніх досліджень представлені шістьма аборигенними видами: *Unio pictorum* Linnaeus, 1758, *U. tumidus* Philipsson, 1788, *U. crassus* Philipsson, 1788, *Anodonta anatina* Linnaeus, 1758, *A. cygnea* Linnaeus, 1758 та *P. complanata* Rossmassler, 1835 [5; 8].

Отримані нами у 2007–2013 роках результати дослідження двостулкових молюсків у басейні Случі показали, що саме тут поселення цих тварин визначались найбільшим видовим багатством серед решти водойм України. Стан популяцій перлівницевих загалом виявився одним із найкращих в Україні. Зокрема, у процесі обстеження 32 пунктів перлівницевих помічено у 27 (84%). Натомість у результаті проведених моніторингових досліджень 302 типових для перлівницевих біотопів у межах усіх річкових басейнів України у період 2007–2013 рр. цих молюсків виявлено лише у 54% випадків [5]. У цей період у басейні Случі в пункті збору на р. Тня (с. Соколів Житомирської обл.) виявлено відразу усі шість видів перлівницевих. Загалом частота трапляння таких

пунктів у межах України становила лише 2% (це два пункти з 302 обстежених і при цьому один із них виявлено в басейні Случі). У трьох пунктах збору (р. Случ, смт. Баранівка і м. Миропіль Житомирської обл.; р. Смілка, с. Смолка Житомирської обл.) тоді ж помічено по п'ять видів молюсків. У 6 пунктах помічено по чотири види. Також у 6 пунктах на річках помічено по три види перлівницевих, при цьому лише у двох із цих пунктів (р. Видолоч, смт. Баранівка Житомирської обл.; р. Церем, с. Ярунь Житомирської обл.) виявлено найбільш невибагливі види *U. pictorum*, *U. tumidus*, *A. anatina*. У шести пунктах поселення склалися з двох видів. Поселень, утворених одним видом, не помічено взагалі.

Молюски родини Pisidiidae в Україні, за літературними даними [7], представлені трьома родами: *Sphaerium*, *Musculium*, *Euglesa*. Щодо кількості видів пізидіід у фауні України чіткої думки немає. На думку прибічників різних таксономічних концепцій, таких видів виділяють від 16 до 74 [6; 7; 9]. Останнім часом дедалі більше вчених схиляється на бік європейських таксономічних традицій [7], тому саме такі підходи до визначення видового багатства цих тварин було використано і нами. Загальна кількість видів відповідно до таких поглядів становить 21 вид [7]. Інформація щодо видового багатства та популяційних характеристик пізидіід у басейні Случі у попередні роки вкрай бідна [6].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Загострення екологічної ситуації в басейні Случі зумовлює необхідність оцінки сучасного стану поселень двостулкових молюсків родин Unionidae та Pisidiidae. Хоча останні через їх дрібні розміри не відіграють ключової ролі в процесі самоочищення природних водойм, однак в умовах різкого скорочення чисельності перлівницевих в українських водоймах та водотоках, зацікавлення до цієї групи тварин зростає. Виникає потреба встановити видовий склад їх поселень, щільності поселення та інші популяційні характеристики.

Новизна статті. Проведенні в даному аспекті у басейні Случі дослідження двостулкових молюсків двох родин (Unionidae, Pisidiidae) здійснюються вперше.

Методологічне або загальнонаукове значення. Матеріали статті можна використовувати при викладанні біологічних та екологічних дисциплін для студентів біологічних факультетів університетів та педагогічних вузів, як матеріали для осучаснення Червоної книги України та матеріали для екологічного прогнозування можливих змін у вітчизняних прісноводних екосистемах.

Виклад основного матеріалу. Влітку 2019 року у фауні Случі нами виявлено представників двох родин двостулкових молюсків, таких як Unionidae та Pisidiidae. Пункти збору, в яких було виявлено перлівницевих, представлено в таблиці (табл. 1).

Порівняння результатів польових зборів, проведених у періоді 2007–2013 рр. та влітку 2019 р. дають змогу констатувати зменшення частоти трапляння перлівницевих та спрощення видового багатства їх поселень, що може бути наслідком загострення екологічної ситуації в басейні Случі. Цих моллюсків виявлено лише у 63% в процесі обстеження типових для них місць існування. Не помічено поселень моллюсків, утворених шістьма чи п'ятьма видами. Лише у трьох випадках (19%) одночасно існували чотири види перлівницевих, у чотирьох пунктах (25%) – три види, в одному (6%) – два види. Також у двох пунктах (13%) існував лише один вид. У жодному пункті не помічено *P. complanata*, яка раніше тут мала частоту трапляння 46%. А це вид, що потребує охорони [5] та вже охороняється в шести країнах Європи. У пунктах, що знаходяться безпосередньо нижче місця скиду Понінківською фабрикою стічних вод (с. Першотравенськ, с. Стара Гута, смт. Баранівка два пункти збору), перлівницевих не помічено взагалі. По мірі віддалення від місця скиду (Новоград-Волинський) починають реєструватись поселення моллюсків. Вище від місця скиду (смт. Понінки два пункти, м. Полонне, смт. Любар) знову ж таки помічено поселення перлівницевих. Але вони, за винятком одного пункту на р. Хомора в Полонному, утворені невибагливими до умов існування видами *U. pictorum*, *U. tumidus*, *A. anatina*. Частота трапляння усіх видів порівняно з попередніми роками значно знизилась (табл. 2).

Таблиця 2

Частота трапляння перлівницевих у 2007–2013 та 2019 рр.

Вид моллюска	Частота трапляння у 2007–2013 рр.	Частота трапляння у 2019 р.
<i>U. tumidus</i>	77	31
<i>U. pictorum</i>	86	56
<i>U. crassus</i>	50	31
<i>A. anatina</i>	68	37,5
<i>A. cygnea</i>	14	25
<i>P. complanata</i>	46	0

Таким чином, саме в басейні Случі в межах Житомирської області у 2007–2013 рр. найвищі показники мали частоти трапляння таких видів, як *U. crassus* – 50% та *P. complanata* – 46. Одним із найвищих був цей показник й для *A. cygnea* – 14%. Загалом в Україні в цей період ці показники становили, відповідно, 15, 10 та 10%. Ці види багаторазово рекомендовано до занесення до Червоної книги України [5]. У 2019 році частоти трапляння цих видів становили, відповідно, для *U. crassus* – 31% та *P. complanata* – 0. Зріс цей показник лише для *A. cygnea*, тепер він становить 25%. Навіть для невибагливих видів знизилась частота трапляння, а саме: для *U. tumidus* цей показник знизився з 77 до 31%, для *U. pictorum* – з 86 до 56, для *A. anatina* – з 68 до 37,5.

Важливою для визначення перспективи існування будь-якого угруповання є визначення його вікової структури. Відсутність молодих особин у більшості пунктів дослідження 2019 року свідчить про відсутність поповнення популяції молоддю і можливе надалі її старіння та вимирання. Наприклад, у 8 з 9 пунктах, де виявлено невибагливий вид *U. pictorum*, відсутні особини першого року життя та у п'яти пунктах другого, у жодному пункті, де існував *U. crassus*, не виявлено тварин ані першого, ані другого року життя. Також потрібно зазначити, що максимальний вік досліджених перлівницевих становив лише 8 років, хоча іще 100 років тому тварини жили до 30 років і більше [6]. Вікову структуру поселень досліджених видів перлівницевих наведено в таблицях (табл. 3–7).

Таблиця 3

Вікова структура поселень і тривалість життя *U. tumidus*

№ вибірки	N, екз.	Вікові групи <i>U. tumidus</i>								Тривалість життя, рр.
		1	2	3	4	5	6	7	8	
24	2	0	0	0	0	1	0	0	1	8
29	3	0	0	0	0	1	0	2	0	7
33	7	0	2	3	2	0	0	0	0	4
35	9	4	5	0	0	0	0	0	0	2
38	4	0	2	2	0	0	0	0	0	3

Таблиця 4

Вікова структура поселень і тривалість життя *U. pictorum*

№ вибірки	N, екз.	Вікові групи <i>U. pictorum</i>								Тривалість життя, рр.
		1	2	3	4	5	6	7	8	
23	45	0	0	2	2	9	11	16	5	8
24	10	0	0	0	2	5	2	0	1	8
25	4	0	0	1	3	0	0	0	0	4
26	2	0	0	0	0	1	1	0	0	6
27	2	0	0	1	0	1	0	0	0	5
29	4	0	1	0	1	2	0	0	0	5
33	8	0	2	3	3	0	0	0	0	4
35	6	2	4	0	0	0	0	0	0	2
38	3	0	1	2	0	0	0	0	0	3

У процесі проведення досліджень влітку 2019 року моллюсків роду *Sphaerium* було виявлено у 7 пунктах дослідження (44% від загальної кількості досліджених) (табл. 8). При цьому помічено усі п'ять видів цього роду: *S. corneum* (Linnaeus, 1758), *S. nucleus* (Studer, 1820), *S. solidum* (Normand, 1844), *S. rivicola* (Lamarck, 1818), *S. nitidum* (Clessin, 1876). Представники інших двох родів нами помічені не

були. Можливо, це пояснюється їх дуже малими розмірами чи тим, що збори проводились лише в прибережній зоні. Така ситуація свідчить про необхідність повторного дослідження вказаного регіону.

лення особин це були ділянки з проточною водою, з піщано-кам'янистим, піщаним дном, без намулу.

Таблиця 5

Вікова структура поселень і тривалість життя *U. crassus*

№ вибірки	N, екз.	Вікові групи <i>U. crassus</i>						Тривалість життя, рр.
		1	2	3	4	5	6	
		24	3	0	0	0	0	
25	3	0	0	0	1	2	0	5
26	1	0	0	0	0	1	0	5
27	2	0	0	1	1	0	0	4
29	1	0	0	0	0	1	0	5

Найбільші частоти трапляння мали види *S. corneum* та *S. rivicola*, їх було виявлено в 6 пунктах збору (частота трапляння 38%). Щільності поселення у пунктах збору становили відповідно 2-9 та 1-13 екз./м². *S. nucleus* зібрано у 1 пункті із 16 досліджених (частота трапляння 6%), щільність поселення становила 1 екз./м². Частота трапляння *S. solidum* становила лише 12,5%, тобто їх виявлено у 2 пунктах, щільність поселення 1-5 екз./м². *S. nitidum* зібрано у 4 пунктах (25% від досліджених), щільність поселення 2-4 екз./м². У всіх місцях посе-

Вікова структура поселень і тривалість життя *A. anatina*

№ вибірки	N, екз.	Вікові групи <i>A. anatina</i>					Тривалість життя, рр.
		1	2	3	4	5	
		25	3	0	0	0	
26	8	1	1	4	2	0	4
27	1	0	0	0	0	1	5
34	2	1	1	0	0	0	2
35	5	2	2	1	0	0	3
38	3	1	2	0	0	0	2

Таблиця 6

Таблиця 7

Вікова структура поселень і тривалість життя *A. cygnea*

№ вибірки	N, екз.	Вікові групи <i>A. cygnea</i>							Тривалість життя, рр.
		1	2	3	4	5	6	7	
		24	2	0	0	0	1	0	
25	1	0	1	0	0	0	0	0	2
26	1	0	0	1	0	0	0	0	3
35	6	1	3	1	1	0	0	0	4

Таблиця 8

Серії вибірок молюсків родини Pisidiidae під відповідними номерами (№), пункти збору, з яких вони були взяті, та видовий склад

Вибірки молюсків за 2019 рік									
№	Річкові басейни	Місце збору	Населений пункт	<i>Sp. corneum</i>	<i>Sp. rivicola</i>	<i>Sp. solidum</i>	<i>Sp. nitidum</i>	<i>Sp. nucleus</i>	
1.	Прип'ять	р. Тня	Льонозавод	-	-	-	-	-	
2.	Прип'ять	р. Тня	Соколів	-	-	-	-	-	
3.	Прип'ять	р. Случ	Новоград-Волинський, точка 1 міст біля окружної	+	-	-	-	-	
4.	Прип'ять	р. Случ	Новоград-Волинський, точка 2 Острів вул. Надслучанська	-	-	-	-	-	
5.	Прип'ять	р. Смілка	Новоград-Волинський, вул. Сагайдачного 129	+	-	-	+	-	
6.	Прип'ять	р. Случ	Баранівка точка 1 центр міста (пляж)	+	+	-	-	-	
7.	Прип'ять	р. Случ	Баранівка точка 2	-	-	-	-	-	
8.	Прип'ять	р. Случ	Баранівка точка 3	-	-	-	-	-	
9.	Прип'ять	р. Случ	Стара Гута	-	-	-	-	-	
10.	Прип'ять	р. Хомора	Першотравенськ	-	-	-	-	-	
11.	Прип'ять	р. Хомора	Понінки точка 1	+	+	-	+	-	
12.	Прип'ять	р. Хомора	Понінки точка 2	+	+	+	+	+	
13.	Прип'ять	р. Хомора	Полонне	-	+	-	+	-	
14.	Прип'ять	р. Хомора	Новоселиця	-	-	-	-	-	
15.	Прип'ять	р. Деревичка	Кіпчинці	-	-	-	-	-	
16.	Прип'ять	р. Случ	Любар	-	+	+	+	-	

Лише в одному пункті збору було виявлено усі п'ять видів моллюсків (сmt. Понінки, Хмельницька обл., пункт № 1, що знаходиться вище місця скиду), у двох пунктах було виявлено по три види (сmt. Понінки, Хмельницька обл., пункт № 2 (також вище місця скиду) та сmt. Любар, Житомирська обл.). Ще у двох пунктах виявлено по два види (сmt. Баранівка, Житомирська обл. та сmt. Полонне, Хмельницька обл.). В одному пункті (м. Новоград-Волинський, Житомирська обл.) виявлено лише один вид, і це був *S. corneum*. Безпосередньо нижче місця скиду стічних вод пізидіід, так само як і перлівницевиx, виявлено не було (с. Першотравенськ, с. Стара Гута, сmt. Баранівка два пункти збору). Таким чином, можна констатувати дуже не високі показники частоти трапляння та щільності населення моллюсків роду *Sphaerium* у басейні Случі, яка нині зазнає значного антропогенного пресингу. При цьому разом із перлівницевиx вони співіснували в семи пунктах із 16 (44% випадків).

Головні висновки. Проведені збори матеріалу влітку 2019 р. дають змогу констатувати погіршення

ситуації з поселеннями перлівницевиx, що може свідчити про загальне загострення екологічної ситуації загалом у басейні Случі, а не лише в місці скиду забруднених стічних вод. Перлівницевиx виявлено лише у 63% в процесі обстеження типових для них місць існування. Також знизилась і частота трапляння окремих видів. Окрім того, можна констатувати дуже не високі показники частоти трапляння та щільності населення моллюсків роду *Sphaerium*. Усе це може свідчити про погіршення в регіоні якості води, поступове втрачання ним значення для збереження видового багатства.

Перспективи використання результатів дослідження. Двостулкові моллюски родин Unionidae та Pisidiidae є надійними видами-біоіндикаторами ступеня чистоти води. Зникнення їх поселень нижче місця скиду стічних вод Понінківським картоно-паперовим комбінатом є тому підтвердженням. Встановлення популяційних характеристик цих тварин допоможе здійснювати прийняття рішень щодо подолання негативних наслідків екологічної ситуації в басейні річок Случ та Хомора.

Література

1. Басейнове управління водних ресурсів річки Прип'ять. URL: https://buvrzt.gov.ua/vodni_resyrsy.html (Дата звернення 26.05.2020 р.)
2. УКРІНФОРМ. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-regions/2879317-na-zitomirsini-vidkrito-spravu-cerez-cergove-zabrudnenna-ricok-sluc-i-homora.html> (Дата звернення 26.05.2020 р.)
3. Гідрохімія та радіогеохімія річок і боліт Житомирської області : Монографія / С.І. Сніжко, О.О. Орлов, Д.В. Закревський та ін. Житомир : Волинь, 2002. 264 с.
4. Водосховища Житомирської області. *Вікіпедія*. URL: <https://uk.wikipedia.org/w/index.php> (Дата звернення 27.05.2020 р.)
5. Янович Л.М. Перлівницеві Unionidae Rafinesque, 1820 (Bivalvia) в сучасних екологічних умовах України (стан популяцій, особливості статевої структури і розмноження, біоценотичні зв'язки та фауна : автореф. дис. ... доктора біол. наук : 03.00.08. Київ, 2013. 389 с.
6. Стадниченко А.П. Фауна України. Перлівницеві. Кулькові (Unionidae, Cycladidae). Київ : Наук. думка, 1984. Т. 29. Вип. 9. 384 с.
7. Korniuschin A.V., Yanovich L.N., Melnichenko R.K. Artenliste der Süßwassermuscheln der Ukraine. Mit Bemerkungen über taxonomischen Status, Verbreitung und Gefährdungskategorien einiger Arten und Formen. ConchBooks : Friedrich-HeldGesellschaft, 2002. S. 463–478.
8. Васільєва Л.А. Перлівницеві Unionidae (Bivalvia) фауни України: алозимна й морфологічна мінливість : автореф. дис. ... канд. біол. наук : 03.00.08. Київ, 2011. 23 с.
9. Жадин В.И. Моллюски пресных и солоноватых вод СССР. Москва – Ленинград : изд-во АН СССР. 1952. 376 с.

СИСТЕМА ЕКОЛОГІЧНОЇ ОСВІТИ ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

УДК 378:[613+502/504]

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.3-30.33>

ЕКОЛОГІЧНИЙ ТА ЗДОРОВ'ЯЗБЕРЕЖУВАЛЬНИЙ СКЛАДНИКИ ОСВІТИ

Баштовенко О.А.

Ізмаїльський державний гуманітарний університет
пр. Суворова, 138, м. Ізмаїл, Одеська область
osiabasht@i.ua

Стаття присвячена аналізу збереження здоров'я особистості з екологічною складовою частиною в контексті спрямування на освітній процес. Спроба поєднати дві складові частини освіти – екологічне й здоров'язбережувальне навчання – дозволить сформулювати новий світогляд як єдиний адекватний дієвий засіб для існування суспільства. Зміна мислення людини відносно власних життєзabezпечувальних функцій і функціонування біосфери повинно відбуватися неперервно, протягом всього життя, поєднуючи всі етапи навчання та самовиховання. Досягнення природовідповідного, здоров'язбережувального виховання молоді можливо через формування нового світогляду як єдиного адекватного дієвого засобу для існування суспільства. Зміна мислення людини щодо власних життєзabezпечувальних функцій і функціонування біосфери для створення та підтримання безпечних умов життя для всіх можлива через модель збереження здоров'я, ключовим моментом якої буде взаємозв'язок людського існування в його фізичній і соціальній складовій частині з довкіллям. Поведінка збереження здоров'я формується через культуру здоров'я, потребує створення спеціальних умов освітнього процесу для формування спрямованості на збереження здоров'я та створення світоглядної орієнтації як результату виховання. Екологічна культура дозволить усвідомити величезне значення довкілля як формувального чинника здоров'я. Культура як освітній процес відкриває можливості й перспективи самопізнання, розвитку й самовдосконалення кожної особистості. Але в освітньому процесі виникає потреба в створенні оптимальних умов для формування та підтримання здоров'я. Світоглядна орієнтація є результатом виховання, спирається на поведінку збереження здоров'я та екологічну культуру. Екологічно орієнтований освітній процес дозволить усвідомити величезне значення довкілля як формувального чинника здоров'я. *Ключові слова:* збереження здоров'я особистості, екологія, довкілля, освітній процес.

Environmental and health component of education. Bashtovenko O.

The article is devoted to the analysis of the processes of formation of health of the individual. The environmental component is also important in the educational process. An attempt has been made to combine two components of the educational process: environmental and health education. This will form a new worldview as the only adequate effective means for the existence of society. Changes in human thinking about their own life-sustaining functions and the functioning of the biosphere must occur continuously. All stages of learning and self-education are combined throughout life. A new worldview is achieved by education that corresponds to nature. Preserving the health of young people is possible through the formation of a single adequate effective means. This will provide an opportunity for society to exist. The model of health care will change a person's thinking about their own functions that provide life. Creating and maintaining safe living conditions for all is possible. The key to a secure existence will be realized through the relationship of human existence with the environment. Health behavior is formed through a culture of health, requires the creation of optimal conditions for the formation of a healthy human body. The formation of worldview is the result of education. Ecological culture as a condition for the formation of health, allows us to realize the great importance of the environment, ecology for the existence of society. Culture is an educational process. It opens opportunities and prospects for self-knowledge, development and self-improvement of each individual. Creating optimal conditions for the formation and maintenance of health requires conditions for the educational process. The result of education is a formed worldview, it is based on health behavior and environmental culture. The educational process is ecologically oriented, will allow to realize the great importance of the environment as a factor that shapes health. *Key words:* personal health, ecology, environment, educational process.

Постановка проблеми. Останнім часом зв'язок питань щодо здоров'я збереження людини й збереження довкілля набувають все різноплановішого філософського значення. У свій час журнал Science опублікував список 25 найвеличніших загадок людства. Цікаве те, що серед них близько двадцяти стосуються напряму біології життя. Тобто проблеми в гуманітарних і суспільних науках цікавлять населення не так гостро, як власна й екологічна безпека планети. Також раніше було підраховано, що із загальної кількості інформації, накопиченої

людством, тільки 5% належить до людинознавства й живих об'єктів. Та це було більше пів століття тому, а останнім часом ситуація змінюється [1].

Актуальність дослідження. Велика кількість питань щодо біології людини й середовища її існування потребують розвитку напряму філософії здоров'я збереження, що спирається на основні цінності здоров'я та екологічної безпеки. Для нашої країни розвиток у людиноцентричному вимірі – новий напрям, що потребує зміни питань онтології з аксіологічного боку для становлення нового типу людини [2, с. 36].

За довгі тисячоліття свого існування людство тільки в останні століття ввійшло в різку суперечність із законами природи. Ще ніколи людина не відокремлювалась так різко від природи, перетворившись із володаря на її винищувача.

У давні часи натурфілософи шукали першоелементи, загальні для всього живого. На трактатах Анаксагора, Емпедокла створювались перші біологічні теорії, які поступово з теоретичних набували експериментального характеру.

Натепер це набуває сенсу в Концепції ноосферної освіти – гносеологічній, науково-теоретичній, методологічній, медико-психологічній і практичній системі поглядів на природу людини й шляхи досягнення природовідповідного, здоров'язбережувального виховання молоді.

Наукове дослідження пов'язане з вивченням найважливіших практик здоров'я збереження, яке було здійснено плеядою таких видатних науковців, як В. Лехан, О. Вакуленко, О. Поживілова, А. Підаєва, О. Пунда, Н. Рингач, Я. Радиш, Т. Семигіна, І. Солоненко, І. Сенюта, О. Миздренко, І. Плаксієнко, та формуванням світогляду екологічної безпеки (О. Миздренко, О. Кучірко, А. Радей).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зарубіжні практики здоров'язбереження викладені такими вченими, як С. Буасай, П. Браун, Т. Браят, К. Бортчвік, М. О'Ніл, А. Педерсон, Е. Розенберг, М. Сейшел. Здоров'язбереження як валеологічна складова частина розглядалася М. Амосовим, Ю. Ярчук, В. Гриценко, В. Беловим, А. Котовою, О. Пустовойт. Педагогіку здоров'я збереження розвивали О. Ващенко, С. Свириденко, С. Лупаренко, О. Попов, П. Потейко, Л. Суханова, Ю. Палічук, В. Морозова [3, с. 116].

В. Горашук констатує, що перед закладами освіти стоїть завдання створення здоров'язбережувальних умов розвитку тих, хто навчається, які б сприяли гармонізації їхніх взаємин у колективі й з довкіллям [4, с. 53].

О. Антонова для досягнення сталого розвитку держави застосовує здоров'язбережувальну освіту для учнів початкових класів [5, с. 29].

Незважаючи на такий великий інтерес до означеного напрямку, **низка невирішених проблем занадто велика**, тому, можливо, зміни в освіті в цьому сенсі дозволять відповісти на питання: Як практично організувати педагогічний процес, щоб знайти необхідні умови й оптимальні технології для створення справді екологічного, гуманного, здоров'язбережувального освітнього простору? Чи є можливість створити наскрізний розвиток всіх ланок освітньо-виховного процесу: сім'я – дошкільний заклад – школа – вищий навчальний заклад – все життя? Які зміни освіти необхідні для перебудови педагогічного процесу й орієнтації людини в сучасному суспільстві убік здоров'язбережувальної та екологічної свідомості?

Новизною дослідження є аналіз і теоретичне обґрунтування пропозицій щодо зміни освітнього

процесу у вищих навчальних закладах зі спрямуванням на формування здоров'язбережувального й екологічно орієнтовного світогляду майбутніх фахівців. Ці питання формують мету нашого дослідження.

Методологічне або загальнонаукове значення. Формування стійкого здоров'язбережувального світогляду, екологічна обізнаність майбутніх фахівців і можливість поширення відповідних знань із застосуванням навичок самозбереження та збереження довкілля дадуть можливість здійснення неперервного розвитку нашого суспільства.

Викладення основного матеріалу. Історія людства свідчить, що унікальність людини як біологічного виду полягає не тільки в абстрактному розумінні дійсності й свідомій і творчій діяльності, а й у тому, що, перебуваючи на найвищому щаблі еволюції біосфери, людина не завжди діє як найрозумніша й соціально відповідальна істота, не розуміє своєї залежності та єдності з довкіллям [6, с. 15]. Тому й існує стільки нерозв'язаних проблем, що ставлять під загрозу життя людини та її здоров'я.

Стабільність людської спільноти, гармонійний розвиток суспільства залежать насамперед від здоров'я кожної окремої особини. Тому спрямованість на здоровий спосіб життя повинна стати невіддільною рисою особистості. Адекватну людину завжди турбуватиме стан власного рівня здоров'я, вона обов'язково прагнучиме жити в умовах, які відповідають нормам проживання: здорова екологія, здорове суспільство. Тому кожна людина має за обов'язок підтримувати й зміцнювати власне здоров'я та довкілля як складові частини здоров'я людства [7, с. 3].

Фізичне, моральне, соціальне, духовне – це складники здоров'я, без яких будь-яка діяльність та існування втрачає сенс не тільки в окремої особистості, а й у всієї спільноти. Ні в кого не виникає сумніву щодо того, що здоров'я людства загалом залежить від здоров'я довкілля. Тоді турбота про здоров'я біосфери – обов'язкове завдання будь-якої країни, імператив, про формування якого треба дбати із самого дитинства [8, с. 9].

Кліматичний саміт 30 листопада 2015 р. показав, що, рухаючись до історично нового стану, здоров'я визначають як феномен, що зумовлює специфіку сучасного часу. Такої думки дотримувались майже 150 світових лідерів [9].

Політичні перемовини визначили необхідність зменшення викидів в атмосферу для держав, що найбільше забруднюють планету (США, Китаю, Росії, Бразилії та Індії) [9]. Таким чином, світові глобальні проблеми трансформують життєві стандарти, вимагають зміни поведінки й потреб населення; жодна держава, незалежно від свого статусу й рейтингу, не в змозі їх розв'язати [10, с. 158].

У минулому залишились теорії щодо прямування людства до досконалості. Сучасний світ зазнає потрясіння і катастроф, які не в змозі подолати, незважаючи

на технічний прогрес і розвиток [11, с. 85]. Тому центральну проблему політики держави повинно становити здоров'я збереження як наслідок виховання культури здоров'я в процесі неперервного розвитку особистості. Формування нового світогляду здоров'я збереження є єдиним адекватним дієвим засобом для існування суспільства. Усвідомлення, створення та підтримання безпечних умов життя для всіх. Для цього необхідна зміна мислення людини щодо власних життєзабезпечувальних функцій і функціонування біосфери.

Парадигма ноосферної освіти як породження вчення про біосферу спрямована на розгляд загальнолюдських цінностей як основних. Найкращою формою політичної організації суспільства вважається демократія. Вільний ринок – найкраща динамічна форма економічної організації. Але як сформувати самосвідомість людей, щоб вони відчували себе корисною частиною світової цивілізації? Формування стратегії здоров'я збереження в рамках Національної ідеології, усвідомлення власного здоров'я як складової частини загальнодержавного повинно формувати парадигму сталого розвитку України.

Політичні перегони, що відбуваються в нашому суспільстві, дуже широко використовують ідеї та питання щодо охорони навколишнього середовища, покращення стану довкілля, рівня екологічної безпеки, інтеграції екологічних питань у різні життєві сфери [12, с. 4].

Всі розуміють, що здоров'я збереження є важливою складовою частиною ідеології. Але, як показує дійсність, – реальні кроки в цьому напрямі занадто повільні. Більшість із запропонованого є декларативним, а інколи навіть і шкідливим.

Екологічна політика давно визначена як діяльність, що організовується та контролюється державою та суспільством, спрямована не тільки на охорону, економне використання, а й відновлення природних ресурсів.

Відповідно до теорії сталого розвитку, стійкість і тривалість життя біосфери залежить від видового різноманіття, здорової екосистеми планети. Отже, здоровий екологічний простір є і визначальним, і само формувальним. Підтримання балансу дозволяє зберегти різноманітність біологічних видів, екологічну чистоту й природні багатства. Здоров'я людини також є неабиякою цінністю, тому що людство хоч і незначною мірою, але складає частину біосвіту. Багато тисячоліть триває історія людини, постійно змінюється тривалість життя. Але якщо в давні часи прогрес подовжував цей термін, нині його вплив – здоров'я руйнівальний.

Нові ризики збільшення негативних впливів, зумовлені екологічною кризою розвинених суспільств, привели до виникнення нового поняття – екологічне громадське здоров'я. З'ясування його спирається на взаємозв'язок між сталим розвитком люд-

ства й рівнем його здоров'я [13, с. 2]. Це екологічна модель здоров'я збереження, ключовим моментом якої буде взаємозв'язок людського існування в його фізичній і соціальній складовій частині з оточенням і станом здоров'я. Можливо, саме міжгалузева кооперація через практичну систему екологічного громадського здоров'я здійснить удосконалене поєднання складових частин добробуту людини з екологічними, соціально-економічними, культурними, політичними й індивідуальними чинниками.

Такий стан питання потребує певних нових зрушень і вимог у системі освіти. Сучасні умови розвитку українського суспільства, на жаль, не найкращі для виховання молоді. Молоді люди гостро відчують наслідки руйнації суспільства, соціальний занепад і духовне спустошення, психічну нестабільність. У такій ситуації конче необхідно переглянути складові частини навчально-виховного процесу, звернути увагу освіти на стан здоров'я дітей і молоді як складники загального здоров'я суспільства [14, с. 31].

Формування світогляду здоров'я збереження людини як загальнокультурної цінності відкриває широкі перспективи. Спираючись на думку В. Горащука, що визначає культуру здоров'я важливим компонентом загальної культури людини, можемо погодитись із тим, що життєдіяльність суспільства зумовлюється матеріальним і духовним середовищем, для цього необхідні певні цінності, знання, сформовані на підставі потреби збереження та зміцнення її здоров'я [15, с. 167].

Виходячи з того, що культура – освітній процес, відкриваються можливості й перспективи щодо самопізнання, розвитку й самовдосконалення кожної особистості в довготерміновому аспекті. Культура здоров'я збереження потребує створення оптимальних умов для формування здорового організму людини й формування світоглядної орієнтації, яка спирається на поведінку здоров'я збереження та є результатом виховання. Екологічна культура дозволяє усвідомити величезне значення довкілля, екології як здоров'я формувального чинника. Особливої уваги це набуває під час постійного погіршення стану здоров'я, що насамперед зумовлене несприятливими соціально-економічними умовами. Маємо надію, що суспільство й держава зацікавлені в тому, щоб процес опанування культурою здоров'я був цілеспрямованим та ефективним для різних верств громадян.

В. Морозова, Л. Лаврова, В. Музирова, В. Савченко надають здоров'язбережувальній освіті стратегічного напрямку – реалізації державної політики. Освіта повинна здійснювати навчально-виховний процес із переорієнтацією на гуманні, демократичні принципи управління, створити оптимально сприятливі умови для розвивального навчання та особистісної реалізації на підставі науково обґрунтованих знань щодо здоров'я, здорового способу життя, свідомого ставлення до здоров'я як загальнолюдської цінності [16, с. 132].

Україна потребує масштабного перетворення країни з акцентом на формування громадської свідомості, змін у політичній, економічній, соціальній сферах, можливо зі зміною світогляду. Формування його відбувається неперервно протягом життя: в сім'ї, навчальних закладах і професійному зростанні.

Розглядаючи підходи до формування здоров'я збереження, а саме валеологічний (свого часу сформований М. Амосовим), спрямований на формування, підтримання та розширення зони здоров'я, та педагогічний, заснований на сучасних педагогічних інноваціях, технологіях, спрямованих на здоров'я збереження [17, с. 52], ми акцентуємо увагу на принципі, основною ідеєю якого є людина та її здоров'я як частина екосистеми. М. Бентлі стверджує, що це дозволить розв'язати глобальні проблеми й подолати негативні наслідки [18, с. 532]. Дж. Бекстер, Дж. Масуд, В. Поланд вбачають подолання екологічних ризиків шляхом підтримання культури співіснування та запровадження екологічних цінностей [19, с. 455]. Дж. Патз і М. Хетч також є прихильниками екологічного підходу. Науковці доводять пряму залежність здоров'я людини від природних аномалій і попереджають про наслідки, які можуть спровокувати високу смертність і захворюваність.

Численні публікації показують, що питанням здорового способу життя та політиці здоров'я збереження не приділяється належна увага. Проблема впливу державної політики на здоров'я збереження практично не стала окремим предметом дослідження. Але фахівці освіти повинні звертатись до цієї тематики. Більшість досліджень треба проводити з урахуванням міждисциплінарного характеру. Вироблення концептуальних підходів, сучасне розуміння засобів, цінностей, моделей політики здоров'я збереження та практичне застосування в освіті повинно стати характеристикою сучасної цивілізації.

Головні висновки. Термінове переосмислення проблем сьогодення, формування власного наукового погляду на збереження здоров'я, ставлення до природи як складової частини людського життя повинно бути покладене в стратегію виживання. Ощадне ставлення до природи й всесвіту спочатку формується в дитинстві в сім'ї та навчальних закладах.

Відбувається поступове свідоме накопичення системи знань з екології людини й здоров'я збереження.

Здійснити це можливо шляхом міждисциплінарного підходу, управлінням збереження здоров'я людини як основного об'єкта екосистеми в біосфері. Екологічне здоров'язбережувальне навчання, поєднане з вихованням у закладах освіти, має бути відбите й забезпечене в обов'язкових освітніх компонентах через психолого-педагогічний процес. Знання повинні відноситись не тільки до природоохоронної теми, але й надавати практичних знань та умінь щодо збереження власних ресурсів організму людини, формувати стійке поняття «людина разом із навколишнім середовищем формують гармонійний розвиток біосфери». Два колись обов'язкових освітніх компонента – Екологія та Валеологія, – які вже, на жаль, не збереглися в переліку обов'язкових дисциплін у вищих навчальних закладах, здатні націлити на усвідомлення активної життєвої позиції щодо свого здоров'я та екологічної безпеки людства.

Прогресивне суспільство, про яке ми мріємо, насамперед визначається рівнем розвитку інтелекту й моралі, а також здоровим людським потенціалом. Взаємодія людини з природним середовищем через здоров'язбережувальний аспект повинна стати обов'язковою в закладах середньої та вищої освіти.

Освіта повинна набути здоров'язбережувального й екологічного сенсу, спиратися на свідомість. Спеціалісти майбутнього будь-якої галузі, кожен громадянин повинен не просто мати загальні уявлення про власну й екологічну безпеку, але й бути ланкою в забезпеченні розв'язання завдань екологічної та здоров'язбережувальної освіти [20, с. 125].

Перспективи використання результатів дослідження. Якщо в основу сучасного екологічного й здоров'язбережувального завдання ми покладемо традиційне й інноваційне знання з інтегральним характером, дамо філософського осмислення процесам взаємодії природи й суспільства, то маємо шанс для формування екологічного мислення та здоров'язбережувальної культури людини. Гармонізація складових частин біосистеми «людина – природа» дасть людству ще один шанс не тільки для виживання, а й для щасливого існування.

Література

1. Грабовський О.В. Вплив екологічних факторів докільця на духовне і фізичне здоров'я людини. URL: <http://www.zakinppo.org.ua/kafedri/kafedra-prirodnichomatematichnoi-osviti-ta-informacijnih-tehnologij/226-2010-06-24-09-25-13>.
2. Валеологічна освіта та виховання: сучасні підходи, доступність і шляхи їх розвитку в Україні : збірник науково-практичних статей / за заг. ред. В.М. Оржеховського. Київ : Майстер, 1999. 120 с.
3. Здоров'язбережувальні технології в освітньому середовищі : колективна монографія / за заг. ред. Л.М. Рибалко. Тернопіль : Осадца В.М., 2019. 400 с.
4. Горашук В.П. Теоретичні та методичні засади формування культури здоров'я школярів : дис. ... доктора. пед. наук : 13.00.01 Харків, 2004. 414 с.
5. Антонова О.Є., Поліщук Н.М. Здоров'язберегаюча компетентність особистості як наукова проблема (аналіз поняття). *Вища освіта у медсестринстві: проблеми і перспективи* : збірник статей всеукраїнської науково-практичної конференції, 10–11 листопада 2011 р. Житомир : Полісся, 2011. С. 27–31.

6. Льченко В.Р. Цінності освітньої моделі «Довкілля» у світлі педагогіки А.С. Макаренка. *Витоки педагогічної майстерності. Серія «Педагогічні науки»*. 2014. Вип. 13. С. 12–16.
7. Плаксієнко І.Л. Екологія людини: особистісна складова : монографія. Полтава : Смірнов А.Л., 2018. 212 с.
8. Хроленко М.В., Мегем О.М. Формування екологічної свідомості майбутніх учителів початкових класів як соціально-педагогічна проблема. URL: <https://www.sworld.education/simpoz10/17.pdf>.
9. Кліматичний саміт ООН: Тепер починаються жорсткі переговори. URL: <https://p.dw.com/p/1H1aT> (дата звернення: 06.06.2020).
10. Spivak M.V. Public transformations and threats to the health of humanity. *Austrian Journal of Humanities and Social Sciences*. 2014 (November-December). № 11–12. Austria, Vienna, 2014. P. 156–159.
11. Рогатін В.М. Висвітлення діяльності сект та нових релігійних рухів у документах Європейського Союзу. *Історичний архів*. 2011. Вип. 6. С. 84–89.
12. Радей А.С. Екологічна свідомість і культура: теоретико методологічний аспект. URL: http://novyn.kpi.ua/2008-3/15_Radej.pdf (дата звернення: 04.04.2020).
13. Кучірко О.Я. Екологічне громадське здоров'я: стан, проблеми та перспективи. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/download/123456789/12217/1/Kuchirko.pdf;jsessionid=E46350A3A003533403EF5AC2827B194C>.
14. Кульчицький В.Й., Кульчицька Т.В. Формування культури здоров'я – один із головних аспектів виховання особистості. *Філософія, методологія, психолого-педагогічні аспекти формування культури здоров'язбереження* : збірник тез науково-методологічного семінару кафедри філософії та суспільних дисциплін ТДМУ імені І.Я. Горбачевського. Тернопіль: Вектор, 2013. 60 с.
15. Горашук В.П. Теоретичні та методичні засади формування культури здоров'я школярів : дис. ... доктора. пед. наук : 13.00.01. Харків, 2004. 414 с.
16. Морозова В.В., Лаврова Л.В., Музирова В.О., Савченко В.А. Методичні рекомендації: Стратегічні напрямки здоров'язбереження в навчальних закладах Дніпропетровщини. URL: <https://sites.google.com/site/kafedrakulturizdorova/publikacie>.
17. Гриценко В.І. Здоров'я людини як багатоаспектна проблема. *Вісник Національної академії наук України*. 2006. № 6. С. 51–56.
18. Michael V. An ecological public health approach to understanding the relationships between sustainable urban environments, public health and social equity. *Oxford Journals Medicine & Health*. Health Promotion International. Volume 29. Issue 3. P. 528–537.
19. Masuda J.R., Poland B., Baxter J. Reaching for environmental health justice : Canadian experiences for a comprehensive research, policy and advocacy agenda in health promotion. *Oxford Journals Medicine & Health*. Health Promotion International. Volume 25. Issue 4. P. 453–463.
20. Миздренко О.М. Питання екологічної безпеки у підготовці фахівців у галузі фізичного виховання. *Економіка природокористування: стан, проблеми, перспективи* : збірник наукових праць за матеріалами II Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції (ЕПК – 2016), м. Ірпінь, 29 березня 2016 р. Ірпінь : УДФСУ, 2016. С. 122–127. URL: <http://ir.nusta.edu.ua/jspui/handle/doc/345>.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Андрющенко Юрій Олексійович (Мелітополь) – кандидат біологічних наук, доцент, завідувач лабораторії, Азово-Чорноморська орнітологічна станція Інституту зоології НАН України.

Барбашев Сергій Вікторович (Одеса) – доктор технічних наук, професор, кафедра атомних електричних станцій, Одеський національний політехнічний університет.

Баштовенко Оксана Анатоліївна (Ізмаїл) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри соціальної роботи, соціальної педагогіки та фізичної культури, Ізмаїльський державний гуманітарний університет.

Билина Лілія Вікторівна (Житомир) – аспірантка кафедри зоології, біологічного моніторингу та охорони природи, Житомирський державний університет імені Івана Франка.

Бітнер Дарина Володимирівна (Житомир) – здобувачка першого (бакалаврського) рівня природничого факультету, Житомирський державний університет імені Івана Франка.

Бондар Олександр Іванович (Київ) – доктор біологічних наук, професор, член-кореспондент Національної академії аграрних наук України, ректор, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Борисенко Микола Миколайович (Київ) – аспірант кафедри екології та зоології, Київський національний університет імені Тараса Шевченка.

Валерко Руслана Анатоліївна (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри загальної екології, Житомирський національний агроекологічний університет.

Васютинська Катерина Анатоліївна (Одеса) – кандидат хімічних наук, доцент кафедри прикладної екології та гідрогазодинаміки, Одеський національний політехнічний університет.

Верголяс Майя Розметівна (Київ) – кандидат біологічних наук, доцент, завідувач кафедри фундаментальних дисциплін з курсом фармакології, ПВНЗ «Міжнародна академія екології та медицини».

Винокурова Світлана Володимирівна (Мелітополь) – аспірант кафедри екологічної безпеки та раціонального природокористування, Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького, молодший науковий співробітник, Азово-Чорноморська орнітологічна станція Інституту зоології НАН України.

Висоцька Тетяна Іванівна (Київ) – кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Державний університет інфраструктури і технологій.

Волков Данило Володимирович (Маріуполь) – аспірант кафедри автомобільного транспорту, Приазовський державний технічний університет.

Воронько Володимир Васильович (Львів) – студент кафедри екології та збалансованого природокористування, Інститут сталого розвитку імені В'ячеслава Чорновола Національного університету «Львівська Політехніка».

Гавриленко Ніна Олександрівна (Асканія-Нова) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, Біосферний заповідник «Асканія-Нова» імені Ф. Е. Фальц-Фейна Національної академії аграрних наук України.

Гапонич Людмила Станіславівна (Київ) – кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник, Інститут вугільних енерготехнологій Національної академії наук України.

Герасимчук Людмила Олександрівна (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри загальної екології, Житомирський національний агроекологічний університет.

Герасимчук Олена Леонтіївна (Житомир) – кандидат педагогічних наук, старший викладач кафедри екології, Державний університет «Житомирська політехніка».

Гетьман Володимир Іванович (Київ) – кандидат географічних наук; доцент кафедри заповідної справи і рекреаційної діяльності, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Гнатів Ігор Романович (Дубляни) – аспірант кафедри екології, Львівський національний аграрний університет.

Голенко Ірина Львівна (Київ) – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Інститут вугільних енерготехнологій Національної академії наук України.

Гончаренко Максим Іванович (Київ) – старший викладач кафедри промислової безпеки та охорони праці Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління.

Горобей Марина Сергіївна (Київ) – молодший науковий співробітник, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Грабовська Тетяна Олександрівна (Біла Церква) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри загальної екології та ектофології, Білоцерківський національний аграрний університет.

Грабовський Микола Борисович (Біла Церква) – доктор сільськогосподарських наук, доцент, завідувач кафедри технологій у рослинництві та захисту рослин, Білоцерківський національний аграрний університет.

Деменко Анастасія Вікторівна (Харків) – аспірант, НДУ «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем».

Дігтяр Сергій Вікторович (Кременчук) – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри біотехнологій та біоінженерії, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського.

Дорошенко Юлія Валентинівна (Біла Церква) – провідний інженер, Державний дендрологічний парк «Олександрія» Національної академії наук України.

Дядічева Олена Анатоліївна (Мелітополь) – молодший науковий співробітник, Азово-Чорноморська орнітологічна станція Інституту зоології НАН України.

Єлістратова Неллі Юріївна (Маріуполь) – старший викладач кафедри охорони праці й навколишнього середовища, Приазовський державний технічний університет.

Єрмішев Олег В'ячеславович (Вінниця) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри біофізики і фізіології, кандидат біологічних наук, Донецький національний університет імені Василя Стуса.

Зайцев Геннадій Леонідович (Кривий Ріг) – кандидат технічних наук, доцент, Технологічний інститут Державного університету економіки і технологій.

Зайченко Людмила Іванівна (Київ) – асистент кафедри електромеханічного обладнання енергоємних виробництв, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Зайченко Стефан Володимирович (Київ) – доктор технічних наук, професор, професор кафедри електромеханічного обладнання енергоємних виробництв, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Засельський Володимир Йосипович (Кривий Ріг) – доктор технічних наук, професор, Технологічний інститут Державного університету економіки і технологій.

Калашнікова Людмила В'ячеславівна (Біла Церква) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, Державний дендрологічний парк «Олександрія» Національної академії наук України.

Кальянов Анатолій Володимирович (Маріуполь) – доктор медичних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри охорони праці й навколишнього середовища, Приазовський державний технічний університет.

Кімінчиджи Марія Іванівна (Одеса) – магістр кафедри прикладної екології та гідрогазодинаміки, Одеський національний політехнічний університет.

Корбут Марія Броніславівна (Житомир) – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології, Державний університет «Житомирська політехніка».

Коцюба Ірина Григорівна (Житомир) – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології, Державний університет «Житомирська політехніка».

Кошелєв Василь Олександрович (Мелітополь) – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри екологічної безпеки та раціонального природокористування, Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького.

Кошелєв Олександр Іванович (Мелітополь) – доктор біологічних наук, професор, професор кафедри екологічної безпеки та раціонального природокористування, Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького.

Крайнюков Олексій Миколайович (Харків) – доктор географічних наук, професор кафедри екологічної безпеки та екологічної освіти, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна.

Крупа Костянтин Віталійович (Київ) – студент магістратури I курсу кафедри електромеханічного обладнання енергоємних виробництв, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Лавров Віталій Васильович (Біла Церква) – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри загальної екології та екотрофології, Білоцерківський національний аграрний університет.

Лещенюк Олена Миколаївна (Київ) – провідний інженер відділу дендрології та паркознавства, ДУ «Інститут еволюційної екології НАН України».

Лукашов Дмитро Володимирович (Київ) – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри екології та зоології, Київський національний університет імені Тараса Шевченка.

Мазура Марина Юріївна (Київ) – кандидат біологічних наук, виконуючий обов'язки наукового співробітника відділу дендрології та паркознавства, ДУ «Інститут еволюційної екології НАН України».

Матухно Олена Вікторівна (Дніпро) – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології, теплотехніки та охорони праці, Національна металургійна академія України.

Машков Олег Альбертович (Київ) – доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, проректор з наукової діяльності, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Медведєв Олександр Валентинович (Львів) – провідний інженер-конструктор, філія «Науково-дослідний інститут автомобілебудування «Еталон».

Мельниченко Галина Михайлівна (Івано-Франківськ) – кандидат біологічних наук, викладач кафедри біології та екології, ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника».

Мірошник Наталія Володимирівна (Київ) – кандидат біологічних наук, в. о. старшого наукового співробітника відділу дендрології та паркознавства, ДУ «Інститут еволюційної екології НАН України».

Міхєєв Володимир Сергійович (Київ) – заступник Голови, Державне космічне агентство України.

Орехова Оксана Вікторівна (Кривий Ріг) – кандидат медичних наук, старший науковий співробітник, завідувач лабораторії промислового мікроклімату і фізіології теплообміну, ДУ «Український науково-дослідний інститут промислової медицини».

Павленко Олександр Іванович (Кривий Ріг) – кандидат медичних наук, завідувач лабораторії промислових аерозолів, ДУ «Український науково-дослідний інститут промислової медицини».

Пашук Андрій Володимирович (Львів) – старший викладач кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності, Інститут сталого розвитку імені В'ячеслава Чорновола Національного університету «Львівська політехніка».

Пилипчук Олег Ярославович (Київ) – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Державний університет інфраструктури і технологій.

Пічкур Тетяна Валеріївна (Київ) – кандидат історичних наук, доцент, доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Державний університет інфраструктури і технологій.

Попенко Володимир Макарович (Мелітополь) – кандидат біологічних наук, доцент, старший науковий співробітник, Азово-Чорноморська орнітологічна станція Інституту зоології НАН України.

Пополов Дмитро Володимирович (Кривий Ріг) – кандидат технічних наук, доцент, Технологічний інститут Державного університету економіки і технологій.

Прокопів Наталія Мирославівна (Івано-Франківськ) – аспірантка кафедри біології та екології, ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника».

Риженко Наталія Олександрівна (Київ) – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри екології та екологічного контролю, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Русин Ірина Богданівна (Львів) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та збалансованого природокористування, Інститут сталого розвитку імені В'ячеслава Чорновола Національного університету «Львівська політехніка».

Сагалай Дарина Володимирівна (Кривий Ріг) – магістр, Технологічний інститут Державного університету економіки і технологій.

Саламатін Дмитро Миколайович (Кременчук) – аспірант кафедри біотехнологій та біоінженерії, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського.

Салій Ігор В'ячеславович (Київ) – кандидат технічних наук, директор Галузевого навчального центру з питань охорони праці, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Снігинський Володимир Васильович (Дубляни) – доктор біологічних наук, професор, академік НААН України, ректор, Львівський національний аграрний університет.

Сусло Наталія Валеріївна (Кривий Ріг) – кандидат технічних наук, доцент, Технологічний інститут Державного університету економіки і технологій.

Тесленко Ігор Костянтинівич (Київ) – провідний інженер відділу дендрології та паркознавства, ДУ «Інститут еволюційної екології НАН України».

Топал Олександр Іванович (Київ) – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу, Інститут вугільних енерготехнологій Національної академії наук України.

Трускавецька Ірина Ярославівна (Переяслав-Хмельницький) – кандидат історичних наук, доцент кафедри біології і методики навчання, ДВНЗ «Переяслав-Хмельницький державний педагогічний університет імені Григорія Сковороди».

Хірівський Петро Романович (Дубляни) – доктор біологічних наук, доцент, завідувач кафедри екології, Львівський національний аграрний університет.

Хлєстова Ольга Анатоліївна (Маріуполь) – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри охорони праці й навколишнього середовища, Приазовський державний технічний університет.

Черничко Йосип Іванович (Мелітополь) – доктор біологічних наук, старший науковий співробітник, завідувач, Азово-Чорноморська орнітологічна станція Інституту зоології НАН України.

Черничко Раїса Миколаївна (Мелітополь) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, Азово-Чорноморська орнітологічна станція Інституту зоології НАН України.

Шаленко Вадим Олегович (Київ) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри основ професійного навчання, Київський національний університет будівництва і архітектури.

Шатоха Володимир Іванович (Дніпро) – доктор технічних наук, професор, проректор з науково-педагогічної роботи, Національна металургійна академія України.

Шевченко Зініда Миколаївна (Київ) – історик, вчитель-методист, Заклад загальної середньої освіти № 210 Оболонського району м. Києва.

Шевченко Роман Юрійович (Київ) – кандидат географічних наук, доцент кафедри екологічного моніторингу, геоінформаційних та аерокосмічних технологій, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Шевчук Лариса Миколаївна (Житомир) – доктор біологічних наук, професор кафедри зоології, біологічного моніторингу та охорони природи, Житомирський державний університет імені Івана Франка.

Юрчук Микола Іванович (Київ) – виконуючий обов'язки заступника директора з науково-організаційної роботи та прикладних питань, ДУ «Інститут еволюційної екології НАН України».

Якименко Ганна Миколаївна (Київ) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології, Національний авіаційний університет, керівник групи екологічного менеджменту, Національна енергетична компанія «Укренерго».

Яковишина Тетяна Федорівна (Дніпро) – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри екології та охорони навколишнього середовища, ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури».

Наукове видання

ЕКОЛОГІЧНІ НАУКИ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

3(30)

- *Теоретична екологія*
- *Загальні проблеми екологічної безпеки*
- *Екологія та економіка природокористування*
- *Екологія і виробництво*
- *Екологія і транспорт*
- *Екологія водних ресурсів*
- *Збереження біологічного та ландшафтного різноманіття*
- *Система екологічної освіти для сталого розвитку*

Адреса редакції:

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корпус 2, Київ, 03035;
тел./факс (+38 044) 206-30-34;
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, 03150, м. Київ, вул. Велика Васильківська 74, оф. 7
Тел. +38 (048) 709 38 69, +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.com.ua

Підписано до друку 20.05.2020. Формат 64x90/8.

Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman. Цифровий друк.
Ум.-друк. арк. 23,95. Тираж 100. Замовлення № 0920/256.
Ціна договірна. Віддруковано з готового оригінал-макета